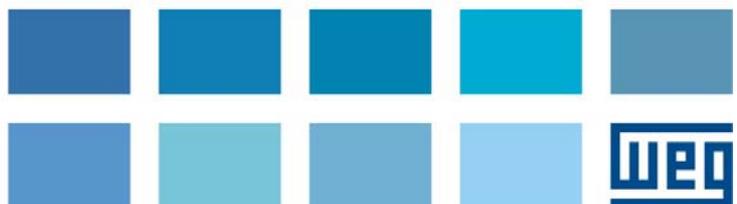


# Centro de Treinamento de Clientes

## MÓDULO 1 Comando e Proteção





**\* “Material sujeito a alterações sem prévio aviso!”**

## Sumário

<b>1 Manual de Motores Elétricos</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Histórico</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Noções Fundamentais</b>	<b>17</b>
1.2.1 Motores Elétricos	17
1.2.1.1 Motor Síncrono	17
1.2.1.2 Motor Assíncrono	18
1.2.1.3 Motor CC	20
1.2.2 Conceitos Básicos	21
1.2.2.1 Conjugado	21
1.2.2.2 Energia e Potência Mecânica	22
1.2.2.3 Energia e Potência Elétrica	23
1.2.2.4 Velocidade Nominal	25
1.2.2.5 Corrente Nominal	25
1.2.2.6 Potência Aparente, Ativa e Reativa	25
1.2.2.7 Potência Equivalente	26
1.2.2.8 Triângulo de Potência	28
1.2.2.9 Fator de Potência	28
1.2.2.10 Rendimento	28
1.2.2.11 Relação entre Unidades de Potência	30
1.2.2.12 Relação entre Conjugado e Potência	30
1.2.2.13 Sistemas de Corrente Alternada Monofásica	30
1.2.3 Sistemas de Corrente Alternada Trifásica	32
1.2.3.1 Ligação Triângulo	33
1.2.3.2 Ligação Estrela	34
1.2.4 Motor de Indução Trifásico	36
1.2.4.1 Princípio de Funcionamento	36
1.2.4.2 Velocidade Síncrona ( $n_s$ )	37
1.2.4.3 Escorregamento (s)	38
1.2.4.4 Equacionamento	40
1.2.5 Definições de Termos Técnicos Usuais	44
<b>1.3 Características da Rede</b>	<b>45</b>
1.3.1 O Sistema	45
1.3.1.1 Trifásico	45
1.3.1.2 Monofásico	45
1.3.2 Tensão Nominal	47
1.3.2.1 Tensão da Rede de Alimentação em Função da Potência do Motor	47
1.3.2.2 Tensão Nominal Múltipla	48
1.3.2.3 Tensões de Ligações Normais	50
1.3.3 Frequência Nominal (Hz)	51
1.3.3.1 Tolerância de Variação de tensão e Frequência	51
1.3.3.2 Ligação em Frequências Diferentes	53
1.3.4 Limitação da Corrente de Partida de Motores Trifásicos	54
1.3.4.1 Partida Com Chave Estrela-Triângulo (Y- $\Delta$ )	54
1.3.4.2 Partida Com Chave Compensadora (auto-transformador)	56
1.3.4.3 Comparação Entre Chaves “Y- $\Delta$ ” e Compensadora “Automática”	58
1.3.4.4 Partida Com Chave Série-Paralelo	59
1.3.4.5 Partida Com Reostato para Motores de Anéis	59
1.3.4.6 Partidas Eletrônicas	60
1.3.5 Sentido de Rotação de Motores de Indução Trifásicos	66
<b>1.4 Características de Aceleração</b>	<b>67</b>
1.4.1 Conjugados	67
1.4.1.1 Curva de Conjugado x Velocidade	67

1.4.1.2	Categorias – Valores Mínimos Normalizados	68
1.4.1.3	Características dos Motores WEG	71
1.4.2	Inércia da Carga	71
1.4.3	Tempo de Aceleração	73
1.4.4	Regime de Partida	75
1.4.5	Corrente de Rotor Bloqueado	77
1.4.5.1	Valores Máximos Normalizados	77
1.4.5.2	Indicação da Corrente	77
<b>1.5</b>	<b>Regulação de Velocidade de Motores Assíncronos de Indução</b>	<b>78</b>
1.5.1	Introdução	78
1.5.2	Variação de Números de Pólos	78
1.5.2.1	Motores de Duas Velocidades em Enrolamentos Separados	78
1.5.2.2	Motores de Duas Velocidades com Enrolamentos por comutação de Pólos	79
1.5.2.3	Motores Com Mais de Duas Velocidades	79
1.5.3	Variação do Escorregamento	80
1.5.3.1	Variação da Resistência Rotórica	80
1.5.3.2	Variação da Tensão do Estator	81
1.5.4	Variação da Frequência	81
1.5.4.1	Considerações Sobre a Aplicação de Motores com Controle de Velocidade Através de Conversores de Frequência	83
<b>1.6</b>	<b>Característica em Regime</b>	<b>84</b>
1.6.1	Elevação de Temperatura, Classe de Isolamento	84
1.6.1.1	Aquecimento do Enrolamento	84
1.6.1.2	Vida Útil do Motor	86
1.6.1.3	Classes de Isolamento	86
1.6.1.4	Medida de Elevação de Temperatura do Enrolamento	87
1.6.1.5	Aplicação a Motores Elétricos	87
1.6.2	Proteção Térmica de Motores Elétricos	88
1.6.2.1	Termo-Resistência (PT-100)	89
1.6.2.2	Termistores (PTC e NTC)	89
1.6.2.3	Termostatos	90
1.6.2.4	Protetores Térmicos	91
1.6.2.5	Proteção de motores de alta tensão WEG	92
1.6.3	Regime de Serviço	94
1.6.3.1	Regimes de Serviços Padronizados (NBR 7094/IEC 60034)	94
1.6.3.2	Designação do Regime Tipo	100
1.6.3.3	Potência Nominal	101
1.6.4	Fator de Serviço (FS)	101
<b>1.7</b>	<b>Características do Ambiente</b>	<b>102</b>
1.7.1	Altitude	102
1.7.2	Temperatura Ambiente	102
1.7.3	Determinação da Potência Útil do Motor nas Diversas Condições de Temperatura e Altitude	103
1.7.4	Atmosfera Ambiente	104
1.7.4.1	Ambientes Agressivos	104
1.7.4.2	Ambientes Contendo Poeiras ou Fibras	104
1.7.4.3	Locais em Que a Ventilação do Motor é Prejudicada	105
1.7.5	Graus de Proteção	105
1.7.5.1	Código de Identificação	105
1.7.5.2	Motores a Prova de Intempéries	107
1.7.6	Ventilação	109
1.7.6.1	Sistema de Refrigeração	109
1.7.7	Resistência de Aquecimento	118
1.7.8	Limite de Ruídos	118
<b>1.8</b>	<b>Ambientes Perigosos</b>	<b>119</b>

1.8.1	Áreas de Risco	119
1.8.2	Atmosfera Explosiva	119
1.8.3	Classificação das Áreas de Risco	119
1.8.3.1	Classes e Grupos das Áreas de Risco	120
1.8.4	Classes de Temperatura	121
1.8.5	Equipamentos Para Áreas de Risco	121
1.8.6	Equipamentos de Segurança Aumentada (Proteção Ex-e)	123
1.8.7	Equipamentos com Invólucros a Prova de Explosão (Proteção Ex-d)	124
<b>1.9</b>	<b>Características Construtivas</b>	<b>125</b>
1.9.1	Dimensões	125
1.9.2	Formas Construtivas Normalizadas	127
1.9.3	Motores com Flange	130
1.9.4	Pintura	133
1.9.5	Vibração	135
1.9.5.1	Suspensão Livre	135
1.9.5.2	Chaveta	135
1.9.5.3	Pontos de Medição	135
1.9.6	Balanceamento	137
1.9.6.1	Definição	137
1.9.6.2	Tipos de Balanceamento	137
1.9.7	Aterramento	138
1.9.7.1	Finalidade do Aterramento	138
1.9.7.2	Bitolas Mínimas de Condutores de Aterramento	139
1.9.8	Elementos de Transmissão	139
1.9.8.1	Esforços Axiais e Radiais	142
1.9.8.2	Cálculo da Força Radial em Acoplamento por Polias e Correias	146
1.9.9	Placa de Identificação	147
1.9.9.1	Motor de Alta Tensão (Linha WEG Máquinas Ltda.)	147
1.9.9.2	Motor de Baixa Tensão (Linha WEG Motores Ltda.)	147
<b>1.10</b>	<b>Seleção e Aplicação dos Motores Elétricos Trifásicos</b>	<b>148</b>
1.10.1	Guia de Seleção do Tipo de Motor Para Diferentes Cargas	153
<b>1.11</b>	<b>Ensaio</b>	<b>154</b>
1.11.1	Ensaio de Rotina	154
1.11.2	Ensaio de Tipo	154
1.11.3	Ensaio Especiais	155
1.11.4	Laboratório de Ensaio da WEG Máquinas para Motores de Alta Tensão	155
<b>2</b>	<b>Especificação de Motores Elétricos</b>	<b>157</b>
<b>2.1</b>	<b>Potência Nominal</b>	<b>157</b>
<b>2.2</b>	<b>Conjugado Resistente da Carga</b>	<b>159</b>
2.2.1	Conjugado Constante	159
2.2.2	Conjugado Linear	160
2.2.3	Conjugado Quadrático	160
2.2.4	Conjugado Hiperbólico	161
2.2.5	Conjugados Não Definidos	162
<b>2.3</b>	<b>Conjugado Resistente Médio da Carga</b>	<b>163</b>
<b>2.4</b>	<b>Momento de Inércia da Carga</b>	<b>165</b>
<b>2.5</b>	<b>Conjugado x Velocidade do Motor</b>	<b>166</b>
2.5.1	Conjugado Básico	166
2.5.2	Conjugado Nominal ou de Plena Carga	166
2.5.3	Conjugado Com Rotor Bloqueado	167
2.5.4	Conjugado Mínimo	167

2.5.5	Conjugado Máximo	167
2.5.6	Fatores de Correção dos Conjugados em Função da Tensão	168
<b>2.6</b>	<b>Conjugado Motor Médio</b>	<b>169</b>
<b>2.7</b>	<b>Tempo de Rotor Bloqueado (<math>t_{rb}</math>)</b>	<b>171</b>
2.7.1	Tempo de Rotor Bloqueado em Relação a Classe Isolante	171
2.7.2	Tempo de Aceleração	172
2.7.3	Potência Dinâmica ou de Aceleração	174
<b>2.8</b>	<b>Especificação de Motores Para Ventiladores e Bombas</b>	<b>176</b>
2.8.1	Definições	176
2.8.1.1	Ventiladores	176
2.8.1.2	Bombas	176
2.8.2	CrITÉrios Para Selecionar o Motor que Irá Acionar a Carga	176
2.8.2.1	Características da Rede de Alimentação	176
2.8.2.2	Características do Ambiente	176
2.8.2.3	Características Construtivas	176
2.8.2.4	Características do Ventilador	177
2.8.2.5	Características da Bomba	177
2.8.3	Determinação da Velocidade do Motor	177
2.8.4	Potência Nominal ou de Serviço da Carga	178
2.8.4.1	Conhecendo a vazão e a pressão total	178
2.8.4.2	Conhecendo-se o Conjugado Nominal da Carga	179
2.8.4.3	Conhecendo-se a Vazão e a Altura Manométrica da Bomba	179
2.8.5	Tempo de Aceleração	179
2.8.6	Exemplos	182
2.8.6.1	Ventilador	182
2.8.6.2	Bombas	185
<b>2.9</b>	<b>Especificação de Motores para Compressores</b>	<b>190</b>
2.9.1	Compressor	190
2.9.1.1	Definições	190
2.9.2	CrITÉrios Para Selecionar o Motor que Irá Acionar o Compressor	190
2.9.2.1	Características da Rede de Alimentação	190
2.9.2.2	Características do Ambiente	190
2.9.2.3	Características Construtivas	190
2.9.2.4	Características do Compressor	191
2.9.3	Determinação da Velocidade do Motor	191
2.9.4	Potência Nominal ou de Serviço do Motor	191
2.9.5	Tempo de Aceleração	192
2.9.6	Exemplos	193
<b>2.10</b>	<b>Especificação de Motores Para Talhas</b>	<b>197</b>
2.10.1	Talhas	197
2.10.1.1	Definições	197
2.10.2	CrITÉrios Para Selecionar o Motor que Irá Acionar a Talha	197
2.10.2.1	Características da Rede de Alimentação	197
2.10.2.2	Características do Ambiente	197
2.10.2.3	Características Construtivas	197
2.10.2.4	Características da Talha	198
2.10.3	Determinação da Velocidade do Motor	198
2.10.4	Determinação do Conjugado Nominal Requerido Pela Talha ( $C_{cn}$ )	198
2.10.5	Potência Nominal ou de Serviço do Motor	199
2.10.6	Regime de Trabalho do Motor	200
2.10.7	Categoria do Motor	200
2.10.8	Tempo de Aceleração	201
2.10.9	Corrente Equivalente	202
2.10.10	Roteiro de Especificação do Motor	203

2.10.11	Roteiro de especificação do motor quando não se conhece os dados para o cálculo da corrente máxima admissível _____	203
2.10.12	Exemplo _____	203
<b>3</b>	<b><i>Manutenção de Motores Elétricos</i></b> _____	<b>209</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b> _____	<b>209</b>
<b>3.2</b>	<b>Instruções Básicas</b> _____	<b>209</b>
3.2.1	Instruções Gerais _____	209
3.2.2	Fornecimento _____	209
3.2.3	Armazenagem _____	209
<b>3.3</b>	<b>Instalação</b> _____	<b>212</b>
3.3.1	Aspectos Mecânicos _____	212
3.3.1.1	Fundações _____	212
3.3.1.2	Tipos de Bases _____	213
3.3.1.3	Alinhamento _____	214
3.3.1.4	Acoplamento _____	215
3.3.2	Aspectos Elétricos _____	221
3.3.2.1	Sistemas de Alimentação _____	221
3.3.3	Entrada em Serviço _____	225
3.3.3.1	Exame Preliminar _____	225
3.3.3.2	Partida Inicial _____	226
3.3.3.3	Funcionamento _____	226
3.3.3.4	Desligamento _____	226
<b>3.4</b>	<b>Manutenção</b> _____	<b>227</b>
3.4.1	Limpeza _____	227
3.4.2	Lubrificação _____	227
3.4.2.1	Intervalos de Lubrificação _____	228
3.4.2.2	Qualidade e Quantidade de Graxa _____	228
3.4.2.3	Instruções para Lubrificação _____	229
3.4.2.4	Substituição de Rolamentos _____	230
3.4.3	Recomendações Gerais _____	233
<b>3.5</b>	<b>Falhas em Motores Elétricos</b> _____	<b>234</b>
3.5.1	Análise de Causas e Defeitos de Falhas em Motores Elétricos _____	234
<b>3.6</b>	<b>Danos em Enrolamentos de Motores Elétricos de Indução</b> _____	<b>236</b>
3.6.1	Motores Trifásicos _____	236
3.6.2	Motores Monofásicos _____	239
<b>4</b>	<b><i>Análise dos Dispositivos Elétricos Utilizados em Baixa Tensão</i></b> _____	<b>242</b>
<b>4.1</b>	<b>Dispositivos de Seccionamento</b> _____	<b>243</b>
<b>4.2</b>	<b>Dispositivos de Proteção</b> _____	<b>244</b>
<b>5</b>	<b><i>Características e Especificação dos Componentes das Chaves de Partida WEG</i></b> _____	<b>245</b>
<b>5.1</b>	<b>Fusíveis</b> _____	<b>245</b>
5.1.1	Fusíveis de Força (D OU NH) _____	245
5.1.1.1	Classificação _____	246
5.1.1.2	Curvas Tempo x corrente de Fusíveis weg _____	247
5.1.1.3	Dimensionamento _____	249
5.1.1.4	Exemplo de Cálculo: _____	251
5.1.2	Fusíveis de Comando _____	253
5.1.2.1	Dimensionamento _____	253
<b>5.2</b>	<b>Contatores</b> _____	<b>258</b>
5.2.1	Definição (de norma): _____	258

5.2.2	Contato Principal	260
5.2.3	Contatos Auxiliares	260
5.2.4	Sistema de Acionamento	261
5.2.5	Etiquetas e Identificação de Terminais	261
5.2.5.1	Nomenclatura de Contatos em Contatores	261
5.2.6	Fases de uma Manobra	268
5.2.6.1	Processo de Ligação	268
5.2.6.2	Estado Fechado	269
5.2.6.3	Processo de Desligamento	270
5.2.6.4	Estado Aberto	271
5.2.7	Ensaio Realizados	271
5.2.8	Posição de Montagem	273
5.2.9	Seleção de contatores	274
<b>5.3</b>	<b>Dimensionamento de Contatores de Força</b>	<b>275</b>
5.3.1	Crítérios de Escolha	275
5.3.2	Comutação de Motores com Rotor de Gaiola	279
5.3.2.1	Escolha para Categoria de Emprego AC3	279
5.3.3	Comutação de Cargas Resistivas – Categoria AC-1	279
5.3.4	Chaveamento de Capacitores – Categoria AC-6b	280
5.3.5	Comutação de Lâmpadas	281
5.3.5.1	Lâmpadas Incandescentes	281
5.3.5.2	Lâmpadas Fluorescentes	281
5.3.5.3	Lâmpadas de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	281
5.3.5.4	Lâmpadas de Vapor Metálico de Halogênio	281
5.3.5.5	Lâmpadas Mistas	281
5.3.5.6	Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta e Baixa Pressão	282
5.3.6	Comutação de Corrente Contínua	282
5.3.7	Comutação em Aplicações Especiais	282
5.3.7.1	Comutação de transformadores a vazio (sem carga no secundário):	282
5.3.7.2	Comutação de Transformadores em Máquinas de Solda:	283
5.3.8	Acessórios	283
<b>5.4</b>	<b>Protetores Térmicos (sondas térmicas) para Motores Elétricos</b>	<b>285</b>
5.4.1	Termostatos:	285
5.4.2	Termistores – PTC	287
5.4.3	Termoresistências – PT100	288
5.4.4	Protetores Bimetálicos de Disco:	289
<b>5.5</b>	<b>Relés de Sobrecarga</b>	<b>290</b>
5.5.1	Definição e Função	290
5.5.2	Construção e Operação	290
5.5.2.1	Dispositivo Mecânico Sensível Contra Falta de Fase	291
5.5.2.2	Proteção com Relés + TC's	293
5.5.2.3	Curva Característica de Desarme dos relés térmicos (conforme IEC 60947)	293
5.5.3	Condições de Serviço	294
5.5.3.1	Temperatura Ambiente	294
5.5.3.2	Compensação de Temperatura	295
5.5.3.3	Posição de Montagem	295
5.5.4	Características de Operação	295
5.5.4.1	Corrente Nominal do Motor	295
5.5.4.2	Características da Rede	295
5.5.4.3	Número de Manobras	296
5.5.4.4	Instalação de Relés Tripolares para Serviço Mono e Bifásico	296
5.5.5	Relés de Sobrecarga WEG	296
5.5.5.1	Características Dos Relés WEG:	297
5.5.5.2	Terminais:	298
5.5.5.3	Tecla Multifunção - Proromação RW 17D, 27D, 67D 117.1D, 117.2D, 317D e 407D	298

5.5.6 Seleção de relés de sobrecarga weg	299
<b>5.6 Relés Temporizadores</b>	<b>300</b>
5.6.1 Seleção de relés temporizadores:	301
5.6.2 Tipos de relés temporizadores	302
5.6.3 Esquemas de ligação de relés temporizadores	304
5.6.3.1 Retardo na Energização - RTW RE	304
5.6.3.2 Pulso na Energização - RTW pE	305
5.6.3.3 Cíclico - RTW – CI / CIL / CID / CIR	306
5.6.3.4 Estrela-Triangulo - RTW et	307
5.6.3.5 Relé Temporizador - Retardo na Energização - RTW RE	308
5.6.4 Ajuste da Temporização do Relé	309
5.6.5 Indicações Luminosas	309
<b>5.7 Relés Protetores - RPW</b>	<b>310</b>
5.7.1 Relé Seqüência de Fase – RPW SF	310
5.7.1.1 Seleção	310
5.7.1.2 Esquema de Ligação	311
5.7.1.3 Diagrama Funcional	311
5.7.1.4 Indicações Luminosas	311
5.7.2 Relé Falta de Fase – RPW FF	312
5.7.2.1 Seleção	313
5.7.2.2 Esquema de Ligação	313
5.7.2.3 Diagrama Funcional	313
5.7.2.4 Ajuste de Sensibilidade	314
5.7.2.5 Indicações Luminosas	314
5.7.3 Relé Falta de Fase e sequencia de fase – RPW FSF	315
5.7.3.1 Seleção	316
5.7.3.2 Esquema de Ligação	316
5.7.3.3 Diagrama Funcional	316
5.7.3.4 Ajuste de Sensibilidade	317
5.7.3.5 Indicações Luminosas	317
5.7.4 Relé de sub ou sobretensão e falta de fase – RPW ss	318
5.7.4.1 Seleção	319
5.7.4.2 Esquema de Ligação	319
5.7.4.3 Diagrama Funcional	319
5.7.4.4 Ajuste de Sensibilidade	320
5.7.4.5 Indicações Luminosas	320
5.7.5 Relé de proteção ptc – RPW ptc	321
5.7.5.1 Seleção	322
5.7.5.2 Esquema de Ligação	322
5.7.5.3 Diagrama Funcional	323
5.7.5.4 Indicações Luminosas	323
<b>5.8 Relé de Nível – RNW</b>	<b>324</b>
5.8.1 Relé de nível de Enchimento - RNW En	326
5.8.1.1 Esquema de Ligação	326
5.8.1.2 Diagrama funcional	327
5.8.2 Relé de nível de Esvaziamento - RNW ES	327
5.8.2.1 Esquema de Ligação	327
5.8.2.2 Diagrama funcional	328
<b>5.9 Transformadores</b>	<b>329</b>
5.9.1 Transformador de Comando	329
5.9.1.1 Formas de Instalação	329
5.9.1.2 Dimensionamento	329
5.9.2 Auto Transformadores de Partida	330
5.9.2.1 Dimensionamento	330
5.9.3 Transformadores de Corrente (TC's)	331

<b>5.10</b>	<b>Disjuntor</b>	<b>332</b>
5.10.1	Funcionamento	332
5.10.2	Capacidade de Interrupção	333
5.10.3	Categoria de Utilização para Disjuntores	333
5.10.4	Classificação dos Disjuntores	334
5.10.4.1	Sob o ângulo de funcionamento, podemos classificá-los em três classes denominadas standard, limitadores e seletivos.	334
5.10.4.2	Pode-se classificar os disjuntores, também, sob o ponto de vista de aplicação em:	335
5.10.5	Disparadores em Disjuntores	336
5.10.6	Vida Útil e Frequência de Manobra	336
5.10.7	Contatos Auxiliares	337
5.10.8	Tipos de Disjuntores	337
5.10.8.1	Disjuntores Ligados Diretamente à Carga	338
5.10.8.2	Disjuntores de Distribuição	338
5.10.8.3	Disjuntores de Acoplamento	338
<b>5.11</b>	<b>Seletividade entre Dispositivos de Proteção em Baixa Tensão</b>	<b>339</b>
5.11.1	Fusíveis Ligados em série com fusíveis	339
5.11.2	Fusíveis Ligados em Série com Disjuntores	339
5.11.3	Disjuntor em Série com Fusível	340
<b>5.12</b>	<b>Análise e Determinação do Nível de Curto-Circuito</b>	<b>342</b>
5.12.1	Introdução	342
5.12.2	Análise do Curto-Circuito Trifásico “Tripolar”	342
5.12.3	Valores médios de impedância e resistência de transformadores	346
5.12.4	Cálculo de Curto-Circuito pelo Método Simplificado	346
5.12.5	Determinação das Resistências Adicionais do Sistema	346
5.12.6	Grandezas para a Especificação	348
5.12.6.1	Corrente Nominal	348
5.12.6.2	Tensão Nominal	348
5.12.6.3	Valor eficaz da Corrente de Curto-Circuito $I_k$	348
<b>5.13</b>	<b>Exercício de aplicação de dimensionamento de nível de curto-circuito.</b>	<b>349</b>
<b>5.14</b>	<b>Linha de Disjuntores em Caixa Moldada WEG</b>	<b>354</b>
5.14.1	Características:	354
5.14.2	Etiqueta de Identificação:	355
5.14.3	Dados complementares para a seleção de disjuntores:	356
5.14.4	Funções adicionais da linha WEG:	357
5.14.5	Acessórios	357
5.14.6	Disjuntores Para a Proteção de Circuitos de Motores (DWM)	361
5.14.7	Disjuntores Para a Proteção de Geradores (DWG)	361
5.14.8	Chave de Transferência Motorizada - CTM	361
5.14.9	Interruptores - IWA	361
<b>5.15</b>	<b>Codificação e Seleção de Disjuntores em Caixa Moldada</b>	<b>362</b>
<b>5.16</b>	<b>Exemplo de Seleção</b>	<b>363</b>
5.16.1	Nível de Curto-Circuito da Instalação	365
<b>5.17</b>	<b>Disjuntor-Motor MPW 25</b>	<b>366</b>
5.17.1	Tabela de Seleção	366
5.17.2	Codificação e Seleção de Disjuntores	368
5.17.3	Curvas de Disparo	369
5.17.4	Posição de Montagem	369
5.17.5	Acessórios	370
<b>5.18</b>	<b>Linha de Minidisjuntores - Minidisjuntores MDW</b>	<b>373</b>
5.18.1	Características Gerais	373
5.18.2	Curvas Características de Disparo	373

5.18.2.1	Coordenação de Proteção	374
5.18.3	Tabela de Seleção	374
5.18.4	Codificação e Seleção de mini Disjuntores	375
5.18.5	Dados Técnicos	375
<b>5.19</b>	<b>Interruptores Seccionadores SIW</b>	<b>376</b>
5.19.1	Tabela de Seleção	376
5.19.2	Exemplo de codificação:	376
5.19.3	Dados Técnicos	377
<b>5.20</b>	<b>Interruptores Diferenciais Residuais – DR's</b>	<b>377</b>
5.20.1	Sensibilidade	377
5.20.2	Princípio de Funcionamento	378
5.20.3	Diagramas de Ligação	378
5.20.4	Tabela de Seleção	379
5.20.5	Exemplo de codificação:	379
<b>5.21</b>	<b>Dispositivo de Proteção contra surtos – DPS SPW</b>	<b>380</b>
5.21.1	Classe de Proteção	380
5.21.2	Sinalização de Estado	380
5.21.3	Tabela de Seleção	381
5.21.4	Esquema de Ligação	381
<b>5.22</b>	<b>Comando e Sinalização</b>	<b>382</b>
5.22.1	Montagem	382
5.22.2	Encaixe e Posicionamento	383
5.22.3	Segurança e Confiabilidade	383
5.22.4	Linha de Botões	384
5.22.5	Linha de Botões de Emergência	385
5.22.6	Sinaleiros	385
5.22.7	Comutadores	386
5.22.8	Blocos de contatos	387
5.22.9	Blocos de iluminação com led integrado	387
5.22.10	Blocos para iluminação	388
5.22.11	Blocos para iluminação com led integrado	388
5.22.12	Bloco redutor de tensão	389
5.22.13	Identificação de Botões Sinaleiros	390
<b>5.23</b>	<b>Escolha do Tipo de Chave</b>	<b>391</b>
5.23.1	Partida Direta	391
5.23.2	Partida Estrela-Triângulo	392
5.23.2.1	Seqüência Operacional (Com Relé de Tempo Estrela-Triângulo)	395
5.23.3	Partida Compensadora	395
5.23.4	Partida Série-Paralelo	397
5.23.5	Comparativo Estrela Triângulo x Compensadora	400
5.23.6	Escolha da Chave em Função do Motor e da Rede	401
<b>5.24</b>	<b>Dimensionamento dos Componentes Básicos da Chave</b>	<b>402</b>
5.24.1	Chave de Partida Direta	403
5.24.1.1	Corrente no Trecho	403
5.24.1.2	Roteiro de Cálculo	403
5.24.1.3	Diagrama Padrão WEG	406
<b>5.25</b>	<b>Chave de Partida Estrela-Triângulo</b>	<b>407</b>
5.25.1	Correntes nos Trechos	407
5.25.2	Roteiro de Cálculo	409
5.25.3	Diagrama Padrão WEG	413
<b>5.26</b>	<b>Chave de Partida Compensadora</b>	<b>415</b>
5.26.1	Corrente nos Trechos	415

5.26.2	Roteiro de Cálculo	417
5.26.3	Diagrama Padrão WEG	421
<b>5.27</b>	<b>Chave de Partida Estrela Série Paralela</b>	<b>422</b>
5.27.1	Corrente nos Trechos	422
5.27.2	Roteiro de Cálculo	424
5.27.3	Diagrama Padrão WEG	427
<b>5.28</b>	<b>Equipamentos Opcionais</b>	<b>429</b>
<b>5.29</b>	<b>Diagrama de Chaves Especiais</b>	<b>430</b>
5.29.1	Reversão Direta	430
5.29.2	Partida Direta com Frenagem	430
5.29.3	Comando por Botão Fim de Curso	431
5.29.4	Comando por Pressostato	431
5.29.5	Proteção Térmica por Termistor	432
5.29.6	Motor de Duas Rotações com Dois Enrolamentos Separados	432
5.29.7	Motor Dahlander	433
5.29.8	Estrela-Triângulo com reversão	433
5.29.9	Partida Compensadora com Apenas um Auto Transformador	434
<b>5.30</b>	<b>Condição de Serviços de Chaves</b>	<b>435</b>
5.30.1	Queda de Tensão	435
5.30.1.1	Circuitos Alimentadores de Motores Elétricos	435
5.30.1.2	Motores de Indução	435
5.30.1.3	Circuitos de Comando	436
5.30.1.4	Componentes de Comando	436
5.30.1.5	Principais Causadores de Queda de Tensão	437
5.30.2	Limites de Temperatura	437
5.30.3	Limites de Altitude	437
5.30.4	Posição de Montagem	437
5.30.5	Vibrações	438
5.30.6	Graus de Proteção	438
<b>5.31</b>	<b>Instalação e Manutenção de Chaves</b>	<b>439</b>
5.31.1	Transporte	439
5.31.2	Armazenagem e Longas Paradas de Chaves (ex: Irrigação)	439
5.31.3	Recomendações Para Primeira Partida de Motores	439
5.31.4	Aterramento	440
5.31.5	Conexões Elétricas	440
5.31.6	Manutenção em Chaves de Partida	441
5.31.6.1	Tipos de Manutenção	441
5.31.7	Substituição de Fusíveis	441
5.31.8	Substituição de Contatos de Contatores	442
5.31.9	Ajustes em Relés de Sobrecarga e de Tempo	442
5.31.10	Principais Defeitos e Suas Causas em Chaves de Partidas	443
<b>5.32</b>	<b>Soft – starter</b>	<b>445</b>
5.32.1	Introdução	445
5.32.2	Princípio de Funcionamento	445
5.32.2.1	Circuito de potência	446
5.32.2.2	Circuito de controle	446
5.32.3	Principais Características	446
5.32.3.1	Principais Funções	446
5.32.3.2	Proteções	451
5.32.3.3	Acionamentos típicos (Modelos SSW 03 e SSW 04)	454
5.32.4	Principais aplicações para Soft-Starters	457
5.32.4.1	Bombas centrífugas	457
5.32.4.2	Compressores	458

5.32.4.3	Ventiladores	458
5.32.4.4	Misturadores	459
5.32.4.5	Moinhos	460
5.32.4.6	Transportadores	461
5.32.4.7	Centrífugas	462
5.32.5	Crítérios para dimensionamento	462
5.32.5.1	Situação Ideal	464
5.32.5.2	Situação Normal	471
5.32.6	Considerações Importantes	472
<b>5.33</b>	<b>SOFT-STARTER</b>	<b>479</b>
5.33.1	Princípio de funcionamento da Soft-Starter	479
5.33.2	Principais Funções	482
5.33.2.1	Rampa de Tensão na Aceleração	482
5.33.2.2	Rampa de Tensão da desaceleração	483
5.33.3	Comparativo entre Métodos de Partida	487
5.33.4	Benefícios	487
5.33.5	Principais aplicações	488
<b>5.34</b>	<b>Tipos de Soft-Starter WEG</b>	<b>489</b>
5.34.1	SOFT-STARTER SSW-03plus e SSW-04	489
5.34.1.1	Características:	489
5.34.1.2	Tipos de ligação (Soft-starter → Motor)	490
5.34.1.3	Redes de comunicação “fieldbus”	491
5.34.1.4	Interface Homem-Máquina	492
5.34.1.5	Software de programação Super Drive	492
5.34.1.6	Acionamentos Típicos	493
5.34.2	SOFT-STARTER SSW-05	495
5.34.2.1	Benefícios	495
5.34.2.2	Modelos	495
5.34.2.3	Ajustes e indicações	496
5.34.2.4	Esquema de ligação	496
5.34.2.5	Interface Homem-Máquina	497
5.34.2.6	Software de programação Super Drive	497
5.34.2.7	Codificação	498
5.34.3	SOFT-STARTER SSW-06	499
5.34.3.1	Benefícios	501
5.34.3.2	Principais aplicações	502
5.34.3.3	Tipos de ligação (Soft-Starter → Motor)	503
5.34.3.4	Funções Principais	504
5.34.3.5	Interface Homem-Máquina	507
5.34.3.6	Redes de Comunicação “Fieldbus”	508
5.34.3.7	Superdrive G2	509
5.34.3.8	Codificação	510
5.34.4	SOFT-STARTER SSW-07	511
5.34.4.1	Benefícios	511
5.34.4.2	Principais aplicações	512
5.34.4.3	Ajustes e Indicações	513
5.34.4.4	Acionamento Típico	514
5.34.4.5	Redes de Comunicação “Fieldbus”	514
5.34.4.6	Interface Homem-Máquina	515
5.34.4.7	Superdrive G2	515
5.34.4.8	Funções Principais	516
5.34.4.9	Codificação	517
5.34.5	Características Técnicas e Especificações de Soft-Starter	518

**Anexos**



## 1 MANUAL DE MOTORES ELÉTRICOS

### 1.1 HISTÓRICO

O ano de 1866 pode ser considerado, em termos práticos, como o ano de nascimento da máquina elétrica, pois foi nesta data que o cientista alemão Werner Siemens inventou o primeiro gerador de corrente contínua auto-induzido. Entretanto, deve-se mencionar que esta máquina elétrica, que revolucionou o mundo em poucos anos, foi o último estágio de um processo de estudos, pesquisas e invenções de muitos outros cientistas, durante quase três séculos.

Em 1600 o cientista inglês William Gilbert publicou, em Londres, a obra intitulada “De Magnete”, descrevendo a força de atração magnética. O fenômeno da eletricidade estática já havia sido observado pelo grego Tales, em 641 AC, ele verificou que ao atritar uma peça de âmbar com pano esta adquiria a propriedade de atrair corpos leves, como pêlos, penas, cinzas, etc.

A primeira máquina eletrostática foi construída em 1663, pelo alemão Otto Guericke, e aperfeiçoada em 1775 pelo suíço Martin Planta.

O físico dinamarquês Hans Christian Oersted, ao fazer experiências com correntes elétricas, verificou ao acaso, em 1820, que a agulha magnética de uma bússola era desviada de sua posição norte-sul quando esta passava perto de um condutor no qual circulava corrente elétrica. Esta observação permitiu a Oersted reconhecer a íntima relação entre magnetismo e eletricidade, dando assim o primeiro passo em direção ao desenvolvimento do motor elétrico.

O sapateiro inglês William Sturgeon - que, paralelamente à sua profissão, estudava eletricidade nas horas de folga - baseando-se na descoberta de Oersted constatou, em 1825, que um núcleo de ferro envolto por um fio condutor elétrico transformava-se em imã quando se aplicava uma corrente elétrica, observando também que a força do imã cessava tão logo a corrente fosse interrompida. Estava inventando o eletroímã, que seria de fundamental importância na construção de máquinas elétricas girantes.

Mas as experiências com o magnetismo e a eletricidade não cessaram. Em 1832, o cientista italiano S. Dal Negro construiu a primeira máquina de corrente alternada com movimento de vaivém. Já no ano de 1833 o inglês W. Ritchie inventou o comutador, construindo um pequeno motor elétrico onde o núcleo de ferro enrolado girava em torno de um imã permanente. Para dar uma rotação completa, a polaridade do eletroímã era alternada a cada meia volta através do comutador. A inversão da polaridade também foi demonstrada pelo mecânico parisiense H. Pixii ao construir um gerador com um imã em forma de ferradura que girava diante de duas bobinas fixas com um núcleo de ferro. A corrente alternada era transformada em corrente contínua pulsante através de um comutador.

Grande sucesso obteve o motor elétrico desenvolvido pelo arquiteto e professor de física Moritz Hermann Von Jacobi - que, em 1838, aplicou-o a uma lancha.

Somente em 1866 Siemens construiu um gerador sem a utilização de imã permanente, provando que a tensão necessária para o magnetismo podia ser retirada do próprio enrolamento do rotor, isto é, que a máquina podia auto-excitar-se. O primeiro dínamo de Werner Siemens possuía uma potência de aproximadamente 30 watts e uma rotação de 1200rpm. A máquina de Siemens não funcionava somente como gerador de eletricidade. Podia também operar como motor, desde que se aplicasse aos seus bornes uma corrente contínua.

Em 1879, a firma Siemens & Halske apresentou, na feira industrial de Berlim, a primeira locomotiva elétrica, com uma potência de 2 kW.

A nova máquina de corrente contínua apresentava vantagens em relação à máquina a vapor, à roda d'água e à força animal. Entretanto, o alto custo de fabricação e sua vulnerabilidade em serviço (por causa do comutador) marcaram-na de tal modo que muitos cientistas dirigiram suas atenções para o desenvolvimento de um motor elétrico mais barato, mais robusto e de menor custo de manutenção.

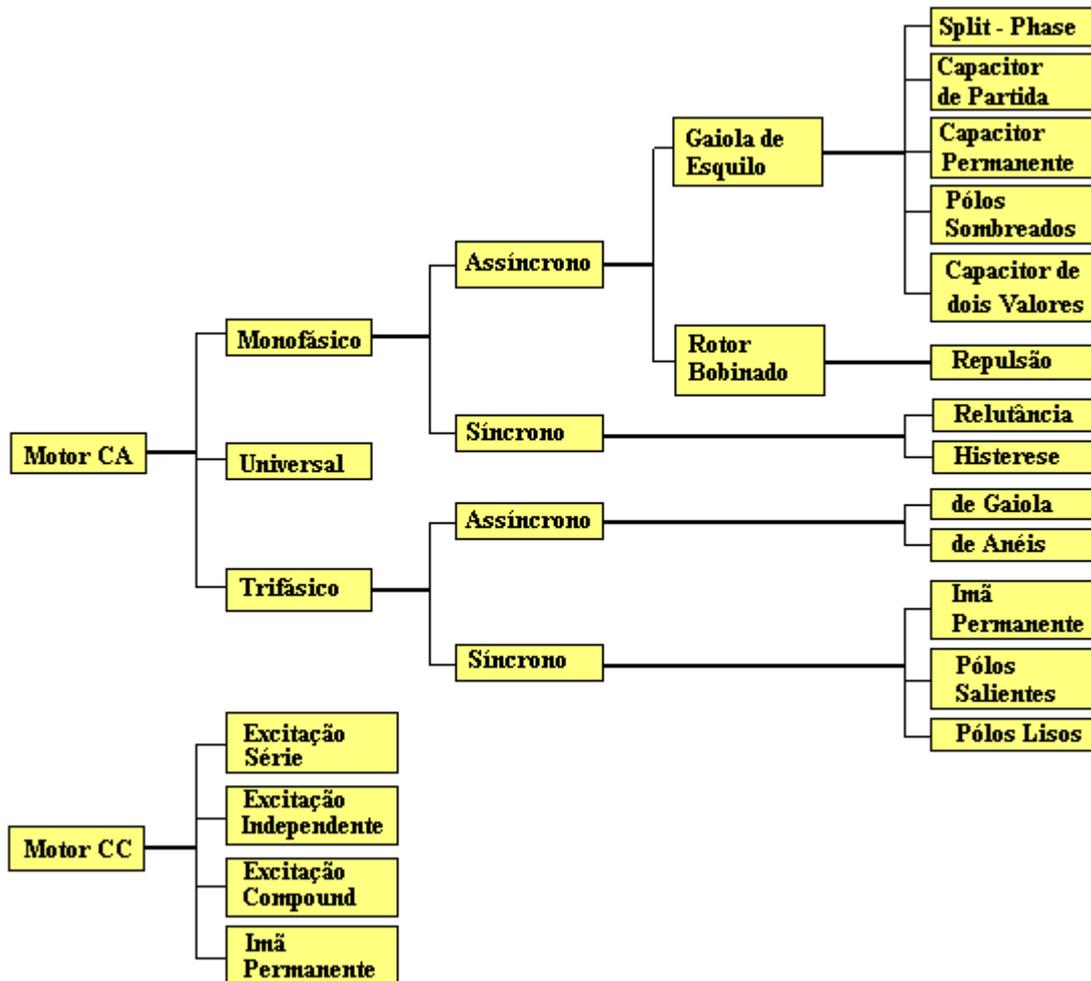
Entre os pesquisadores preocupados com esta idéia destacam-se o iugoslavo Nicola Tesla, o italiano Galileu Ferraris e o russo Michael Von Dolivo Dobrowolsky. Os esforços não se restringiram somente ao aperfeiçoamento do motor de corrente contínua, mas também se cogitou de sistemas de corrente alternada, cujas vantagens já eram conhecidas desde 1881.

Em 1885, o engenheiro eletricista Galileu Ferraris construiu um motor de corrente alternada de duas fases. Ferraris, apesar de ter inventado o motor de campo girante, concluiu erroneamente que motores construídos segundo este princípio poderiam, no máximo, obter um rendimento de 50% em relação à potência consumida. E Tesla apresentou, em 1887, um pequeno protótipo de motor de indução bifásico com rotor em curto-circuito. Também este motor apresentou rendimento insatisfatório, mas impressionou de tal modo a firma norte-americana Westinghouse, que esta lhe pagou um milhão de dólares pelo privilégio da patente, além de se comprometer ao pagamento de um dólar para cada HP que viesse a produzir no futuro. O baixo rendimento deste motor inviabilizou economicamente sua produção e três anos mais tarde as pesquisas foram abandonadas.

Foi o engenheiro eletricista Dobrowolsky, da firma AEG, de Berlim, que, persistindo na pesquisa do motor de corrente alternada entrou, em 1889, com o pedido de patente de um motor trifásico com rotor de gaiola. O motor apresentado tinha uma potência de 80 watts, um rendimento aproximado de 80% em relação à potência consumida e um excelente conjugado de partida. As vantagens do motor com rotor de gaiola em relação ao de corrente contínua eram marcantes: construção mais simples, silencioso, menor manutenção e alta segurança em operação. Dobrowolsky desenvolveu, em 1891, a primeira fabricação em série de motores assíncronos, nas potências de 0,4 a 7,5kW.

## 1.2 NOÇÕES FUNDAMENTAIS

### 1.2.1 MOTORES ELÉTRICOS



### O Universo Tecnológico em Motores Elétricos

#### 1.2.1.1 MOTOR SÍNCRONO

Os motores síncronos são motores de velocidade constante e proporcional com a frequência da rede. Os pólos do rotor seguem o campo girante imposto ao estator pela rede de alimentação trifásica. Assim, a velocidade do motor é a mesma do campo girante.

Basicamente, o motor síncrono é composto de um enrolamento estatórico trifásico, que produz o que se designa de campo girante, e de um rotor bobinado (de pólos salientes ou de pólos lisos) que é excitado por uma tensão CC. Esta tensão CC de excitação gera um campo estacionário no rotor que interagindo com o campo girante produzido pelo enrolamento estatórico, produz torque no eixo do motor com uma rotação igual ao próprio campo girante.



Figura 1.1 - Motor síncrono

O maior conjugado que o motor pode fornecer está limitado pela máxima potência que pode ser cedida antes da perda de sincronismo, isto é, quando a velocidade do rotor se torna diferente da velocidade do campo girante, ocasionando a parada do motor (tombamento). A excitação determina também as porcentagens de potência ativa e reativa que o motor retira da rede, para cada potência mecânica solicitada pela carga.

Este tipo de motor tem a sua aplicação restrita a acionamentos especiais, que requerem velocidades invariáveis em função da carga (até o limite máximo de torque do motor). A sua utilização com conversores de frequência pode ser recomendada quando se necessita uma variação de velocidade aliada a uma precisão de velocidade mais apurada.

A rotação do eixo do motor (rotação síncrona) é expressa por:

$$n_s = \frac{120 \times f}{2p}$$

Onde:  $n_s$  = Rotação síncrona (rpm);  
 $f$  = Frequência (Hz);  
 $2p$  = Número de pólos.

### **1.2.1.2 MOTOR ASSÍNCRONO**

Os motores assíncronos ou de indução, por serem robustos e mais baratos, são os motores mais largamente empregados na indústria. Nestes motores, o campo girante tem a velocidade síncrona, como nas máquinas síncronas.

Teoricamente, para o motor girando em vazio e sem perdas, o rotor teria também a velocidade síncrona. Entretanto ao ser aplicado o conjugado externo ao motor, o seu rotor diminuirá a velocidade na justa proporção necessária para que a corrente induzida pela diferença de rotação entre o campo girante (síncrono) e o rotor, passe a produzir um conjugado eletromagnético igual e oposto ao conjugado externamente aplicado.

Este tipo de máquina possui várias características próprias, que são definidas e demonstradas em uma larga gama de obras dedicadas exclusivamente a este assunto. Nesta apostila veremos os princípios e equações básicas necessárias para o desenvolvimento do tema voltado à aplicação de conversores de frequência para a variação de velocidade.

A rotação do eixo do motor é expressa por:

$$n_s = \frac{120 \times f}{2p} \times (1 - s)$$

Onde:       $n_s$       = Rotação síncrona (rpm);  
                $f$          = Frequência (Hz);  
                $2p$        = Número de pólos;  
                $s$          = Escorregamento.

Basicamente os motores assíncronos se subdividem em dois tipos principais, os quais são:

#### **1.2.1.2.1 ROTOR GAIOLA**

Os motores deste tipo também são comumente chamados de motores de GAIOLA DE ESQUILO, pois seu enrolamento rotórico tem a característica de ser curto-circuitado, assemelhando-se a tal, como mostrado na figura a seguir :

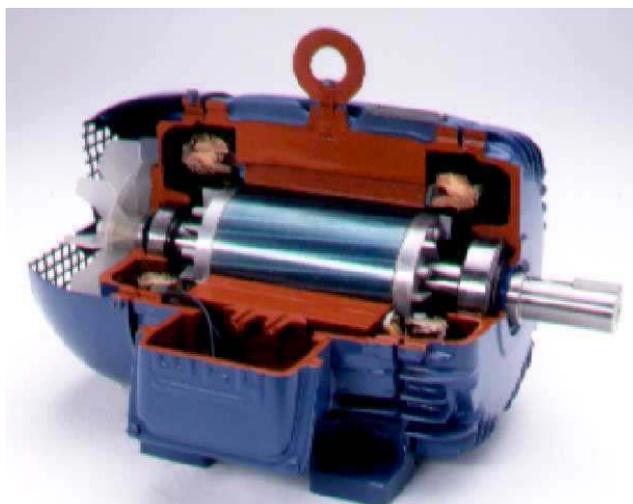


Figura 1.2 – Motor assíncrono de rotor gaiola

#### **1.2.1.2.2 ROTOR BOBINADO**

O motor de anéis possui a mesma característica construtiva do motor de indução com relação ao estator, mas o seu rotor é bobinado com um enrolamento trifásico, acessível através de três anéis com escovas coletoras no eixo.

Graças a característica do ajuste da curva de conjugado x rotação em função do aumento da resistência rotórica pela inclusão de resistores externos, são estes motores largamente utilizados no acionamento de sistemas de elevada inércia e nos casos em que o conjugado resistente em baixas rotações seja alto comparativamente ao conjugado nominal.

Por outro lado, para acionamentos com baixa inércia, estes motores podem apresentar correntes de aceleração reduzidas.

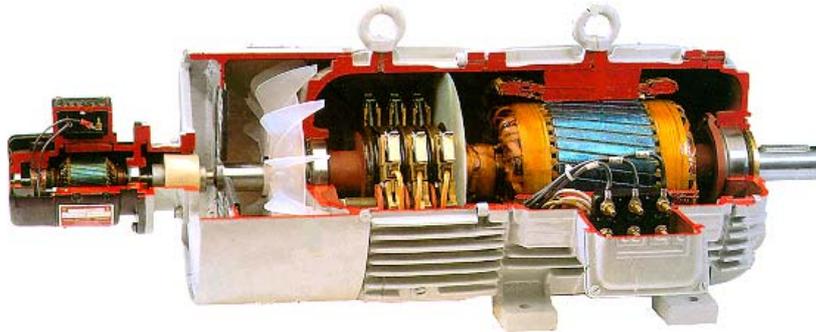


Figura 1.3 – Motor assíncrono de rotor de anéis

### 1.2.1.3 MOTOR CC

As máquinas de corrente contínua, em função do seu princípio de funcionamento, permitem variar a velocidade de zero até a velocidade nominal aliada com a possibilidade de se ter conjugado constante. Esta característica é de fundamental importância, pois dessa forma torna-se possível fazer o acionamento em várias aplicações que exigem ampla faixa de variação de velocidade com uma ótima regulação e precisão de velocidade.

Sendo um sistema específico e direcionado a aplicações dedicadas, os motores de corrente contínua são dimensionados de forma a ter as suas características definidas especialmente ao acionamento, vindo com isto a acarretar em uma elevação dos custos de produção e ser considerado como uma máquina diferenciada, onde na maior parte das situações é produzida sob encomenda.

O sistema de acionamento por corrente contínua é ainda um sistema largamente utilizado, pois em muitas aplicações é necessário que se tenha uma ótima precisão de velocidade (até 0,01%), principalmente nas aplicações de sincronismo entre vários motores.

Para que isto possa ocorrer, a maioria dos acionamentos CC são realimentados, isto é, possuem no motor CC um tacogerador acoplado ao seu eixo que fornece informação da velocidade do motor com o intuito de melhorar a sua regulação de velocidade.

Outra característica destes motores é que possuem em sua maioria ventilação independente e classe de isolamento melhorada (classe F), para que permitam a sua operação em velocidades reduzidas sem problemas de sobreaquecimento e redução de sua vida útil. A rotação do motor de corrente contínua é expressa por:

$$n = \frac{U_A - (R_A \times I_A)}{k \times \Phi_m}$$

Onde:  $U_A$  = Tensão de armadura (Vcc);  
 $I_A$  = Corrente de armadura (Acc);  
 $R_A$  = Resistência de armadura;  
 $k$  = Constante;  
 $\Phi_m$  = Fluxo magnetizante;  
 $n$  = Rotação (rpm).

Os motores de corrente contínua permitem também a operação com rotações além da rotação nominal, utilizando-se o que se caracteriza por "ENFRAQUECIMENTO DE CAMPO", que é o aumento da rotação através da redução do fluxo magnetizante e conseqüente redução de torque, conforme descrito na região II da figura a seguir:

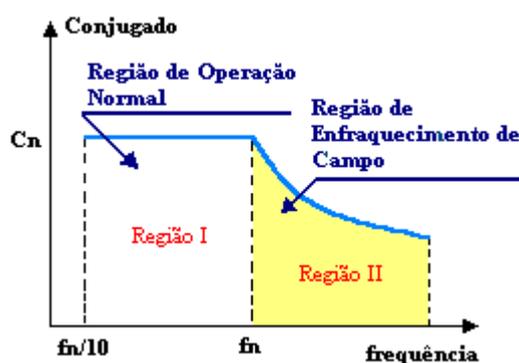


Figura 1.4 - Característica do conjugado x rotação do motor CC

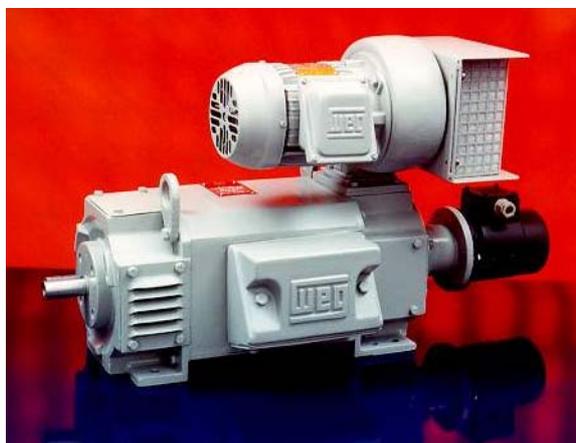


Figura 1.5 – Motor Corrente Contínua

## 1.2.2 CONCEITOS BÁSICOS

### 1.2.2.1 CONJUGADO

O conjugado, também chamado de torque ou binário, é a medida do esforço necessário para girar o eixo. Para medir o esforço necessário para fazer girar o eixo não basta definir a força empregada, é preciso também dizer a que distância do eixo a força é aplicada. O esforço é medido pelo conjugado, que é o produto da força pela distância.

$$C = F \times \ell \quad (1.2.2.1.1)$$

A unidade utilizada para o conjugado no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Newton.metro (N.m).

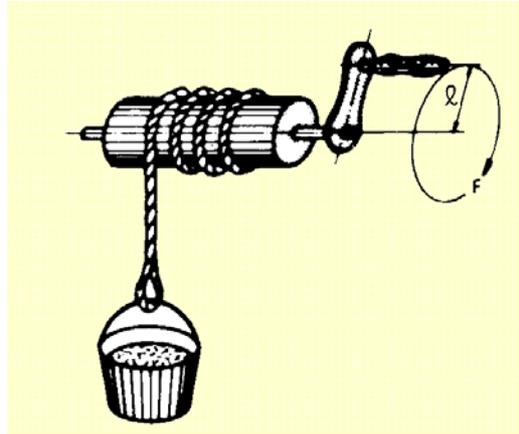


Figura 1.6

**Exemplo:** Deseja-se levantar um peso por um processo semelhante ao usado em poços, onde, a força  $F$  que é preciso aplicar à manivela, depende do comprimento ( $\ell$ ) da manivela. Quanto maior for a manivela, menor será a força necessária para suspender o balde. Se o balde pesa 20N e o diâmetro do tambor é 0,20m, a corda transmitirá uma força de 20N na superfície do tambor, isto é, a 0,10m do centro do eixo. Para contrabalançar esta força, precisam de 10N na manivela, se o comprimento  $\ell$  for de 0,20m. Se  $\ell$  for o dobro, isto é, 0,40m, a força  $F$  será a metade, ou seja 5N. Neste caso, o conjugado será:

$$C = F \times \ell = 20N \times 0,10m = 10N \times 0,20m = 5N \times 0,40m$$

$$C = 2,0N.m$$

### 1.2.2.2 ENERGIA E POTÊNCIA MECÂNICA

A potência mede a rapidez com que a energia é aplicada ou consumida. Como no exemplo anterior, a energia gasta ou o trabalho realizado para trazer o balde do fundo até a superfície é sempre a mesma, porém a potência exprime a rapidez com que esta energia é aplicável para erguer o balde até a boca, ou seja, a potência é a energia ou trabalho total realizado dividido pelo tempo total para realizá-lo. A unidade utilizada para a potência mecânica no SI é o Watt (W), porém a unidade mais usual para a potência mecânica é o c.v.(cavalo-vapor), equivalente a 736W.

$$W_{mec} = F \times d \quad (\text{N.m})$$

$$P_{mec} = \frac{F \times d}{t} \quad (\text{W})$$

$$P_{mec} = \frac{F \times d}{736 \times t} \quad (cv)$$

lembrando que,  $1N.m = 1J = W.\Delta t$ . Para movimentos circulares.

$$C = F \times r \quad (N.m)$$

$$v = \frac{\pi.d.n}{60} \quad (m/s)$$

$$P_{mec} = \frac{F \times d}{736} \quad (cv)$$

Onde: C = conjugado em N.m;  
 F = força em N;  
 $\ell$  = braço de alavanca em m;  
 r = raio da polia em m;  
 v = velocidade angular em m/s;  
 d = diâmetro da peça em m;  
 n = velocidade em rpm.

### 1.2.2.3 ENERGIA E POTÊNCIA ELÉTRICA

Embora a energia seja uma só, ela pode ser obtida de formas diferentes. Se ligar uma resistência a uma rede elétrica com tensão, passará uma corrente elétrica que irá aquecer a resistência. A resistência absorve energia e a transforma em calor, que também é uma forma de energia. Um motor elétrico absorve energia elétrica da rede e a transforma em energia mecânica disponível na ponta do eixo.

#### 1.2.2.3.1 CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA

A “potência elétrica”, em circuitos de corrente contínua, pode ser obtida através da relação da tensão (U), corrente (I) e resistência (R), envolvidas no circuito, ou seja:

$$P = U \times I \quad P = \frac{U^2}{R} \quad P = R \times I^2 \quad (W)$$

Onde: U = tensão em volt;  
 I = corrente em ampères;  
 R = resistência em ohm;  
 P = potência média em watt.

### 1.2.2.3.2 CIRCUITOS DE CORRENTE ALTERNADA

- **Resistência**

No caso de “resistências”, quanto maior a tensão da rede, maior será a corrente e mais depressa a resistência irá se aquecer. Isto quer dizer que a potência elétrica será maior. A potência elétrica absorvida da rede, no caso da resistência, é calculada multiplicando-se a tensão da rede pela corrente, se a resistência (carga), for monofásica.

$$P = U \times I \quad (\text{W})$$

No sistema trifásico a potência em cada fase da carga será  $P_f = U_f \times I_f$ , como se fosse um sistema monofásico independente. A potência total será a soma das potências das três fases, ou seja:

$$P = 3 \times P_f = 3 \times U_f \times I_f$$

Lembrando que o sistema trifásico é ligado em estrela ou triângulo, tem-se as seguintes relações:

**Ligação estrela:**  $U = \sqrt{3} \times U_f$  e  $I = I_f$

**Ligação triângulo:**  $U = U_f$  e  $I = \sqrt{3} \times I_f$

Assim, a potência total, para ambas as ligações, será:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \quad (\text{W})$$

**Obs.:** esta expressão vale para a carga formada por resistências, onde não há defasagem da corrente em relação a tensão.

- **Cargas Reativas**

Para as “cargas reativas”, ou seja, onde existe defasagem, como é o caso dos motores de indução, esta defasagem tem que ser levada em conta e a expressão fica:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad (\text{W})$$

A unidade de medida usual para potência elétrica é o watt (W), correspondente a 1 volt x 1 ampère, ou seu múltiplo, o quilowatt = 1000 watts. Esta unidade também é utilizada para a medida de potência mecânica.

A unidade de medida usual para energia elétrica é o quilowatt-hora (kWh) correspondente à energia fornecida por uma potência de um quilowatt funcionando durante uma hora – é a unidade que aparece, para cobrança, nas contas de luz.

#### 1.2.2.4 VELOCIDADE NOMINAL

É a velocidade (rpm) do motor funcionando à potência nominal, sob tensão e frequência nominais. A velocidade nominal depende do escorregamento e da velocidade síncrona.

$$n = n_s \times \left(1 - \frac{s \%}{100}\right) \quad (\text{rpm})$$

A velocidade síncrona  $n_s$  é função do número de pólos e da frequência de alimentação:

$$n_s = \frac{120 \times f}{2p} \quad (\text{rpm})$$

#### 1.2.2.5 CORRENTE NOMINAL

É a corrente que o motor absorve da rede quando funciona à potência nominal, sob tensão e frequência nominais. O valor da corrente nominal depende do rendimento ( $\eta$ ) e do fator de potência ( $\cos\varphi$ ) do motor:

$$I = \frac{P(\text{kW}) \times 1000}{\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos\varphi} = \frac{736 \times P(\text{c.v.})}{\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos\varphi} \quad (\text{A})$$

Os valores típicos de corrente, rendimento e fator de potência dos motores WEG de II, IV, VI e VIII pólos, são mostrados nos catálogos.

#### 1.2.2.6 POTÊNCIA APARENTE, ATIVA E REATIVA

**Potência aparente (S):**

É o resultado da multiplicação da tensão pela corrente ( $S = U \times I$  para sistemas monofásicos e  $S = \sqrt{3} \times U \times I$ , para sistemas trifásicos). Corresponde a potência real ou “potência ativa” que existiria se não houvesse defasagem da corrente, ou seja, se a carga fosse formada por resistência. Então,

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (\text{va}) \quad (1.2.2.6.1)$$

Para as cargas resistivas,  $\cos\varphi = 1$  e a potência ativa se confunde com a potência aparente. A unidade de medidas para potência aparente é o volt-ampère (va) ou seu múltiplo, o quilovolt-ampère (kva).

**Potência ativa (P):**

É a parcela da potência aparente que realiza trabalho, ou seja, que é transformada em energia.

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad (\text{W}) \quad (1.2.2.6.2)$$

$$\text{ou,} \quad P = S \times \cos \varphi \quad (\text{W}) \quad (1.2.2.6.3)$$

**Potência reativa (Q):**

É a parcela da potência aparente que “não” realiza trabalho. Apenas é transferida e armazenada nos elementos passivos (capacitores e indutores) do circuito.

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi \quad (\text{v.a.r.}) \quad (1.2.2.6.4)$$

$$Q = S \times \sin \varphi \quad (\text{v.a.r.}) \quad (1.2.2.6.5)$$

**1.2.2.7 POTÊNCIA EQUIVALENTE**

Evidentemente um motor elétrico deverá suprir à máquina acionada a potência necessária, sendo recomendável que haja uma margem de folga, pois pequenas sobrecargas poderão ocorrer; ou ainda, dependendo do regime de serviço, o motor pode eventualmente suprir mais ou menos potência. Apesar das inúmeras formas normalizadas de descrição das condições de funcionamento de um motor, é freqüentemente necessário na prática, avaliar a solicitação imposta ao motor por um regime mais complexo que aqueles descritos nas normas. Uma forma usual é calcular a potência equivalente pela fórmula:

$$(P_m)^2 = \frac{1}{T} \int_0^T P(t).dt \quad (1.2.2.7.1)$$

Onde:  $P_m$  = potência equivalente solicitada ao motor;  
 $P(t)$  = potência, variável pelo tempo, solicitada ao motor;  
 $T$  = duração total do ciclo (período).

O método é baseado na hipótese de que a carga efetivamente aplicada ao motor acarretará a mesma solicitação térmica que uma carga fictícia, equivalente, que solicita continuamente a potência  $P_m$ . Baseia-se também no fato de ser assumida uma variação das perdas com o quadrado da carga, e que a elevação de temperatura é diretamente proporcional às perdas. Isto é verdadeiro para motores que giram continuamente, mas são solicitados intermitentemente. Assim:

$$P_m = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + P_4^2 \cdot t_4 + P_5^2 \cdot t_5 + P_6^2 \cdot t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}} \quad (1.2.2.7.2)$$

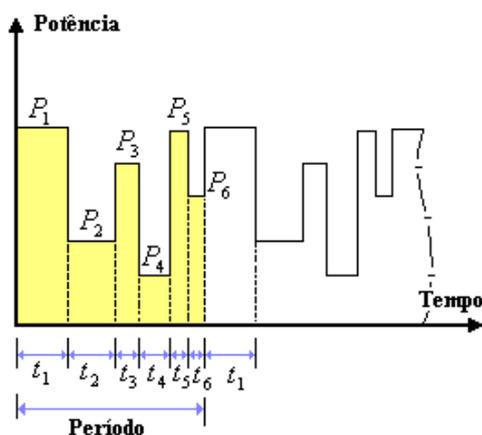


Figura 1.7 – Funcionamento contínuo com solicitações intermitentes

No caso do motor ficar em repouso entre os tempos de carga, a refrigeração deste será prejudicada. Assim, para os motores onde a ventilação está vinculada ao funcionamento do motor (por exemplo, motores totalmente fechados com ventilador externo montados no próprio eixo do motor) a potência equivalente é calculada pela fórmula:

$$(P_m)^2 = \frac{\sum (P_i^2 \cdot t_i)}{\sum \left( t_i + \frac{1}{3} t_r \right)} \quad (1.2.2.7.3)$$

Onde:  
 $t_i$  = tempo em carga;  
 $t_r$  = tempo em repouso;  
 $P_i$  = cargas correspondentes.

$$P_m = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_3^2 \cdot t_3 + P_5^2 \cdot t_5 + P_6^2 \cdot t_6}{t_1 + t_3 + t_5 + t_6 + \frac{1}{3}(t_2 + t_4 + t_7)}} \quad (1.2.2.7.4)$$

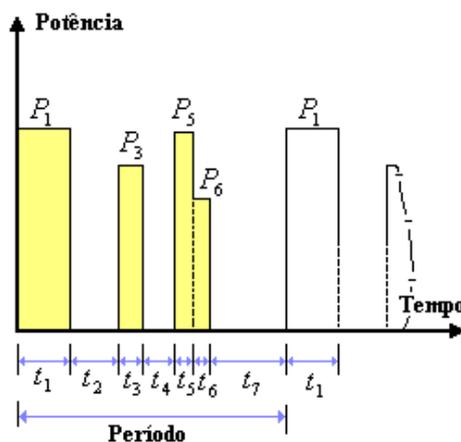


Figura 1.8 – Funcionamento com carga variável e com repouso entre os tempos de carga

### 1.2.2.8 TRIÂNGULO DE POTÊNCIA

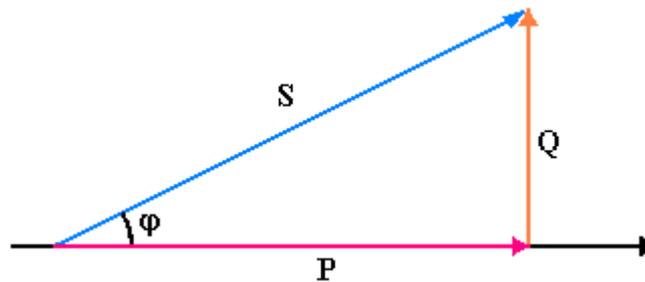


Figura 1.9 – Triângulo de potências

Onde: S = potência aparente;  
P = potência ativa;  
Q = potência reativa.

### 1.2.2.9 FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência, indicado por  $\cos\varphi$ , onde  $\varphi$  é o ângulo de defasagem da tensão em relação à corrente; é a relação entre a potência real (ativa) P e a potência aparente S.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P(W)}{\sqrt{3} \times U \times I} \quad (1.2.2.9.1)$$

Assim,

- Carga Resistiva:  $\cos\varphi = 1$ ;
- Carga Indutiva:  $\cos\varphi$  atrasado;
- Carga Capacitiva:  $\cos\varphi$  adiantado.

Os termos, atrasado e adiantado, referem-se à fase da corrente em relação à fase da tensão.

### 1.2.2.10 RENDIMENTO

O motor elétrico absorve energia elétrica da linha e a transforma em energia mecânica disponível no eixo. O rendimento define a eficiência com que é feita esta transformação. Chamado potência útil ( $P_u$ ), a potência mecânica disponível no eixo e, potência absorvida ( $P_a$ ), a potência elétrica que o motor retira da rede, o rendimento será a relação entre as duas, ou seja:

$$\eta\% = \frac{P_u(W)}{P_a(W)} \times 100 = \frac{P(W)}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi} \times 100 = \frac{736 \cdot P(c.v)}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi} \times 100 \quad (1.2.2.10.1)$$

### 1.2.2.10.1 IMPORTÂNCIA DO RENDIMENTO

É importante que o motor tenha um rendimento alto, por dois motivos:

- Primeiro, porque, um rendimento alto significa perdas baixas e, portanto, um menor aquecimento do motor;
- Segundo, porque, quanto maior o rendimento, menor a potência absorvida da linha, e, portanto, menor o custo da energia elétrica paga nas contas mensais. O rendimento varia com a carga do motor. Os catálogos dos motores WEG, indicam os valores típicos do rendimento em função da carga. Estes valores são representados genericamente na figura 1.10.

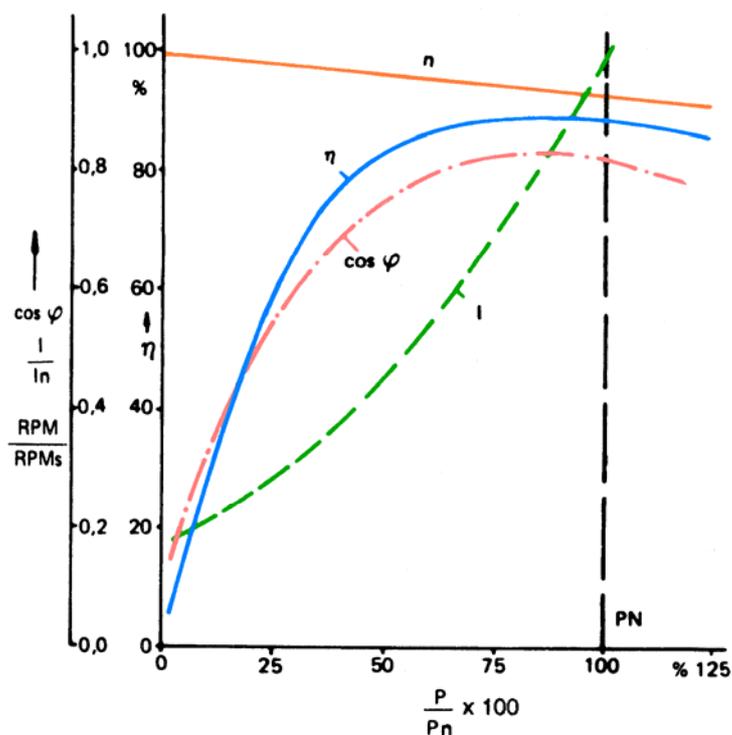


Figura 1.10 – Curvas características típicas de motores de indução trifásicos

Onde:

- I – corrente;
- $I_n$  – corrente nominal;
- P – potência;
- $P_n$  – potência nominal;
- rpm – rotação;
- rpms – rotação síncrona;
- $\eta$  – rendimento;
- $\cos \varphi$  – fator de potência.

### 1.2.2.11 RELAÇÃO ENTRE UNIDADES DE POTÊNCIA

$$P(kW) = 0,736.P(c.v) \qquad P(c.v) = 1,359.P(kW)$$

### 1.2.2.12 RELAÇÃO ENTRE CONJUGADO E POTÊNCIA

Quando a energia mecânica é aplicada sob a forma de movimento rotativo, a potência desenvolvida depende do conjugado  $C$  e da velocidade de rotação  $n$ . As relações são:

$$P(c.v) = \frac{C(kgfm) \times n(rpm)}{716} = \frac{C(Nm) \times n(rpm)}{7024}$$

$$P(kW) = \frac{C(kgfm) \times n(rpm)}{974} = \frac{C(Nm) \times n(rpm)}{9555}$$

Inversamente:

$$C(kgfm) = \frac{716 \times P(c.v)}{n(rpm)} = \frac{974 \times P(kW)}{n(rpm)}$$

$$C(Nm) = \frac{7024 \times P(c.v)}{n(rpm)} = \frac{9555 \times P(kW)}{n(rpm)}$$

### 1.2.2.13 SISTEMAS DE CORRENTE ALTERNADA MONOFÁSICA

#### 1.2.2.13.1 GENERALIDADES

A corrente alternada caracteriza-se pelo fato de que a tensão (voltagem), em vez de permanecer fixa, como entre os pólos de uma bateria, varia com o tempo, mudando de sentido alternadamente, donde o seu nome. No sistema monofásico uma tensão alternada  $U$  (volt) é gerada e aplicada entre dois fios, aos quais se liga a carga, que absorve uma corrente  $I$  (ampère).

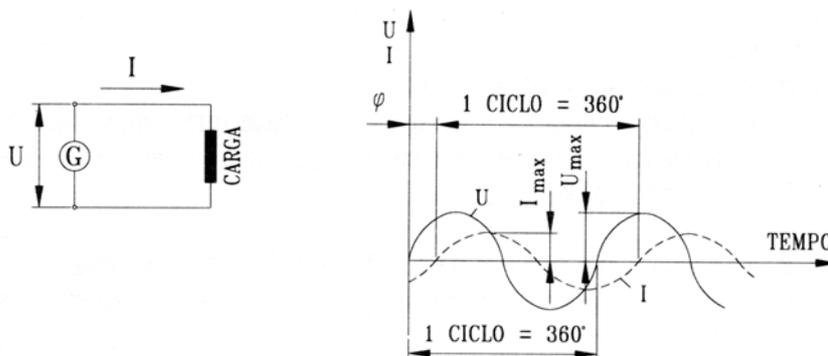


Figura 1.11

Representando em um gráfico os valores de U e I, a cada instante, vamos obter a figura 1.11, estão também indicadas algumas grandezas que serão definidas em seguida. Note que as ondas de tensão e de corrente não estão em fase, isto é, não passam pelo valor zero ao mesmo tempo, embora tenha a mesma frequência, isto acontece para muitos tipos de carga, por exemplo, enrolamentos de motores (cargas reativas).

- **Frequência:** É o número de vezes por segundo que a tensão muda de sentido e volta a condição inicial. É expressa em ciclos por segundo ou hertz, simbolizada por Hz;
- **Tensão Máxima ( $U_{máx}$ ):** É o valor de pico da tensão, ou seja, o maior valor instantâneo atingido pela tensão durante um ciclo (este valor é atingido duas vezes por ciclo, uma vez positivo e uma vez negativo).
- **Corrente Máxima ( $I_{máx}$ ):** É o valor de pico da corrente;
- **Valor eficaz de tensão e corrente (U e I):** É o valor da tensão e corrente contínuas que desenvolvem potência correspondente àquela desenvolvida pela corrente alternada. Pode-se demonstrar que o valor eficaz vale:

$$U = \frac{U_{máx}}{\sqrt{2}} \quad \text{e} \quad I = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

**Exemplo:** Quando se liga uma resistência a um circuito de corrente alternada ( $\cos\varphi = 1$ ) com  $U_{máx} = 311$  volts e  $I_{máx} = 14,14$  ampères, a potência desenvolvida será:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{1}{2} \cdot U_{máx} \cdot I_{máx} \cdot \cos \varphi$$

$$P = 2200 \text{ watts}$$

**Obs.:** Na linguagem normal quando se fala em tensão e corrente, por exemplo, 220 volts ou 10 ampères, sem especificar mais nada, referem-se a valores eficazes da tensão ou da corrente, que são empregados na prática.

- **Defasagem ( $\varphi$ ):** É o atraso da onda da corrente em relação a onda da tensão. Em vez de ser medido em tempo (segundos), este atraso é geralmente medido em ângulo (grau) correspondente à fração de um ciclo completo, considerando 1 ciclo =  $360^\circ$ . Mas comumente a defasagem é expressa pelo cosseno do ângulo.

### 1.2.2.13.2 LIGAÇÕES EM SÉRIE E PARALELO

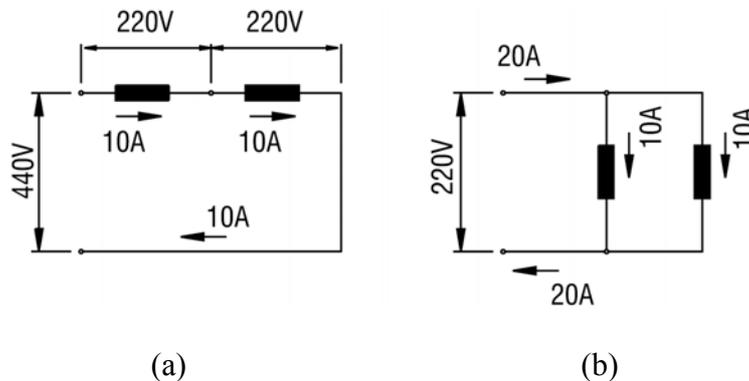


Figura 1.12 – (a) ligação em série, (b) ligação em paralelo

Se ligar duas cargas iguais a um sistema monofásico, esta ligação pode ser feita de dois modos:

- Ligação em série (figura 1.12 – (a)), em que duas cargas são atravessadas pela corrente total do circuito. Neste caso, a tensão em cada carga será a metade da tensão do circuito para cargas iguais;
- Ligação em paralelo (figura 1.12 – (b)), em que é aplicada às duas cargas a tensão do circuito. Neste caso, a corrente em cada carga será a metade da corrente total do circuito para cargas iguais.

### 1.2.3 SISTEMAS DE CORRENTE ALTERNADA TRIFÁSICA

O sistema trifásico é formado pela associação de três sistemas monofásicos de tensões  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$  tais que a defasagem entre elas seja de  $120^\circ$ , ou seja, os “atrasos” de  $U_2$  em relação a  $U_1$ , de  $U_3$  em relação a  $U_2$  e de  $U_1$  em relação a  $U_3$  sejam iguais a  $120^\circ$  (considerando um ciclo completo =  $360^\circ$ ). O sistema é equilibrado, isto é, as três tensões têm o mesmo valor eficaz  $U_1 = U_2 = U_3$  conforme figura 1.13:

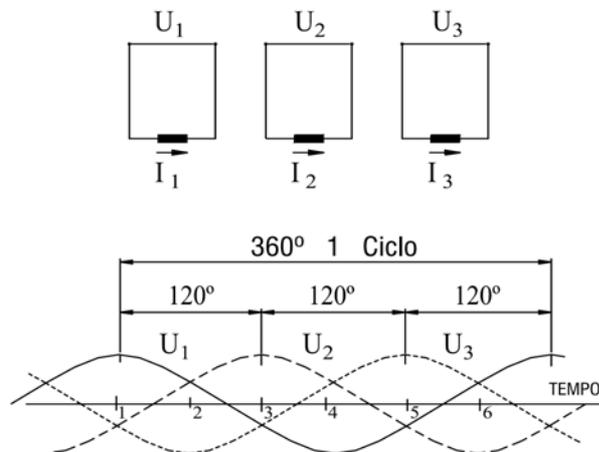


Figura 1.13

Ligando entre si os três sistemas monofásicos e eliminando os fios desnecessários, tem-se um sistema trifásico: três tensões  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$  equilibradas, defasadas entre si de  $120^\circ$  e aplicadas entre os três fios do sistema. A ligação pode ser feita de duas maneiras, representadas nos esquemas seguintes. Nestes esquemas costuma-se representar as tensões com setas inclinadas ou valores girantes, mantendo entre si o ângulo correspondente à defasagem ( $120^\circ$ ).

### 1.2.3.1 LIGAÇÃO TRIÂNGULO

Ligando-se os três sistemas monofásicos entre si, como indica a figura abaixo, pode-se eliminar três fios, deixando apenas um em cada ponto de ligação, e o sistema trifásico ficará reduzido a três fios  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ .

**Tensão de linha (U):** É a tensão nominal do sistema trifásico aplicada entre dois quaisquer dos três fios  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ .

**Corrente de linha ( $I_L$ ):** É a corrente em qualquer um dos três fios  $L_1$ ,  $L_2$ , e  $L_3$ .

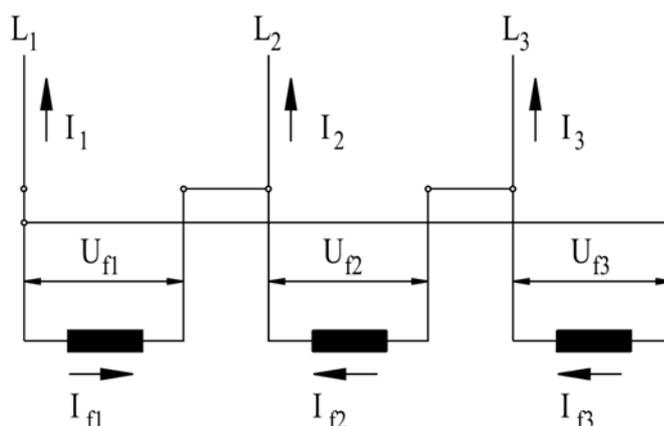


Figura 1.14 – ligação triângulo.

**Tensão e corrente de fase ( $U_1$  e  $I_1$ ):** É a tensão e corrente de cada um dos três sistemas monofásicos considerados.

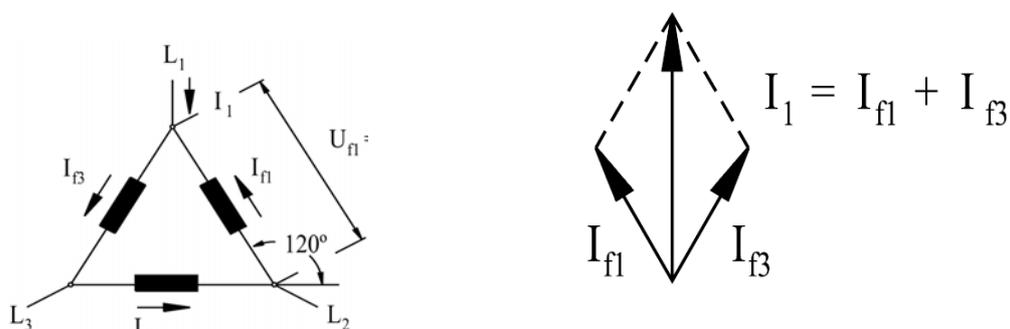


Figura 1.15 – ligação triângulo.

Examinando o esquema da figura, vê-se que:

$$U_1 = U_f$$

$$I_1 = \sqrt{3}.I_f = 1,732.I_f$$

**Exemplo:** Tem-se um sistema equilibrado de tensão nominal 220 volts. A corrente de linha medida é 10 ampères. Ligando a este sistema uma carga trifásica composta de três cargas iguais em triângulo, qual a tensão e a corrente em cada uma das cargas?

Tem-se  $U_1 = U_f = 220$  volts em cada uma das cargas.

Se  $I_1 = 1,732.I_f$ , tem-se  $I_f = 0,577I_1 = 0,577 \times 10 = 5,77$  ampères em cada uma das cargas.

### 1.2.3.2 LIGAÇÃO ESTRELA

Ligando um dos fios de cada sistema monofásico a um ponto comum aos três, os três fios restantes formam um sistema trifásico em estrela. Às vezes, o sistema trifásico em estrela é “a quatro fios”, ou “com neutro”. O quarto fio é ligado ao ponto comum às três fases. A tensão de linha ou tensão nominal do sistema trifásico e a corrente de linha, são definidas do mesmo modo que na ligação triângulo.

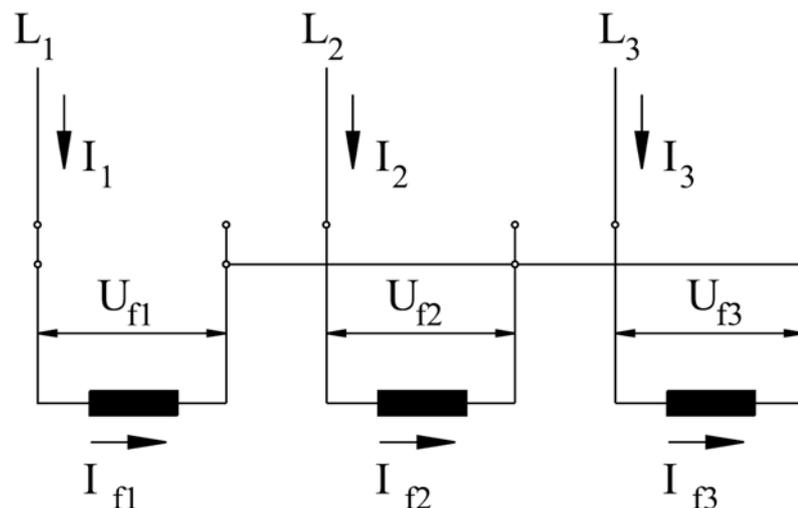


Figura 1.16 – Ligação estrela

Quando se liga uma carga trifásica em estrela, e a potência das cargas em cada fase for igual, não há necessidade de se ligar o ponto central (comum) ao neutro, pois não irá circular corrente alguma por este ponto, neste caso tem-se um sistema equilibrado.

Caso as potências forem diferentes deve-se ligar o ponto central ao neutro, pois do contrário ficariam tensões diferentes em cima de cada carga e teríamos um sistema desequilibrado.

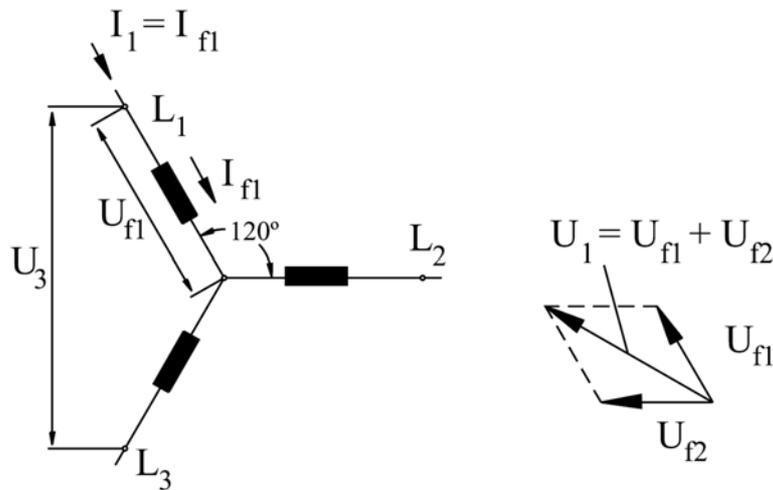


Figura 1.17 – Ligação estrela

Examinando o esquema da figura acima vê-se que:

$$I_1 = I_f$$

$$U_1 = \sqrt{3}U_f = 1,732U_f$$

**Exemplo:** Tem-se uma carga trifásica composta de três cargas iguais; cada carga é feita para ser ligada a uma tensão de 220 volts, absorvendo 5,77 ampères. Qual a tensão nominal do sistema trifásico que alimenta esta carga em suas condições normais (220 volts e 5,77 ampères)? Qual a corrente de linha?

Tem-se

$U_f = 220$ volts (normal de cada carga);
$U_1 = 1,732 \times 220 = 380$ volts
$I_1 = I_f = 5,77$ ampères

## 1.2.4 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

### 1.2.4.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e de valor proporcional à corrente.

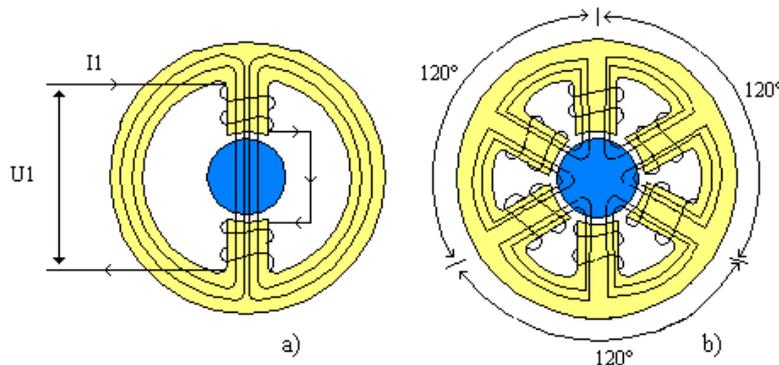


Figura 1.18

- Na figura (a) é indicado um “enrolamento monofásico” atravessado por uma corrente  $I$ , e o campo  $H$  é criado por ela; o enrolamento é constituído de um par de pólos (um pólo “norte” e um pólo “sul”), cujos efeitos se somam para estabelecer o campo  $H$ . O fluxo magnético atravessa o rotor entre os dois pólos e se fecha através do núcleo do estator. Se a corrente  $I$  é alternada, o campo  $H$  também é, e o seu valor a cada instante será representado pelo mesmo gráfico da figura 1.11, inclusive invertendo o sentido a cada ciclo. O campo  $H$  é “pulsante”, pois, sua intensidade “varia” proporcionalmente à corrente, sempre na “mesma” direção norte-sul.
- Na figura (b) é indicado um “enrolamento trifásico”, que é transformado por três monofásicos espaçados entre si de  $120^\circ$ . Se este enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, as correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  criarão, do mesmo modo, os seus próprios campos magnéticos  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$ . Estes campos são espaçados entre si de  $120^\circ$ . Além disso, como são proporcionais às respectivas correntes, serão defasados no tempo, também de  $120^\circ$  entre si e podem ser representados por um gráfico igual ao da figura 1.19. O campo total  $H$  resultante, a cada instante, será igual à soma gráfica dos três campos  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$  naquele instante.

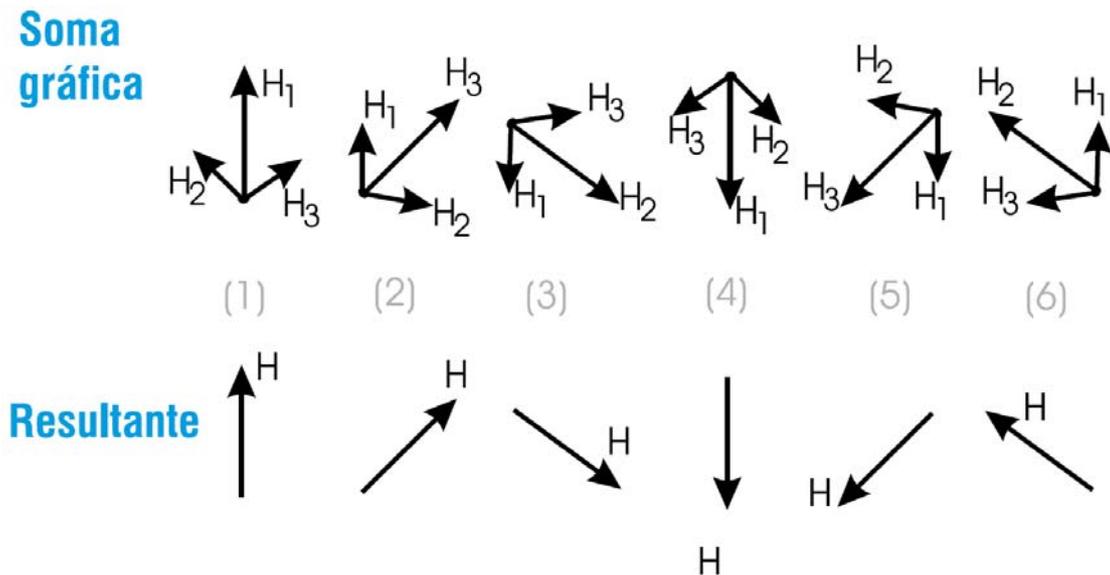


Figura 1.19 – Soma gráfica dos campos para seis instantes sucessivos

No instante (1), a figura 1.19 mostra que o campo  $H_1$  é máximo e os campos  $H_2$  e  $H_3$  são negativos e de mesmo valor, iguais a 0,5. Os três campos são representados na figura 1.19 (1), parte superior, levando em conta que o campo negativo é representado por uma seta de sentido oposto ao que seria normal; o campo resultante (soma gráfica) é mostrado na parte inferior da figura 1.19, tendo a mesma direção do enrolamento da fase 1. Repetindo a construção para os pontos 2, 3, 4, 5 e 6 da figura 1.19, observa-se que o campo resultante  $H$  tem intensidade “constante”, porém sua direção vai “girando”, completando uma volta no fim de um ciclo.

Assim, quando um enrolamento trifásico é alimentado por correntes trifásicas, cria-se um “campo girante”, como se houvesse um único par de pólos girantes, de intensidade constante. Este campo girante, criado pelo enrolamento trifásico do estator, induz tensões nas barras do rotor (linhas de fluxo cortam as barras do rotor) as quais geram correntes, e conseqüentemente, um campo no rotor, de polaridade oposta à do campo girante. Como campos opostos se atraem e como o campo do estator (campo girante) é rotativo, o rotor tende a acompanhar a rotação deste campo. Desenvolve-se então, no rotor, um conjugado motor que faz com que ele gire, acionando a carga.

#### 1.2.4.2 VELOCIDADE SÍNCRONA ( $n_s$ )

A velocidade síncrona do motor é definida pela velocidade de rotação do campo girante, a qual depende do número de pólos ( $2p$ ) do motor e da frequência ( $f$ ) da rede, em hertz.

Os enrolamentos podem ser construídos com um ou mais pares de pólos, que se distribuem alternadamente (um “norte” e um “sul”) ao longo da periferia do núcleo magnético. O campo girante percorre um par de pólos ( $p$ ) a cada ciclo. Assim, como o enrolamento tem pólos ou  $p$  pares de pólos, a velocidade do campo será:

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{120 \times f}{2p} \quad (\text{rpm}) \quad (1.2.4.2.1)$$

**Exemplo:** Qual a rotação síncrona de um motor de 6 pólos, 50Hz?

$$n_s = \frac{120 \times f}{2p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

Note que o número de pólos do motor terá que ser sempre par, para formar os pares de pólos. Para as frequências e “polaridades” usuais, as velocidades síncronas são:

Nº de pólos	Rotação síncrona por minuto	
	60 Hz	50Hz
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750

Tabela 1.2.4.2.1 – Velocidades síncronas para os diferentes números de pólos

Para motores de “dois pólos”, o campo percorre uma volta a cada ciclo. Assim, os graus elétricos equivalem aos graus mecânicos. Para motores com mais de dois pólos, tem-se, de acordo com o número de pólos, um giro “geométrico” menor, sendo inversamente proporcional a  $360^\circ$  em dois pólos.

Por exemplo: Para um motor de seis pólos tem-se, em um ciclo completo, um giro do campo de  $\frac{360^\circ \times 2}{6} = 120^\circ$  geométricos. Isto equivale, logicamente, a 1/3 da velocidade em dois pólos. Conclui-se, assim, que:

$$\text{Graus geométricos} = \text{Graus mecânicos} \times p$$

### 1.2.4.3 ESCORREGAMENTO (s)

Em um motor elétrico assíncrono, o rotor sempre irá girar com rotação abaixo da rotação do campo girante e, portanto, haverá corrente e torque (conjugado eletromecânico) induzidos. A diferença relativa entre as velocidades do rotor e do fluxo do estator (síncrona) é conhecida como “escorregamento” e é representada por:

$$s_{\%} = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100$$

Onde:  $n_s$  = Velocidade síncrona (rpm);  
 $n$  = Velocidade rotórica (rpm);  
 $s$  = Escorregamento.

Se o motor gira a uma velocidade diferente da velocidade síncrona (rotação do campo girante), o enrolamento do rotor corta as linhas de força magnéticas do campo girante e, pelas

leis do eletromagnetismo, circularão nele correntes induzidas. Quanto maior a carga, maior terá que ser o conjugado necessário para acioná-la. Para obter um maior conjugado, proporcionalmente terá que ser maior a diferença de velocidades entre rotor e o campo girante no estator para que as correntes induzidas e os campos produzidos sejam maiores. Portanto, à medida que a carga aumenta, cai a rotação do motor. Quando a carga for zero (motor a vazio) o rotor irá girar praticamente na rotação síncrona.

A frequência da corrente induzida no rotor é igual ao escorregamento vezes a frequência do estator. Ou seja:

$$f_2 = s \times f_1$$

Onde:  $f_1$  = Frequência da corrente estatórica (Hz);  
 $f_2$  = Frequência da corrente rotórica (Hz).

A vazio o escorregamento é muito pequeno, portanto, como no rotor, sua reatância e sua f.e.m. induzida são todas muito pequenas. Assim, a corrente do rotor é reduzida, apenas suficiente para produzir o torque necessário a vazio. O fator de potência é extremamente baixo e em atraso, com  $\cos \varphi < 0,3$ , pois a corrente que circula pelo motor é utilizada apenas para a sua magnetização.

Quando uma carga mecânica é aplicada ao rotor, a velocidade decresce um pouco. O pequeno decréscimo na velocidade causa um aumento no escorregamento, na frequência da corrente rotórica, na sua reatância e na sua força eletromotriz induzida. O aumento da corrente induzida no rotor reflete-se num aumento da corrente primária do estator (componente esta que produz potência). Uma corrente maior será produzida no estator, com um melhor fator de potência, tendendo a produzir mais potência mecânica e solicitar mais potência da linha. À plena carga o motor de indução irá girar a um escorregamento que promove o equilíbrio entre o torque desenvolvido pelo motor e o torque resistente da carga.

O fator de potência a plena carga varia de 0,8 (em pequenos motores de aproximadamente 1 cv) a aproximadamente 0,95 (nos grandes motores, acima de 150 cv). Em primeira análise pode parecer que aumentos além da plena carga produzirão melhoria no fator de potência, e aumento na corrente de fase do estator. Porém, com o aumento da carga e do escorregamento, a frequência da corrente rotórica continua a aumentar e o aumento na reatância do rotor produz uma diminuição no fator de potência do mesmo. Portanto, com cargas acima da plena carga, o fator de potência aproxima-se de um máximo e então decresce rapidamente.

### 1.2.4.4 EQUACIONAMENTO

#### 1.2.4.4.1 CIRCUITO EQUIVALENTE

Nas situações em que o escorregamento é diferente de 0 e 1, haverá f.e.m. induzida no secundário e, conseqüentemente haverá conversão eletromecânica com potência em jogo, onde tem-se então um circuito equivalente com os parâmetros e variáveis para o primário e para o secundário:

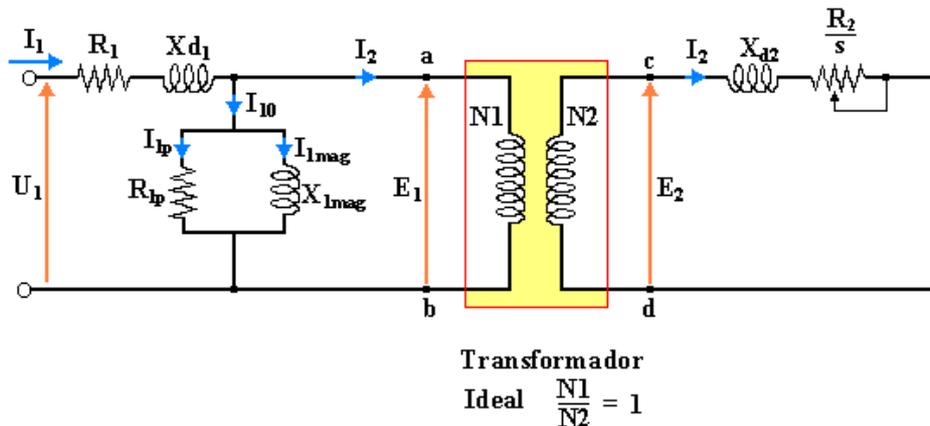


Figura 1.20 – Circuito equivalente por fase de uma máquina assíncrona com escorregamento s, com secundário (rotor) não referido ao primário (estator).

Onde:	$R_1$ = Resistência estatórica;	$U_1$ = Tensão estatórica;
	$X_{d1}$ = Reatância estatórica;	$I_1$ = Corrente estatórica;
	$R_2$ = Resistência rotórica;	$I_{1p}$ = Corrente de perdas;
	$X_{d2}$ = Reatância rotórica;	$I_{1mag}$ = Corrente de magnetização;
	$X_{1mag}$ = Reatância de magnetização;	$I_2$ = Corrente rotórica;
	$R_{1p}$ = Resistência de perdas;	$E_1$ = f.c.e.m. estatórica;
	$E_2$ = f.e.m. rotórica.	

#### 1.2.4.4.2 FORÇA ELETROMOTRIZ E CORRENTE INDUZIDA

Considere a máquina com um escorregamento não nulo. Haverá indução de f.e.m. no rotor e ela pode ser definida em função do escorregamento. Com o rotor parado, o campo rotativo estatórico gira com a mesma velocidade relativamente aos enrolamentos do rotor e estator, induzindo no rotor, f.e.m. proporcionais à frequência  $f_1$  (frequência da corrente estatórica).

Pela teoria, para motor com rotor bloqueado, tem-se que as tensões induzidas no rotor (f.e.m) e no estator (f.c.e.m) são dadas respectivamente por:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N1 \cdot \Phi_m \cdot k_{e1}$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N2 \cdot \Phi_m \cdot k_{e2}$$

Onde:  $E_1$  = Força contra eletromotriz induzida no estator;  
 $E_2$  = Força eletromotriz induzida no rotor;  
 $k_{e1}$  e  $k_{e2}$  = Fator de enrolamento do estator e rotor, respectivamente;  
 $N_1$  e  $N_2$  = Número de espiras do estator e rotor, respectivamente;  
 $\Phi_m$  = Fluxo de magnetização;  
 $f_2 = f_1$  para rotor bloqueado.

Na presença de escorregamento tem-se:

$$f_2 = s \times f_1$$

Portanto:

$$E_{2s} = 4,44 \cdot s \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \Phi_m \cdot k_{e2} \cong s \cdot E_2$$

Esta equação pode ser simplificada, para um estudo mais aproximado da máquina, por:

$$\Phi_m \approx \frac{E_1}{f_1}$$

Que determina sucintamente a relação do fluxo de magnetização entre rotor e estator com a tensão e a frequência aplicada na máquina (estatística), frequência esta que está relacionada com a rotação no eixo da máquina, não considerando o escorregamento existente entre rotor e estator.

#### 1.2.4.4.3 CONJUGADO ELETROMAGNÉTICO

A interação entre a corrente do rotor e o fluxo produzido por cada pólo unitário do campo magnético girante que concatena o condutor do rotor, resulta o conjugado motor, o qual é dado por:

$$C = k \cdot \Phi_m \cdot I_{2s} \cdot \cos \varphi_{2s}$$

Onde:  $k$  = Constante de conjugado para o número de pólos, o enrolamento, as unidades empregadas, etc.;  
 $\cos \varphi_{2s}$  = Fator de potência do circuito rotórico;  
 $\Phi_m$  = Fluxo de magnetização;  
 $I_{2s}$  = Corrente rotórica.

Da mesma forma, para um estudo mais aproximado da máquina, esta equação poderá ser simplificada por:

$$C \approx \Phi_m \cdot I_{2s}$$

Que determina a relação existente entre o torque desenvolvido (solicitado) pela máquina, o fluxo de magnetização entre rotor e estator e a corrente induzida rotórica, que é dada por:

$$I_{2s} = \frac{s \times E_2}{\sqrt{R_2^2 + sX_{d2}^2}} = \frac{s \times E_2}{Z_{2s}}$$

Onde:  $Z_{2s}$  = Impedância rotórica;  
 $E_2$  = Força eletromotriz induzida no rotor;  
 $s$  = Escorregamento.

Nota-se então que o conjugado desenvolvido é função do escorregamento, isto é, com o aumento da carga aplicada à máquina, aumenta-se o escorregamento e conseqüentemente o torque desenvolvido. Esta relação apresenta um limite, com o qual se consegue obter o conjugado máximo, e a partir do qual, aumentando-se o escorregamento aumenta-se a impedância rotórica diminuindo-se o conjugado, conforme descrito no item a seguir.

#### 1.2.4.4 CONJUGADO DE PARTIDA

Do desenvolvimento do modelo matemático da máquina assíncrona, demonstra-se que o conjugado é descrito por:

$$C_p = k \cdot E_1^2 \cdot \left( \frac{R_2}{R_2^2 + X_{d2}^2} \right)$$

Onde:  $C_p$  = Conjugado de partida;  
 $k$  = Constante de conjugado para o número de pólos, o enrolamento, as unidades empregadas, etc.;  
 $E_1$  = Tensão estatórica;  
 $R_2$  = Resistência rotórica;  
 $X_{d2}$  = Reatância rotórica.

Da equação acima pode-se fazer as seguintes considerações:

- No instante da partida, o conjugado não é afetado pela natureza da carga aplicada;
- Desde que para um dado motor de indução tipo gaiola a resistência efetiva do rotor e a reatância de rotor bloqueado sejam constantes, a expressão pode ser escrita por:

$$C_p = k' \times E_1^2$$

Ou seja, o torque de partida é apenas função da tensão aplicada ao enrolamento do estator. Ao reduzir-se a tensão nominal, também se reduzirá a corrente secundária e a primária. Este processo de diminuição da corrente de partida é bastante utilizado nos médios e grandes motores do tipo gaiola, nos casos onde a acentuada redução do conjugado de partida não comprometa o acionamento da carga.

### 1.2.4.4.5 DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIAS E PERDAS

No caso de um acionamento em que a potência solicitada ao motor permanece constante ao longo do tempo, a determinação da potência é relativamente simples, conhecidos o conjugado resistente da carga e a rotação de funcionamento, tem-se:

$$P = \frac{C \times n}{k}$$

É importante ter em mente que a potência solicitada ao motor é definida pelas características da carga, isto é, independentemente da potência nominal do motor.

A potência transmitida à carga pelo eixo do motor é menor que a potência absorvida da rede, devido às perdas no motor. Essas perdas podem ser classificadas em:

- Perdas joule no enrolamento estático (perdas no cobre);
- Perdas joule no enrolamento (ou gaiola) rotórico;
- Perdas por atrito e ventilação;
- Perdas magnéticas no núcleo (perdas no ferro).

A figura a seguir representa a distribuição destas perdas:

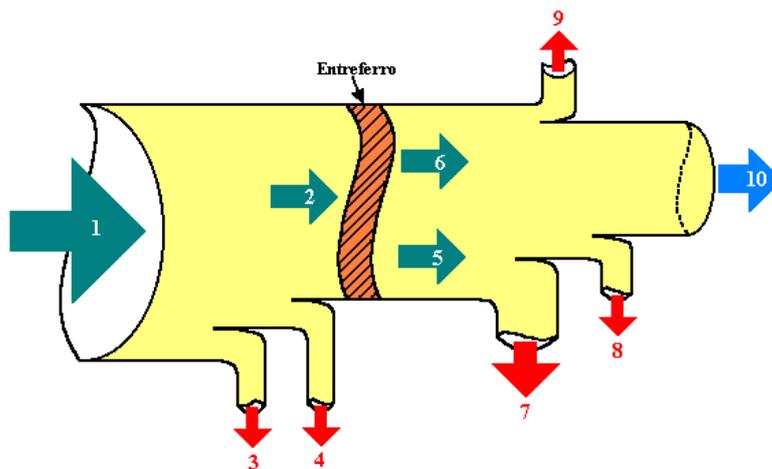


Figura 1.21 – Distribuição da potência e de perdas em máquinas assíncronas.

Onde:

- (1) Potência aparente elétrica da rede [  $(1) = (2) + (3) + (4)$  ];
- (2) Potência aparente elétrica do estator a ser transferida ao rotor [  $E_1 \cdot I_2' = E_2 \cdot I_2$  ];
- (3) Perdas primárias (estator) no ferro;
- (4) Perdas primárias (estator) no cobre;
- (5) Potência aparente elétrica no rotor [  $sE_2 \cdot I_2$  ] → perdas devido ao escorregamento;
- (6) Potência mecânica no eixo [  $(1 - s) \cdot E_2 \cdot I_2$  ];
- (7) Potência elétrica no rotor que pode ser recuperável, no caso do rotor estar ligado a uma rede externa por meio de anéis;
- (8) Perdas elétricas dissipadas no rotor;
- (9) Perdas por atrito e ventilação;
- (10) Potência resultante no eixo [ potência mecânica (6) - perdas por atrito e ventilação (9) ];

Para o caso de acionamento de um motor de indução por conversor de frequência, a forma de onda da corrente produzida pelos conversores não é perfeitamente senoidal, pois contém harmônicas de 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> ordem. Portanto as perdas nos motores são maiores.

Além disso, para operações acima da frequência nominal (50 ou 60 Hz), haverá uma redução adicional de conjugado, a qual se deve ao aumento das perdas no ferro do motor.

Para utilização de motores em frequências superiores à nominal devem, portanto ser considerados o aumento das perdas no ferro e também as velocidades limites, função da força centrífuga nos enrolamentos rotóricos e outras partes mecânicas, como por exemplo, esforço adicional nos rolamentos devido ao desbalanceamento do rotor bem como a velocidade limite do mesmo.

### 1.2.5 DEFINIÇÕES DE TERMOS TÉCNICOS USUAIS

- **Frequência:** é o número de vezes por segundo que a tensão muda de sentido e volta à condição inicial. É expressa em “ciclos por segundo” ou “Hertz”, simbolizada por Hz.
- **Tensão Máxima ( $U_{máx}$ ):** é o valor “de pico” da tensão, ou seja, o maior valor instantâneo atingido pela tensão durante um ciclo (este valor é atingido duas vezes por ciclo, uma vez positivo e uma vez negativo).
- **Corrente Máxima ( $I_{máx}$ ):** é o valor “de pico” da corrente.
- **Valor eficaz de Tensão e Corrente ( $U_{ef}$  e  $I_{ef}$ ):** é o valor da tensão e corrente contínuas que desenvolvem potência correspondente a desenvolvida pela corrente alternada. Pode-se demonstrar que o valor eficaz vale:

$$U_{ef} = \frac{U_{máx}}{\sqrt{2}} \quad \text{e} \quad I_{ef} = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

- **Defasagem ( $\phi$ ):** é o “atraso” da onda de corrente em relação a onda da tensão. Em vez de ser medido em tempo (segundos), este atraso é geralmente medido em ângulo (graus) correspondente a fração de um ciclo completo, considerando 1 ciclo = 360°. A defasagem é freqüentemente expressa pelo coseno do ângulo.

## 1.3 CARACTERÍSTICAS DA REDE

### 1.3.1 O SISTEMA

No Brasil, o sistema de alimentação pode ser monofásico ou trifásico. O sistema monofásico é utilizado em serviços domésticos, comerciais e rurais, enquanto o sistema trifásico, em aplicações industriais, ambos em 60 Hz.

#### 1.3.1.1 TRIFÁSICO

As tensões trifásicas mais usadas nas redes industriais são:

- Baixa tensão: 220 V, 380 V e 440 V;
- Média tensão: 2300 V, 3300 V, 4160 V, 6600 V e 13800 V.

O sistema trifásico estrela de baixa tensão, consiste de três condutores de fase ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ) e o condutor neutro (N), sendo este, conectado ao ponto estrela do gerador ou secundário dos transformadores.

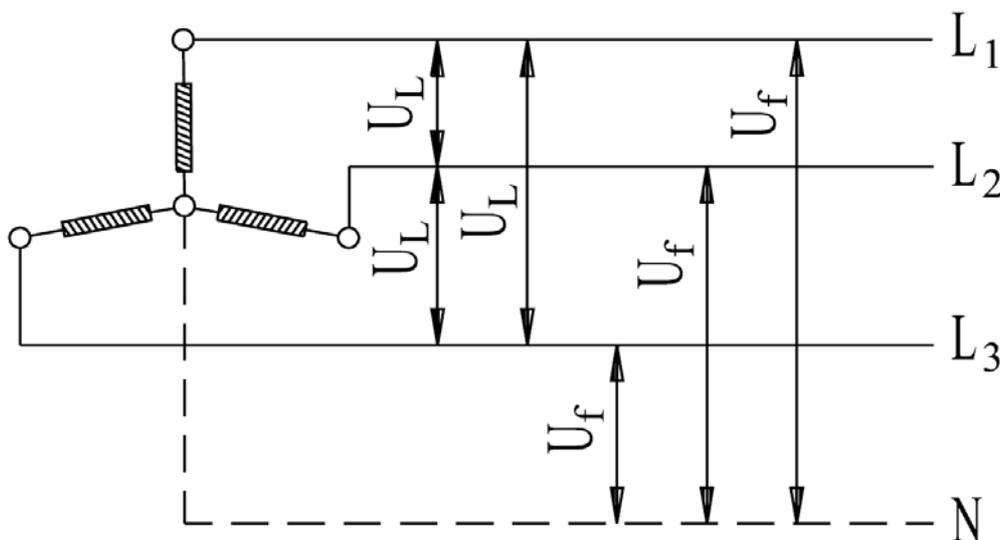


Figura 1.22 – Sistema trifásico

#### 1.3.1.2 MONOFÁSICO

As tensões monofásicas padronizadas no Brasil são as de 115 V (conhecida como 110 V), 127 e 220 V.

Os motores monofásicos são ligados à duas fases (tensão de linha  $U$ ) ou à uma fase e o neutro (tensão de fase  $U_f$ ). Assim, a tensão nominal do motor monofásico deverá ser igual à tensão  $U$  ou  $U_f$  do sistema.

Quando vários motores monofásicos são conectados a um sistema trifásico (formado por três sistemas monofásicos), deve-se tomar o cuidado para distribuí-los de maneira uniforme, evitando-se assim, desequilíbrio entre as fases.

### 1.3.1.2.1 MONOFÁSICO COM RETORNO POR TERRA (MRT)

O sistema monofásico com retorno por terra – MRT – é um sistema elétrico em que a terra funciona como condutor de retorno da corrente de carga. Utiliza-se como solução para o emprego no monofásico a partir de alimentadores que não têm o condutor neutro. Dependendo da natureza do sistema elétrico existente e características do solo onde será implantado (geralmente na eletrificação rural) têm-se:

#### 1) Sistema monofilar

É a versão mais prática e econômica do MRT, porém, sua utilização só é possível onde a saída da subestação de origem é estrela-triângulo.

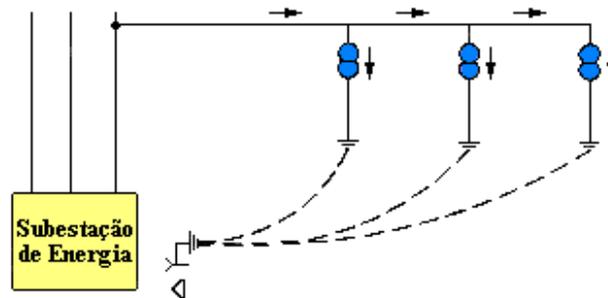


Figura 1.23 – Sistema monofilar

#### 2) Sistema monofilar com transformador de isolamento

Este sistema possui algumas desvantagens, além do custo do transformador, como:

- Limitação da potência do ramal à potência nominal do transformador de isolamento;
- Necessidade de reforçar o aterramento do transformador de isolamento, pois na sua falta, cessa o fornecimento de energia para todo o ramal.

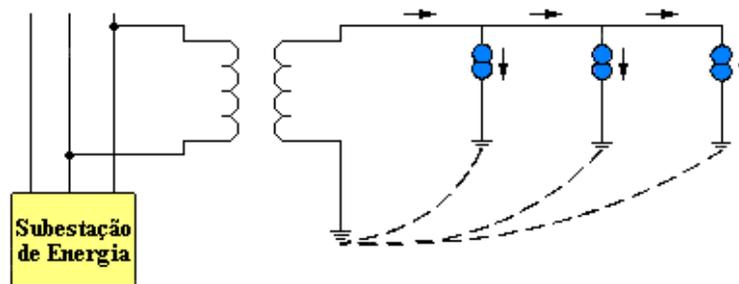


Figura 1.24 – Sistema monofilar com transformador de isolamento

#### 3) Sistema MRT na versão neutro parcial

É empregado como solução para a utilização do MRT em regiões de solos de alta resistividade, quando se torna difícil obter valores de resistência de terra dos transformadores dentro dos limites máximos estabelecidos no projeto.

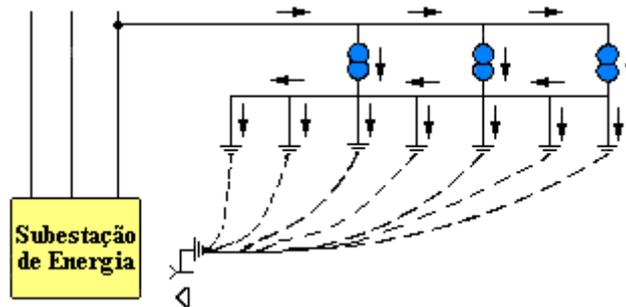


Figura 1.25 – Sistema MRT na versão neutro parcial

### 1.3.2 TENSÃO NOMINAL

É a tensão de rede para a qual o motor foi projetado.

#### 1.3.2.1 TENSÃO DA REDE DE ALIMENTAÇÃO EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA DO MOTOR

Atualmente não há um padrão mundial para a escolha da tensão de alimentação em função da potência do motor. Entre os principais fatores que são considerados, pode-se citar:

- Nível de tensão disponível no local;
- Limitações da rede de alimentação com referência à corrente de partida;
- Distância entre a fonte de tensão (subestação) e a carga;
- Custo do investimento, entre baixa e alta tensão para potências entre 150 e 450 kW.

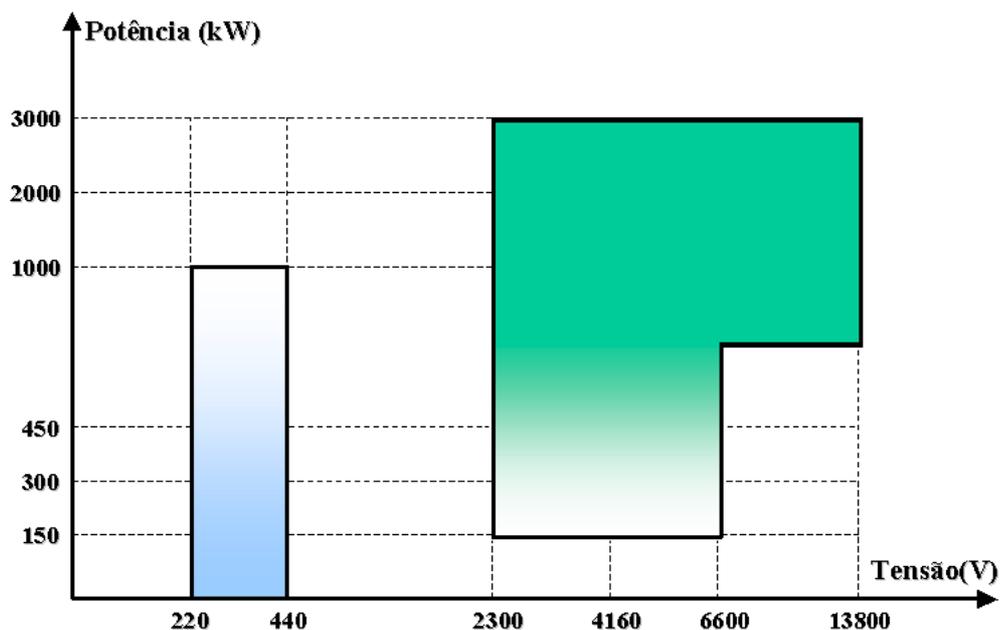


Figura 1.26 – Tensões normalmente utilizadas em função da potência do motor

### 1.3.2.2 TENSÃO NOMINAL MÚLTIPLA

A grande maioria dos motores é fornecida com terminais do enrolamento religáveis, de modo a poderem funcionar em redes de pelo menos duas tensões diferentes. Os principais tipos de religação de terminais de motores para funcionamento em mais de uma tensão são:

#### 1.3.2.2.1 LIGAÇÃO SÉRIE-PARALELA

O enrolamento de cada fase é dividido em duas partes (lembrar que o número de pólos é sempre par, de modo que este tipo de ligação é sempre possível). Ligando as duas metades em série, cada metade ficará com a metade da tensão de fase nominal do motor. Ligando as duas metades em paralelo, o motor poderá ser alimentado com uma tensão igual à metade da tensão anterior, sem que se altere a tensão aplicada a cada bobina.

Este tipo de ligação exige nove terminais no motor e a tensão nominal (dupla) mais comum, é 220/440 V, ou seja, o motor é religado na ligação paralela quando alimentado com 220V e na ligação série quando alimentado em 440 V. A figura 1.27 mostra a numeração normal dos terminais e o esquema de ligação para estes tipos de motores, tanto para motores ligados em estrela como em triângulo. O mesmo esquema serve para outras duas tensões quaisquer, desde que uma seja o dobro da outra, por exemplo, 230/460 V.

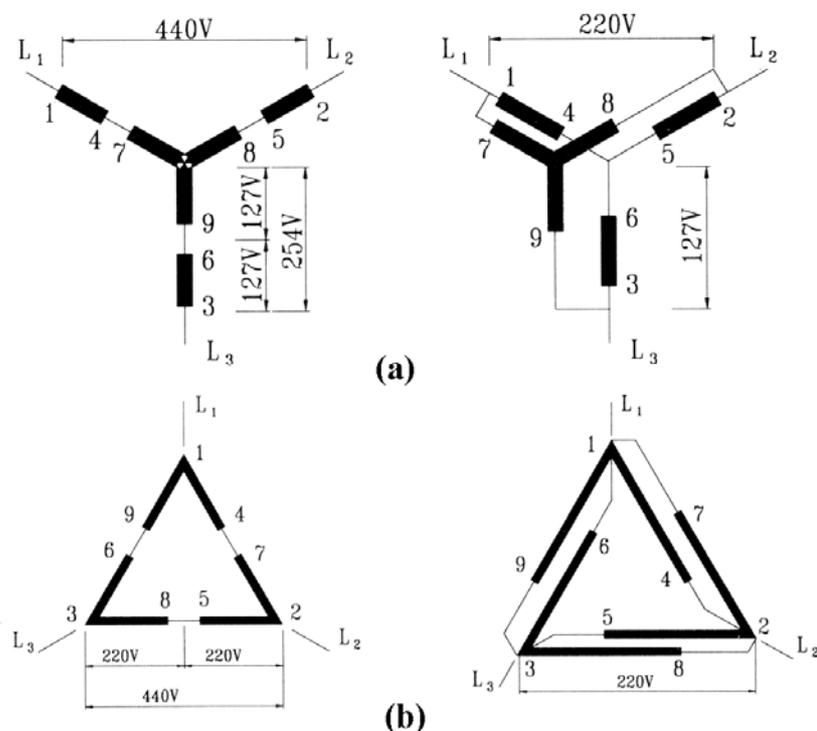


Figura 1.27 – Ligação série-paralelo

### 1.3.2.2.2 LIGAÇÃO ESTRELA-TRIÂNGULO

O enrolamento de cada fase tem as duas pontas trazidas para fora do motor. Se ligar as três fases em triângulo, cada fase receberá a tensão da linha, por exemplo, 220 volts (figura 1.28). Se ligar as três fases em estrela, o motor pode ser ligado a uma linha com tensão igual a  $220\sqrt{3} = 380$  volts sem alterar a tensão no enrolamento que continua igual a 220 volts por fase, pois:

$$U_f = U\sqrt{3}$$

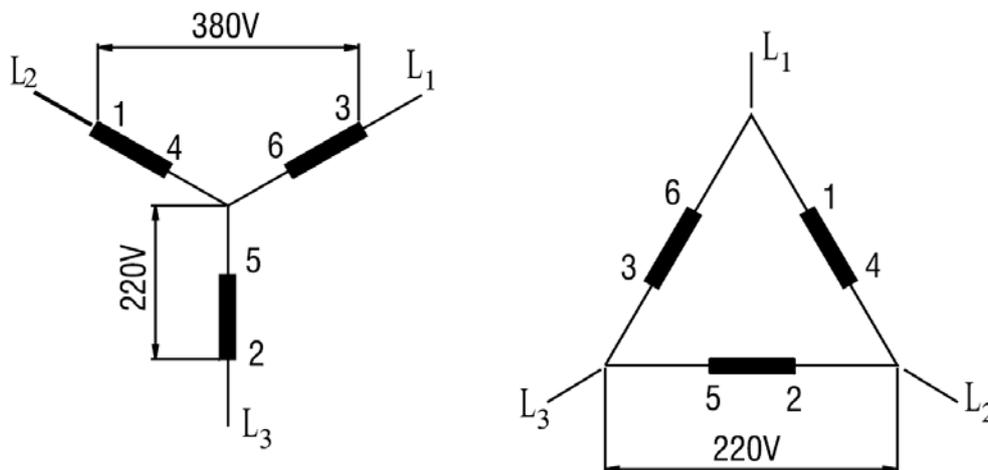


Figura 1.28 – Ligação estrela-triângulo

Este tipo de ligação exige seis terminais no motor e serve para quaisquer tensões nominais duplas, desde que a segunda seja igual à primeira multiplicada por  $\sqrt{3}$ .

**Exemplo:** 220/380 V – 380/660 V – 440/760 V.

Nos exemplos 380/660 V e 440/760 V, a tensão maior declarada só serve para indicar que o motor pode ser acionado através de uma chave de partida estrela-triângulo.

Motores que possuem tensão nominal de operação acima de 600 V deverão possuir um sistema de isolamento especial, apto a esta condição.

### 1.3.2.2.3 TRIPLA TENSÃO NOMINAL

Podem-se combinar os dois casos anteriores: o enrolamento de cada fase é dividido em duas metades para ligação série-paralelo. Além disso, todos os terminais são acessíveis para poder-se ligar as três fases em estrela ou triângulo. Deste modo, têm-se quatro combinações possíveis de tensão nominal:

- 1) Ligação triângulo paralelo;
- 2) Ligação estrela paralela, sendo igual a  $\sqrt{3}$  vezes a primeira;
- 3) Ligação triângulo série, valendo o dobro da primeira;
- 4) Ligação estrela série, valendo  $\sqrt{3}$  vezes a terceira. Mas, como esta tensão seria maior que 600 V, é indicada apenas como referência de ligação estrela-triângulo.

**Exemplo:** 220/380/440/(760) V

Este tipo de ligação exige 12 terminais e a figura 1.29 mostra a numeração normal dos terminais e o esquema de ligação para as três tensões nominais.

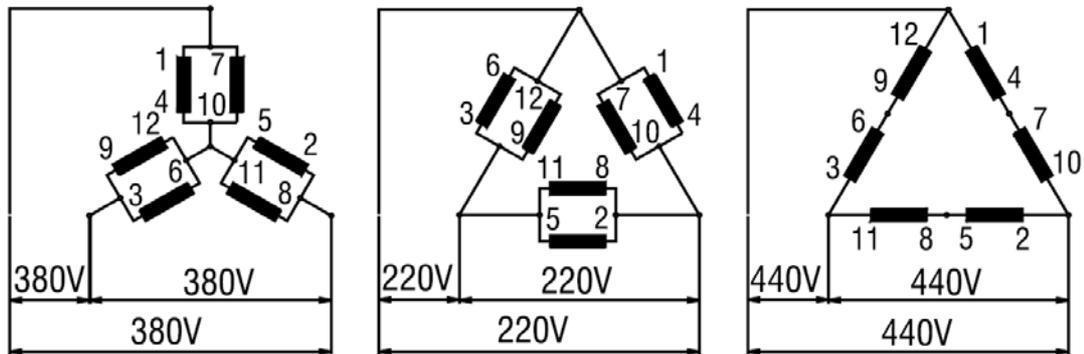


Figura 1.29

### 1.3.2.3 TENSÕES DE LIGAÇÕES NORMAIS

A tabela 1.3.2.3.1 mostra as tensões nominais múltiplas mais comuns em motores trifásicos e sua aplicação às tensões de rede usuais:

**Observações:**

- A partida direta ou com chave compensadora é possível em todos os casos abaixo;
- A ligação para 660 V ou 760 V é usada somente para ligação com chave estrela-triângulo. Todas as ligações para as diversas tensões são feitas pelos terminais, localizados na caixa de ligação;
- Todo motor traz o esquema para estas ligações, impresso na placa de identificação.

Execução dos enrolamentos	Tensão de Serviço	Partida com chave estrela-triângulo	Partida com chave compensadora	Partida com chave série-paralela	Partida com Soft-Starter
220/380	220 V	Sim	Sim	Não	Sim
	380 V	Não	Sim	Não	Sim
220/440/230/460	220 V/230 V	Não	Sim	Sim	Sim
	440 V/460 V	Não	Sim	Não	Sim
380/660	380 V	Sim	Sim	Não	Sim
220/380/440/760	220 V	Sim	Sim	Sim	Sim
	380 V	Não	Sim	Sim	Sim
	440 V	Sim	Sim	Não	Sim

Tabela 1.3.2.3.1 – Ligações normais dos enrolamentos dos motores trifásicos

### 1.3.3 FREQUÊNCIA NOMINAL (HZ)

É a frequência da rede para a qual o motor foi projetado.

#### 1.3.3.1 TOLERÂNCIA DE VARIAÇÃO DE TENSÃO E FREQUÊNCIA

Conforme a norma IEC 60034-1/NBR 7094, o motor elétrico de indução deve ser capaz de funcionar de maneira satisfatória dentro das possíveis combinações das variações de tensão e frequência classificados em zona A ou zona B, conforme figura 1.30.

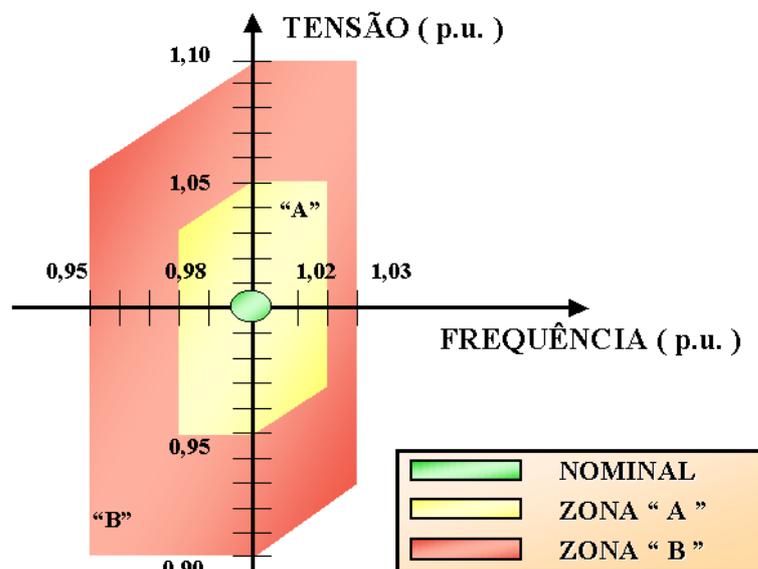


Figura 1.30 – Limites das variações de tensão e de frequência em funcionamento

#### ZONA A

- O motor deverá desempenhar sua função principal continuamente (assegurar o seu conjugado nominal);
- O motor terá desvios em suas características de desempenho à tensão e frequências nominais (rendimento, fator de potência, etc.);
- Haverá elevações de temperatura superiores àquelas a tensão e frequência nominais (podem exceder em aproximadamente 10K os limites especificados pela norma);

#### ZONA B

- O motor deverá desempenhar sua função principal (assegurar o seu conjugado nominal);
- O motor terá desvios em suas características de desempenho, à tensão e frequência nominais, superiores àquelas da zona A
- Existirão elevações de temperatura superiores àquelas a tensão e frequência nominais e superiores às da zona "A";

Ainda quanto aos limites de tensão e frequência, a norma define um acréscimo na elevação de temperatura ou na temperatura total do motor quando há uma variação simultânea da tensão e da frequência. Para as condições de operação nos limites da zona A (ver figura 1.30), as elevações de temperatura e a temperatura total podem exceder em aproximadamente 10 K os limites especificados, em contra partida o motor deve assegurar o seu conjugado nominal. Quanto às características de desempenho, elas podem sofrer variações (tanto na zona A quanto na zona B – mais acentuada nesta última, por este motivo a IEC 60034-1/NBR 7094 recomenda o não funcionamento prolongado na periferia da zona B). Entretanto a norma não estabelece os limites. Assim sendo, o motor deve ser capaz de funcionar dentro das zonas A e B, fornecendo conjugado nominal.

O efeito aproximado da variação da tensão sobre as características do motor está mostrado na tabela abaixo:

Desempenho do motor	Tensão 20% acima da nominal	Tensão 10% acima da nominal	Tensão 10% abaixo da nominal
Conjugado de partida / conjugado máximo	Aumenta 54%	Aumenta 26%	Diminui 24%
Corrente de partida	Aumenta 27%	Aumenta 13%	Diminui 12%
Corrente de plena carga (In)	Aumenta 5%	Diminui 2%	Aumenta 8%
Rotação	Aumenta 1%	Aumenta 0,3 %	Diminui 1%
Rendimento	Diminui 2%	Diminui 0,3 %	Diminui 1%
Fator de potência	Diminui 19%	Diminui 7%	Aumenta 4%
Temperatura	Aumenta 18°C	Aumenta 2°C	Aumenta 9°C
Ruído magnético sem carga	Aumento perceptível	Ligeiro aumento	Ligeira diminuição

Tabela 1.3.3.1.1 – Efeito aproximado da variação da tensão para o motor IV pólos, 220/380/440 V, 60 Hz

O efeito aproximado da variação da frequência sobre as características do motor está mostrado na tabela 1.3.3.1.2.

Motor enrolado para 50Hz	Ligação em 60 Hz	Rotação Nominal	Potência Nominal	Conjugado Nominal	Corrente Nominal	Conjugado de partida	Conjugado máximo	Corrente de partida
						Todos os valores em tantas vezes o nominal		
U	U	Fator de transformação para funcionamento em 60 Hz						
220 V	220 V	1,20	1,00	0,83	1,00	1,00	0,83	0,83
380 V	380 V	1,20	1,00	0,83	1,00	1,00	0,83	0,83
380 V	440 V	1,20	1,15	0,96	1,00	0,96	0,96	0,96
440 V	440 V	1,20	1,00	0,83	1,00	1,00	0,83	0,83
500 V	500 V	1,20	1,00	0,83	1,00	1,00	0,83	0,83
500 V	550 V	1,20	1,10	0,91	1,00	0,91	0,91	0,91
660 V	660 V	1,20	1,00	0,83	1,00	1,00	0,83	0,83

Tabela 1.3.3.1.2 – variação no funcionamento de motores de 50 Hz ligados em 60 Hz.

*Obs.:* para ligação em outras frequências deverá ser consultada a fábrica.

### 1.3.3.2 LIGAÇÃO EM FREQUÊNCIAS DIFERENTES

Motores trifásicos bobinados para 50 Hz poderão ser ligados também em rede de 60 Hz.

#### a) *Ligando o motor de 50 Hz, com a mesma tensão, em 60 Hz:*

- A potência do motor será a mesma;
- A corrente nominal é a mesma;
- A corrente de partida é a mesma;
- O conjugado de partida diminui 17%;
- O conjugado máximo diminui 17%;
- A velocidade nominal aumenta 20%;

*Nota:* Deverão ser observados os valores de potências requeridas, para motores que acionam equipamentos que possuem conjugados variáveis com a rotação.

#### b) *Se alterar a tensão em proporção à frequência:*

- Aumenta a potência do motor em 20%
- A corrente nominal é a mesma;
- A corrente de partida será aproximadamente a mesma;
- O conjugado de partida será aproximadamente o mesmo;
- A rotação nominal aumenta 20%;

Quando o motor for ligado em 60 Hz com a bobinagem 50 Hz, pode-se aumentar a potência em 15% para II pólos e 20% para IV, VI e VIII pólos.

### **1.3.4 LIMITAÇÃO DA CORRENTE DE PARTIDA DE MOTORES TRIFÁSICOS**

Sempre que possível, a partida de um motor trifásico de gaiola, deverá ser direta, por meio de contadores. Deve ter-se em conta que para um determinado motor, as curvas de conjugado e corrente são fixas, independente da dificuldade de partida, para uma tensão constante.

Nos casos em que a corrente de partida do motor é elevada podem ocorrer as seguintes consequências prejudiciais:

- Elevada queda de tensão no sistema de alimentação da rede. Em função disto, provoca a interferência em equipamentos instalados no sistema;
- O sistema de proteção (cabos, contadores) deverá ser superdimensionado, ocasionando um custo elevado;
- A imposição das concessionárias de energia elétrica que limitam a queda de tensão da rede.

Caso a partida direta não seja possível, devido aos problemas citados acima, pode-se usar sistema de partida indireta para reduzir a corrente de partida. Estes sistemas de partida indireta (tensão reduzida) são:

- Chave estrela-triângulo;
- Chave compensadora;
- Chave série-paralelo;
- Reostato;
- Partidas eletrônicas (soft-starter e inversor de frequência).

#### **1.3.4.1 PARTIDA COM CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO (Y-Δ)**

É fundamental para a partida com a chave estrela-triângulo que o motor tenha a possibilidade de ligação em dupla tensão, ou seja, em 220/380 V, em 380/660 V, 440/760 V, em 1350/2300 V, em 2400/4160 V ou 3800/6600 V. Os motores deverão ter no mínimo seis bornes de ligação. A partida estrela-triângulo poderá ser usada quando a curva de conjugados do motor é suficientemente elevada para poder garantir a aceleração da máquina com corrente reduzida. Na ligação estrela, o conjugado fica reduzido para 33% do conjugado de partida na ligação triângulo. Por este motivo, sempre que for necessária uma partida estrela-triângulo, deverá ser usado um motor com curva de conjugado elevado.

Os motores WEG têm alto conjugado máximo e de partida, sendo, portanto, ideais para a maioria dos casos, para uma partida estrela-triângulo. Entretanto, o alto custo dos contadores e/ou disjuntores a vácuo, inviabiliza este tipo de partida para motores de alta tensão.

Antes de decidir por uma partida estrela-triângulo, será necessário verificar se o conjugado de partida será suficiente para operar a máquina. O conjugado resistente da carga não poderá ultrapassar o conjugado de partida do motor (figura 1.31), nem a corrente no instante da mudança para triângulo poderá ser de valor inaceitável.

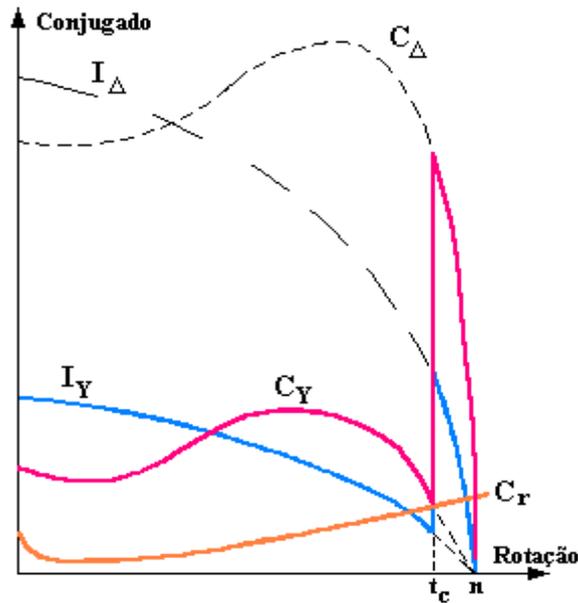


Figura 1.31 – Corrente e conjugado para partida estrela-triângulo de um motor de gaiola acionando uma carga com conjugado resistente  $C_r$ .

- Onde:
- $I_{\Delta}$  = corrente em triângulo;
  - $I_Y$  = corrente em estrela;
  - $C_Y$  = conjugado em estrela;
  - $C_{\Delta}$  = conjugado em triângulo;
  - $C_r$  = conjugado resistente;
  - $t_c$  = tempo de comutação.

Esquemáticamente, a ligação estrela-triângulo num motor para uma rede de 220V é feita da maneira indicada na figura 1.32, notando-se que a tensão por fase durante a partida é reduzida para 127V.

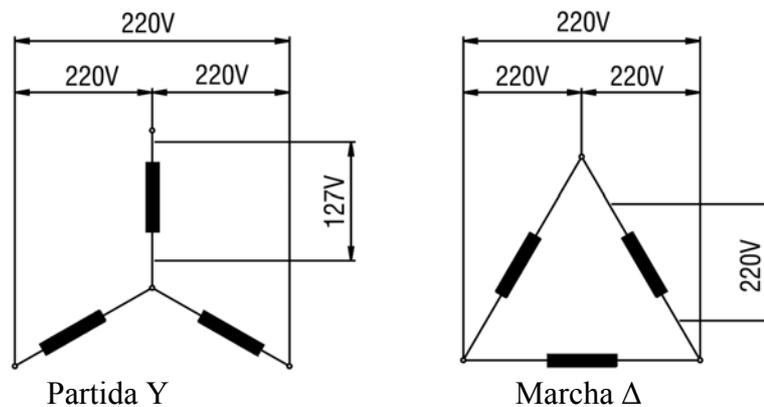


Figura 1.32

### 1.3.4.2 PARTIDA COM CHAVE COMPENSADORA (AUTO-TRANSFORMADOR)

A chave compensadora pode ser usada para a partida de motores sob carga. Ela reduz a corrente de partida, evitando uma sobrecarga no circuito, deixando, porém, o motor com um conjugado suficiente para a partida e aceleração. A tensão na chave compensadora é reduzida através de auto-transformador que possui normalmente taps de 50, 65 e 80% da tensão nominal.

Para os motores que partem com uma tensão menor que a tensão nominal, a corrente e o conjugado de partida devem ser multiplicados pelos fatores  $K_1$  (fator de multiplicação da corrente) e  $K_2$  (fator de multiplicação do conjugado) obtidos na figura 1.33.

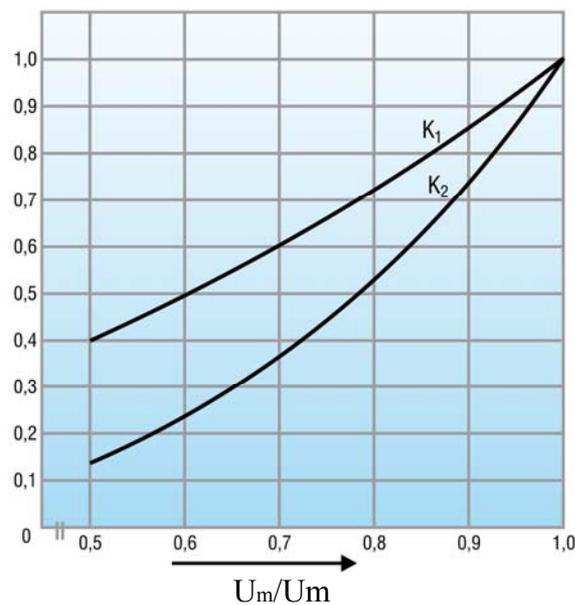


Figura 1.33 – Fatores de redução  $K_1$  e  $K_2$  em função das relações de tensão do motor e da rede  $U_m/U_n$

**Exemplo:** Para 85% da tensão nominal;

$$\left(\frac{I_p}{I_n}\right)_{85\%} = K_1 \times \left(\frac{I_p}{I_n}\right)_{100\%} = 0,8 \times \left(\frac{I_p}{I_n}\right)_{100\%}$$

$$\left(\frac{C_p}{C_n}\right)_{85\%} = K_2 \times \left(\frac{C_p}{C_n}\right)_{100\%} = 0,66 \times \left(\frac{C_p}{C_n}\right)_{100\%}$$

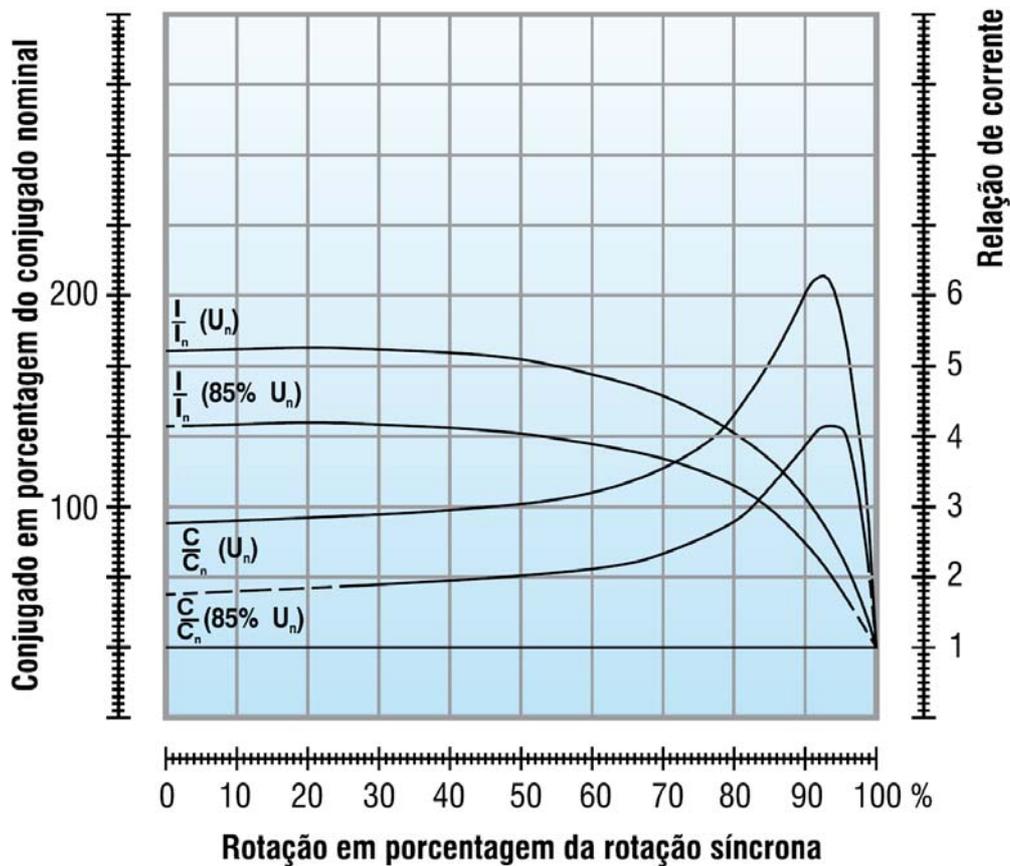


Figura 1.34 – Exemplo das características de desempenho de um motor de 425 cv, VI pólos, quando parte com 85% da tensão

### 1.3.4.3 COMPARAÇÃO ENTRE CHAVES “Y-Δ” E COMPENSADORA “AUTOMÁTICA”

- **Estrela-Triângulo (automática):**

Vantagens:

- a) A chave estrela-triângulo é muito utilizada por seu custo reduzido para baixas tensões;
- b) Não tem limite quanto ao número de manobras;
- c) Os componentes ocupam pouco espaço;
- d) A corrente de partida fica reduzida para aproximadamente 1/3.

Desvantagens:

- a) A chave só pode ser aplicada a motores cujos seis bornes ou terminais sejam acessíveis;
- b) A tensão da rede deve coincidir com a tensão em triângulo do motor;
- c) Com a corrente de partida reduzida para aproximadamente 1/3 da corrente nominal, reduz-se também o momento de partida para 1/3;
- d) Caso o motor não atinja pelo menos 90% de sua velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo será quase como se fosse uma partida direta, o que se torna prejudicial aos contatos dos contatores e não traz nenhuma vantagem para a rede elétrica.

- **Chave Compensadora (automática):**

Vantagens:

- a) No tap de 65% a corrente de linha é aproximadamente igual a da chave estrela-triângulo, entretanto, na passagem da tensão reduzida para a tensão da rede, o motor não é desligado e o segundo pico é bem reduzido, visto que o auto-trafo por curto tempo se torna uma reatância;
- b) É possível a variação do tap de 65 para 80% ou até para 90% da tensão da rede, a fim de que o motor possa partir satisfatoriamente.

Desvantagens:

- a) A grande desvantagem é a limitação de sua frequência de manobras. Na chave compensadora automática é sempre necessário saber a sua frequência de manobra para determinar o auto-trafo de acordo.
- b) A chave compensadora é bem mais cara do que a chave estrela-triângulo, devido ao auto-trafo;
- c) Devido ao tamanho do auto-trafo, a construção se torna volumosa, necessitando quadros maiores, o que torna o seu preço elevado.

### 1.3.4.4 PARTIDA COM CHAVE SÉRIE-PARALELO

Para partida em série-paralelo é necessário que o motor seja religável para duas tensões, a menor delas igual a da rede e a outra duas vezes maior.

Este tipo de ligação exige nove terminais no motor e a tensão nominal mais comum é 220/440 V, ou seja: durante a partida o motor é ligado na configuração série até atingir sua rotação nominal e, então, faz-se a comutação para a configuração paralelo.

### 1.3.4.5 PARTIDA COM REOSTATO PARA MOTORES DE ANÉIS

O motor de indução de anéis pode ter uma família de curvas conjugado x velocidade, através da inserção de resistências externas no circuito rotórico. Desta maneira, para uma dada velocidade, é possível fazer o motor fornecer qualquer valor de conjugado, até o limite do conjugado máximo. Assim é possível fazer com que o motor tenha altos conjugados na partida com correntes relativamente baixas, bem como fazê-lo funcionar numa dada velocidade com o valor de conjugado desejado.

Em cada uma das curvas da família de curvas, o motor comporta-se de maneira que à medida que a carga aumenta, a rotação cai gradativamente. À velocidade síncrona, o conjugado motor torna-se igual a zero.

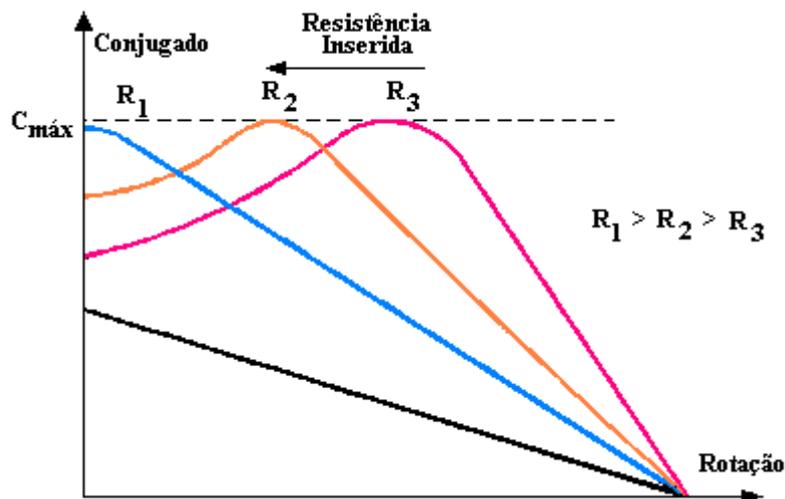


Figura 1.35 – Família de curvas de conjugado x rotação para motores de anéis

A utilização de motores de anéis, baseia-se na seguinte equação:

$$s = \frac{3 \times R_2 \times I_2^2}{\omega_0 \times T} = \frac{P_{j2}}{\omega_0 \times T} \quad (1.3.4.5.1)$$

Onde:

- $s$  = escorregamento;
- $R_2$  = resistência rotórica ( $\Omega$ );
- $I_2$  = corrente rotórica (A);
- $\omega_0$  = rotação síncrona (rad/s);
- $T$  = torque ou conjugado do rotor (Nm);
- $p_{j2}$  = perdas no rotor (W).

A inserção de uma resistência externa no rotor faz com que o motor aumente o “s”, provocando a variação de velocidade. Na figura 1.35, vê-se o efeito do aumento da resistência externa inserida ao rotor.

### 1.3.4.6 PARTIDAS ELETRÔNICAS

#### 1.3.4.6.1 SOFT-STARTER

O avanço da eletrônica permitiu a criação da chave de partida a estado sólido a qual consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR, ou combinações de tiristores/diodos), um em cada borne de potência do motor.

O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para uma tensão variável aos terminais do motor durante a “aceleração”. Este comportamento é, muitas vezes, chamado de “partida suave” (soft-starter). No final do período de partida, ajustável conforme a aplicação, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente, ao invés de ser submetido a incrementos ou “saltos” repentinos, como ocorre com os métodos de partida por auto-transformador, ligação estrela-triângulo, etc. Com isso, consegue-se manter a corrente de partida próxima da nominal e com suave variação, como desejado.

Além da vantagem do controle da tensão (e por consequência da corrente) durante a partida, a chave eletrônica apresenta, também, a vantagem de não possuir partes móveis ou que gerem arco elétrico, como nas chaves mecânicas. Este é um dos pontos fortes das chaves eletrônicas, pois sua vida útil é bem mais longa (até centenas de milhões de manobras).

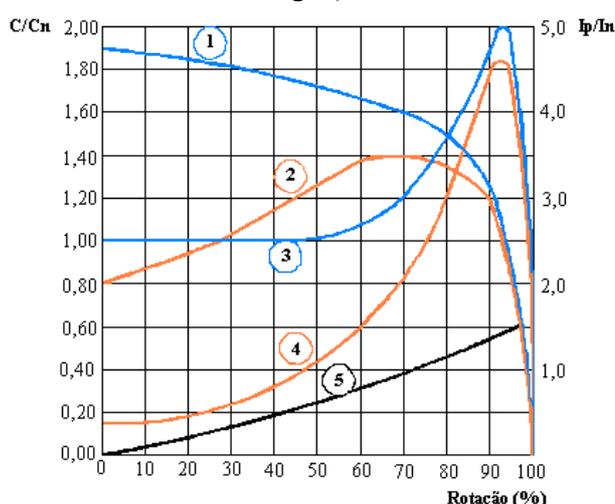


Figura 1.36 – Partida direta e com soft-starter

- 1 – Corrente de partida direta;
- 2 – Corrente de partida com soft-starter;
- 3 – Conjugado com partida direta;
- 4 – Conjugado com soft-starter;
- 5 – Conjugado da carga.

### ***1.3.4.6.2 INVERSOR DE FREQUÊNCIA***

Por muitos anos, motores CA foram usados estritamente em aplicações de velocidade constante. Tradicionalmente, com bombas, ventiladores e compressores, o controle da vazão também foi realizado através de meios mecânicos como o estrangulamento de válvulas e abafadores. Quando a velocidade variável era requerida, motores CC, juntamente com turbinas e motores de combustão interna, eram escolhidos.

O advento de acionamentos de velocidade variável, confiáveis e de custo efetivo, mudaram rapidamente estes procedimentos. Estes acionamentos, que regulam a velocidade do motor, controlando a tensão e a frequência da rede, tem alargado vastamente a abrangência das aplicações e capacidades dos motores CA.

O uso de controles de frequência ajustável, entretanto, impacta o projeto, desempenho e confiabilidade dos motores CA. Muitos efeitos são positivos. Velocidades baixas significam ciclos menores (portanto fadiga minimizada) dos rolamentos, ventoinhas e outros elementos girantes. A “Partida Suave” de um motor elimina os altos esforços da partida nos enrolamentos estáticos e barras do rotor que são usuais quando parte-se motores diretamente à rede.

Acionamentos de frequência ajustável podem influenciar positivamente a vida útil do motor, quando adequadamente aplicados. Há, contudo, uns poucos fatores importantes que devem ser considerados quando do uso de motores com acionamento. Estes problemas são bem definidos e administráveis e a seguir abordados. A vivência de problemas com a instalação de acionamentos será significativamente reduzida pela consideração adequada desses fatores já na especificação técnica.

#### **Aspectos adicionais na Especificação de Motor com Velocidade Variável**

Aplicações com velocidade variável possuem a maioria dos problemas das aplicações com motor à velocidade constante, tais com, requisitos específicos da carga, integridade da isolamento, vibrações, qualidade dos materiais e da construção. Há cinco aspectos adicionais que devem ser levados atentamente em consideração quando se especifica motores para aplicações com velocidade variável:

##### ***1) Tensão de modo comum***

Quando operando, diretamente conectado à rede, o motor é alimentado pela tensão de entrada trifásica. Com uma fonte de alimentação regular trifásica, a soma de todos os vetores de fase é zero, o neutro é estacionário e é usualmente mantido aterrado. Uma ponte retificadora trifásica é a fonte de alimentação de um motor acionado por Inversor de Frequência. Em operação, somente duas fases conduzem simultaneamente, portanto, a soma vetorial não é zerada. O centro do Link CC movimenta-se e tem valores de tensão positivos e negativos com

relação ao terra (tensão de “Modo Comum”), com magnitudes que variam com o ângulo de disparo da ponte retificadora. A magnitude da tensão de Modo Comum em cada perna da ponte pode ser igual à metade da tensão nominal Fase-Neutro. Assim, a tensão total aplicada nas fases do motor com conversor CA-CA pode ser duas vezes a tensão nominal de fase.

Isto é um problema uma vez que motores não são normalmente projetados para operar com o dobro da tensão nominal. Uma forma de solucionar este fato é especificar motores com isolamento suficiente para suportar o dobro da tensão nominal (normal quando se especifica um motor para operar com variador de frequência).

## 2) *Harmônicas*

Os efeitos das harmônicas geradas pelo acionamento podem afetar a operação, vida útil e desempenho do motor. Estes efeitos podem ser divididos em 3 categorias: aquecimento, dielétrico e mecânico. A figura 1.37 ilustra um exemplo de forma de onda de tensão (PWM) e corrente que pode ser fornecida à um motor por um inversor de frequência.

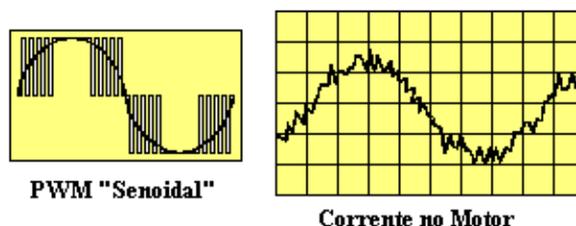


Figura 1.37 – Tensão e corrente no motor

As harmônicas de corrente são aditivos à corrente fundamental e, portanto geram calor adicional nos enrolamentos do motor. Se as harmônicas forem negligenciáveis, haverá calor adicional negligenciável no motor. Mesmo um valor de 30% de distorção de corrente num motor, não gera mais que 8% de calor adicional (devido principalmente aos enrolamentos do motor que se comportam como um filtro).

É necessário que o fornecedor do acionamento supra o fornecedor do motor com informações sobre as harmônicas geradas para permitir que o motor seja devidamente projetado com a adequada capacidade de absorção/dissipação de calor para contra-balancear qualquer perda e/ou aquecimentos adicionais. Um motor operando com velocidade variável através de um inversor de frequência deve atender os mesmos limites de elevação de temperatura que um motor operando com uma senoidal pura.

As harmônicas de corrente podem originar emissão maior de ruído audível. Os motores devem demonstrar que o limite de nível ruído sonoro é atendido quando estes são acionados por inversores estáticos de frequência. Ainda, as harmônicas também contribuem com o “Torque Pulsante”. O torque pulsante causa excitações torcionais que podem ter conseqüências destrutivas se não forem apropriadamente dirigidas.

Em casos extremos, a magnitude da pulsação é suficientemente grande para criar contra-torques. Em aplicações com baixa inércia tais como bombas centrífugas diretamente acopladas, usualmente há pouco perigo. Porém, aplicações em ventiladores ou em compressores de alta velocidade com redutores de alta inércia há alto risco potencial. Esta situação potencialmente perigosa pode ser analisada e evitada com segurança.

Uma análise torcional é normalmente realizada nos elementos mais importantes do trem de acionamento. Com acionamento de velocidade variável, itens adicionais devem ser acrescentados para análise. O Torque Pulsante deve ser incluído, pois as magnitudes deste e a fadiga resultante podem então ser calculadas. Em outros casos, pode ser requerida a modificação

do diâmetro do eixo e fatores de concentração de tensões, para evitarem-se falhas por fadiga nos elementos do trem de acionamento.

### 3) *Frequências de chaveamento e ondas estacionárias*

Além da possibilidade de gerar calor adicional, as formas de ondas dos acionamentos podem ter outros efeitos diretos no sistema de isolamento dos motores. Todos os acionamentos estáticos utilizam-se de dispositivos eletrônicos de chaveamento na sua secção de inversão. A ação do chaveamento (liga-desliga) produz picos e transientes de tensão e corrente que afetam de forma variada a isolamento do motor.

Ocasionalmente pela frequência de chaveamento, picos de tensão ou alto  $dV/dt$ , terão impacto na vida útil dos enrolamentos do motor. A frequência e amplitude desses surtos influenciam na vida do isolamento e provável forma de defeito.

Uma recomendação conservadora e justa seria requerer que o fabricante do acionamento especificasse ao fabricante do motor qualquer outro requisito especial de isolamento (visto que a utilização de filtros encareceria demais o inversor). Quando necessário (geralmente acima de 20m) o usuário deverá prover ao fabricante do inversor/motor os comprimentos estimados dos cabos, pois a partir deste comprimento o aumento da capacitância da linha em relação ao terra ocasiona a amplificação (pelo fenômeno da reflexão) dos picos de tensão, que podem danificar o isolamento do motor. Este efeito pode ser minimizado colocando filtros reativos na saída do conversor ou aumentando o isolamento das bobinas do motor.

### 4) *Faixa de Velocidade*

Apesar da inércia não ser um problema para o motor com partida suave o é para o acionamento. Aplicações centrífugas requerem que o motor e acionamento sejam dimensionados para as condições de máxima velocidade de operação.

Cargas alternativas (ou outras cargas com toque constante, tais como estrusoras, britadores e alguns tipos de sopradores e compressores) devem ser dimensionadas para condições de velocidade mínima operacional.

De qualquer ponto de vista razoável, os dados reais de carga devem ser fornecidos para todos os fornecedores de motores a fim de assegurar-se que o motor será capaz de partir e acelerar a carga e funcionar dentro dos limites especificados de temperatura e sob todas as condições de operação.

Na maioria das aplicações com velocidade variável, a máxima velocidade de operação é ou esta perto da rotação nominal de um motor padrão ligado diretamente à rede.

As operações em baixa velocidade não partilham os mesmos problemas de integridade mecânica das operações em alta velocidade, mas certamente partilham os problemas de mancais, lubrificação e de refrigeração.

A mínima velocidade de operação deve ser especificada na Especificação ou Folha de Dados, tendo em vista que o sistema de refrigeração do motor está ligado intimamente à sua rotação.

Operação à velocidade crítica pode resultar em níveis de vibração altos que podem levar à falha por fadiga dos componentes do trem de acionamento. Para evitar este risco, deve-se especificar uma máquina que não tenha qualquer frequência crítica dentro da faixa de operação pretendida, ou fazer com que o inversor de frequência “pule” esta rotação.

Para a maioria das aplicações com motores de IV pólos e maiores, na faixa de 50% a 100% da velocidade, tal solução é normal. Porém, com motores de II pólos ou faixas mais amplas de variação de velocidade pode haver uma grande oportunidade para surgimento de problemas. Em motores maiores, de mais alta velocidade estas soluções podem ser custosas ou indisponíveis. Utilizar motores que tenham frequências críticas na faixa de operação é possível, se eles tiverem uma resposta em frequência bem amortizada. Alternativamente, o controle pode ser bloqueado para operações em frequências bem definidas, que por sua vez limita a flexibilidade operacional do acionamento.

### 5) Aspectos na partida

Um aspecto positivo na operação de motores com acionamento de frequência variável é a partida suave. As instalações típicas de acionamento são configuradas para limitar a corrente do motor a 100% da nominal, eliminando assim os esforços de partida no isolamento do motor e na rede de alimentação.

A maioria das aplicações são projetadas para manter a relação  $V/f$  constante, mantendo o fluxo eletromagnético no entreferro do motor uniforme, desta maneira, nas baixas frequências a tensão será baixa (figura 1.38).

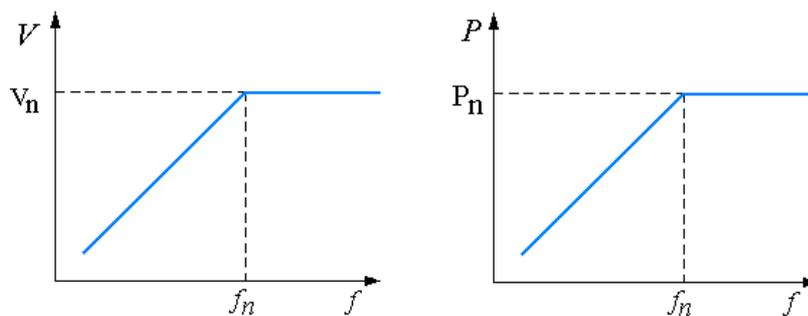


Figura 1.38 – Variação linear de tensão e frequência

Durante as partidas o acionamento controla a tensão e frequência para permitir que o motor trabalhe próximo do escorregamento e fluxo nominais e esteja operando, na porção estável da curva torque x rotação. Assim, para a maioria das aplicações e certamente para as cargas centrífugas, as correntes de partida são muito baixas, a aceleração é suave e controlada, e por causa do baixo escorregamento, o aquecimento do rotor é bastante reduzido.

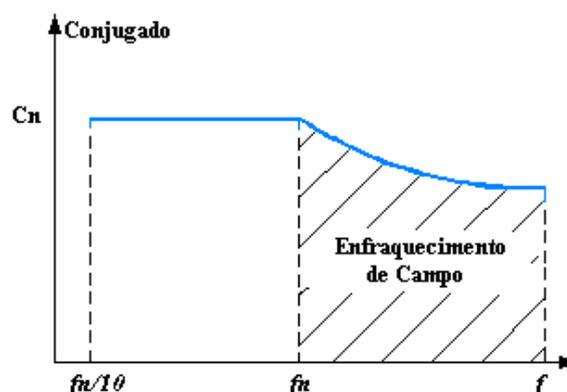


Figura 1.39 – Curva típica de motor aplicado à inversor de frequência

### Considerações Importantes:

- Quanto menor a tensão e a frequência do estator, mais significativa é a queda de tensão neste, de modo que para baixas frequências, mantendo-se a proporcionalidade entre a frequência e a tensão, o fluxo e consequentemente o conjugado da máquina diminui bastante. Para que isto seja evitado, a tensão do estator para baixas frequências deve ser aumentada, através da compensação  $I \times R$ , conforme figura abaixo:

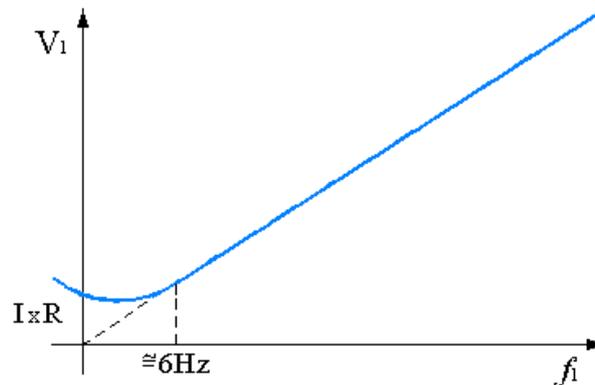


Figura 1.40 – Curva característica V/f com compensação  $I \times R$

Para a faixa compreendida entre 0 à aproximadamente 6 Hz, a relação entre  $V_1$  e  $f$  não é determinada facilmente, pois dependem tanto de  $f_1$  (frequência estatórica) como de  $f_2$  (frequência rotórica). Portanto, a elevação da tensão em baixas frequências depende também da frequência do escorregamento e consequentemente da carga;

- Relações  $V_1/f_1$  acima dos valores nominais estão limitadas em função de que para altos valores de tensão ocorre a saturação e o consequente enfraquecimento do campo. Combinando as equações já apresentadas e com a consideração de pequenos valores de escorregamento e supondo  $f_2$  proporcional a  $f_1$ , pode-se dizer que:
  - Conjugado máximo decresce com o quadrado da velocidade ( $1/n^2$ );
  - Conjugado nominal decresce hiperbolicamente com a velocidade ( $1/n$ ), e decresce aproximadamente com o quadrado do fluxo ( $\phi^2$ );
  - Aproximadamente, a velocidade máxima com potência constante é:

$$n_{m\acute{a}x} < \left( \frac{C_{m\acute{a}x}}{C_n} \right) \times n_N$$

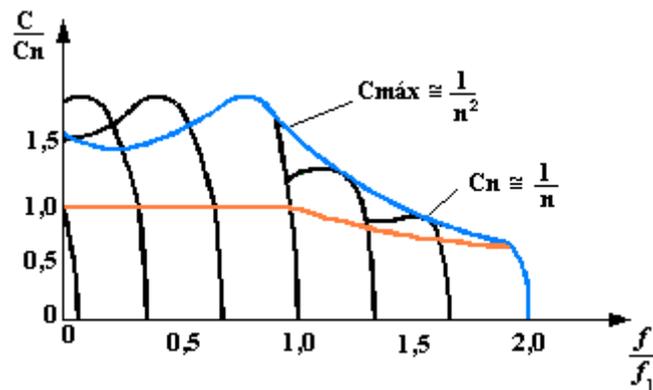


Figura 1.41 – Enfraquecimento de campo para valores de tensão e frequência acima dos nominais

- Em função de que as formas de onda, tanto de tensão como de corrente, produzidas pelos conversores de frequência não são senoidais puras, ou seja, possuem um alto conteúdo de harmônicos de 5ª, 7ª, 11ª e 13ª ordem, as perdas nos motores são maiores. Ainda, em função dos picos de tensão, o isolamento do motor deve ser dimensionado para suportar até o dobro da tensão nominal (linha). Portanto, faz-se necessário uma redução nas características nominais do motor de aproximadamente 15%;

### 1.3.5 SENTIDO DE ROTAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Um motor de indução trifásico trabalhará em qualquer sentido dependendo da conexão com a fonte elétrica. Para inverter o sentido de rotação, inverte-se qualquer par de conexões entre motor e fonte elétrica.

Os motores WEG possuem ventilador bidirecional, proporcionando sua operação em qualquer sentido de rotação, sem prejudicar a refrigeração do motor.

## 1.4 CARACTERÍSTICAS DE ACELERAÇÃO

### 1.4.1 CONJUGADOS

#### 1.4.1.1 CURVA DE CONJUGADO X VELOCIDADE

Conforme foi explicado anteriormente, o motor de indução tem conjugado igual a zero à velocidade síncrona. À medida que a carga vai aumentando, a rotação do motor vai caindo gradativamente, até um ponto em que o conjugado atinge o valor máximo que o motor é capaz de desenvolver em rotação normal. Se o conjugado da carga aumentar mais, a rotação do motor cai bruscamente, podendo chegar a travar o rotor. Representando num gráfico a variação do conjugado com a velocidade para um motor normal, vai-se obter uma curva com aspecto representado na figura 1.42.

$C_0$  – Conjugado básico: é o conjugado calculado em função da potência e velocidade síncrona;

$$C_0 (kgfm) = \frac{716 \times P(cv)}{n_s (rpm)} = \frac{794 \times P(kW)}{n_s (rpm)}$$

$$C_0 (Nm) = \frac{7094 \times P(cv)}{n_s (rpm)} = \frac{9555 \times P(kW)}{n_s (rpm)}$$

$C_n$  – Conjugado nominal ou de plena carga: é o conjugado desenvolvido pelo motor à potência nominal, sob tensão e frequência nominais;

$n_N$  – Rotação nominal;

$n_S$  – Rotação síncrona.

$C_{\min}$  – Conjugado mínimo: é o menor conjugado desenvolvido pelo motor ao acelerar desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo.

Na prática, este valor não deve ser muito baixo, isto é, a curva não deve apresentar uma depressão acentuada na aceleração, para que a partida não seja muito demorada, sobreaquecendo o motor, especialmente nos casos de alta inércia ou partida com tensão reduzida;

$C_{\max}$  – Conjugado máximo: é o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e frequência nominais, sem queda brusca de velocidade.

Na prática, o conjugado máximo deve ser o mais alto possível, por duas razões principais:

- O motor deve ser capaz de vencer, sem grandes dificuldades, eventuais picos de carga como pode acontecer em certas aplicações, como em britadores, calandras, misturadores e outras.

- O motor não deve perder bruscamente a velocidade quando ocorrem quedas de tensão, momentaneamente, excessivas.

$C_p$  – Conjugado com rotor bloqueado ou conjugado de partida ou, ainda, conjugado de arranque: é o conjugado mínimo desenvolvido pelo motor bloqueado, para todas as posições angulares do rotor, sob tensão e frequência nominais;

**Comentários:**

- Esta definição leva em consideração o fato de que o conjugado com o rotor bloqueado pode variar um pouco conforme a posição em que se trava o motor.
- Este conjugado pode ser expresso em Nm ou, mais comumente, em porcentagem do conjugado nominal.

$$C_p (\%) = \frac{C_p (Nm)}{C_n (Nm)} \times 100$$

- Na prática, o conjugado de rotor bloqueado deve ser o mais alto possível, para que o rotor possa vencer a inércia inicial da carga e possa acelerá-la rapidamente, principalmente quando a partida é com tensão reduzida.

Na curva abaixo se destaca e definem-se alguns pontos importantes. Os valores dos conjugados relativos a estes pontos são especificados pela norma NBR 7094 da ABNT, e serão apresentados a seguir:

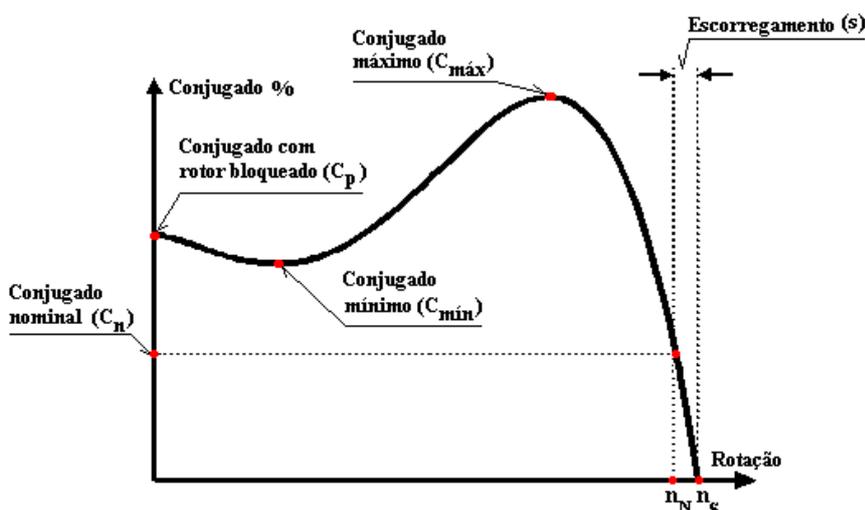


Figura 1.42 – Curva conjugado x rotação

### 1.4.1.2 CATEGORIAS – VALORES MÍNIMOS NORMALIZADOS

Conforme suas características de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida, os motores de indução trifásicos com rotor de gaiola são classificados em categorias,

cada uma adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma (NBR 7094), e são as seguintes:

#### 1.4.1.2.1 CATEGORIA N

Conjugado de partida normal, corrente de partida normal, baixo escorregamento. Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, com baixo conjugado de partida, como: bombas e máquinas operatrizes (conjugado linear e parabólico).

#### 1.4.1.2.2 CATEGORIA H

Conjugado de partida alto, corrente de partida normal, baixo escorregamento. Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores carregados, cargas de alta inércia, etc., (conjugado constante).

#### 1.4.1.2.3 CATEGORIA D

Conjugado de partida alto, corrente de partida normal, alto escorregamento (mais de 5%). Os motores WEG apresentam escorregamentos nas faixas de 5 a 8% e de 8 a 13%. Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos e cargas que necessitam de conjugado de partida muito alto e corrente de partida limitada.

Esta categoria inclui motores previstos para partida direta com quatro ou mais pólos, 0,37 KW (0,5 cv) a 110 KW (150 cv). O conjugado com rotor bloqueado expresso pela razão para o conjugado nominal deve ter o valor mínimo, a tensão nominal, de 2,75.

As curvas conjugado x velocidade das diferentes categorias são mostrados na figura 1.43. A norma NBR-7094 especifica os valores mínimos de conjugados exigidos para motores de categoria N, H e D. Estes valores de norma são mostrados nas tabelas (1.4.1.2.1) e (1.4.1.2.2).

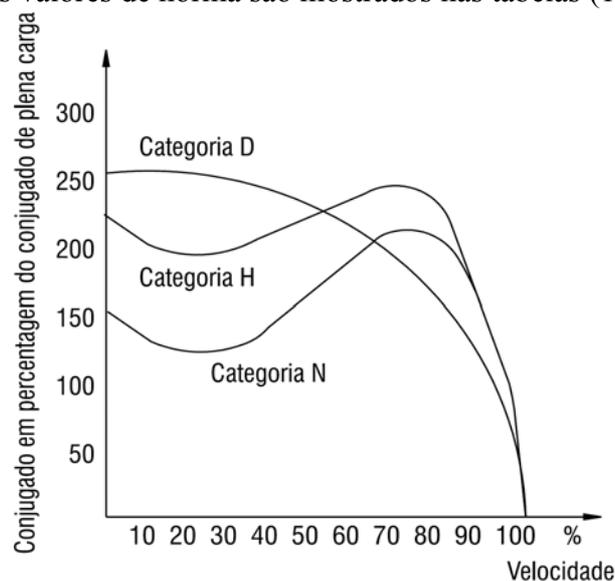


Figura 1.43 – Curvas Conjugados x Velocidade das Diferentes Categorias

Número de Pólos		2			4			6			8		
Faixas de potências nominais		$C_p / C_n$	$C_{min} / C_n$	$C_{max} / C_n$	$C_p / C_n$	$C_{min} / C_n$	$C_{max} / C_n$	$C_p / C_n$	$C_{min} / C_n$	$C_{max} / C_n$	$C_p / C_n$	$C_{min} / C_n$	$C_{max} / C_n$
kW	cv	pu											
> 0,36 ≤ 0,63	> 0,5 ≤ 0,86	1,9	1,3	2,0	2,0	1,4	2,0	1,7	1,2	1,7	1,5	1,1	1,6
> 0,63 ≤ 1,0	> 0,86 ≤ 1,4	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,7	1,2	1,8	1,5	1,1	1,7
> 1,0 ≤ 1,6	> 1,4 ≤ 2,2	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
> 1,6 ≤ 2,5	> 2,2 ≤ 3,4	1,7	1,1	2,0	1,8	1,2	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
> 2,5 ≤ 4	> 3,4 ≤ 5,4	1,6	1,1	2,0	1,7	1,2	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
> 4 ≤ 6,3	> 5,4 ≤ 8,6	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
> 6,3 ≤ 10	> 8,6 ≤ 14	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,8	1,3	1,0	1,7
> 10 ≤ 16	> 14 ≤ 22	1,4	1,0	2,0	1,5	1,1	2,0	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
> 16 ≤ 25	> 22 ≤ 34	1,3	0,9	1,9	1,4	1,0	1,9	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
> 25 ≤ 40	> 34 ≤ 54	1,2	0,9	1,9	1,3	1,0	1,9	1,3	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
> 40 ≤ 63	> 54 ≤ 86	1,1	0,8	1,8	1,2	0,9	1,8	1,2	0,9	1,7	1,1	0,8	1,7
> 63 ≤ 100	> 86 ≤ 136	1,0	0,7	1,8	1,1	0,8	1,8	1,1	0,8	1,7	1,0	0,7	1,6
> 100 ≤ 160	> 136 ≤ 217	0,9	0,7	1,7	1,0	0,8	1,7	1,0	0,8	1,7	0,9	0,7	1,6
> 160 ≤ 250	> 217 ≤ 340	0,8	0,6	1,7	0,9	0,7	1,7	0,9	0,7	1,6	0,9	0,7	1,6
> 250 ≤ 400	> 340 ≤ 543	0,75	0,6	1,6	0,75	1,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6
> 400 ≤ 630	> 543 ≤ 856	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6

Tabela 1.4.1.2.1 – Conjugado com rotor bloqueado ( $C_p$ ), Conjugado mínimo de partida ( $C_{min}$ ) e Conjugado máximo ( $C_{max}$ ) de motores de categoria N.

Número de Pólos		4			6			8		
Faixas de potências nominais		$C_p / C_n$	$C_{min} / C_n$	$C_{max} / C_n$	$C_p / C_n$	$C_{min} / C_n$	$C_{max} / C_n$	$C_p / C_n$	$C_{min} / C_n$	$C_{max} / C_n$
kW	cv	pu								
> 0,4 ≤ 0,63	> 0,54 ≤ 0,63	3,0	2,1	2,1	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
> 0,63 ≤ 1,0	> 0,86 ≤ 1,4	2,85	1,95	2,0	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9
> 1,0 ≤ 1,6	> 1,4 ≤ 2,2	2,85	1,95	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
> 1,6 ≤ 2,5	> 2,2 ≤ 3,4	2,7	1,8	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9
> 2,5 ≤ 4	> 3,4 ≤ 5,4	2,55	1,8	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
> 4 ≤ 6,3	> 5,4 ≤ 8,6	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
> 6,3 ≤ 10	> 8,6 ≤ 14	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9
> 10 ≤ 16	> 14 ≤ 22	2,25	1,65	2,0	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
> 16 ≤ 25	> 22 ≤ 34	2,1	1,5	1,9	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
> 25 ≤ 40	> 34 ≤ 54	2,0	1,5	1,9	2,0	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9
> 40 ≤ 63	> 54 ≤ 86	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9
> 63 ≤ 100	> 86 ≤ 140	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9
> 100 ≤ 160	> 140 ≤ 220	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9

Tabela 1.4.1.2.2 – Conjugado com rotor bloqueado ( $C_p$ ), Conjugado mínimo de partida ( $C_{min}$ ) e Conjugado máximo ( $C_{max}$ ) de motores de categoria H.

Os motores trifásicos de indução com rotor de anéis não se enquadram dentro destas categorias. Deverão ser atendidos os conjugados máximos especificados na norma da ABNT-EB 620.

#### 1.4.1.2.4 CATEGORIA NY

Esta categoria inclui os motores semelhantes aos de categoria N, porém, previstos para partida estrela-triângulo. Para estes motores na ligação estrela, os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% dos valores indicados para os motores categoria N.

#### 1.4.1.2.5 CATEGORIA HY

Esta categoria inclui os motores semelhantes aos de categoria H, porém, previstos para partida estrela-triângulo. Para estes motores na ligação estrela, os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% dos valores indicados para os motores de categoria H.

#### 1.4.1.3 CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES WEG

Embora os motores WEG sejam, na sua maioria, declarados como pertencendo à categoria N, a exemplo da maioria dos motores encontrados no mercado, os valores reais típicos dos conjugados excedem em muito os exigidos em norma. Na maioria dos casos excedem até mesmo os mínimos exigidos para a categoria H. Isto significa uma curva conjugado x velocidade bastante alta, trazendo as seguintes vantagens:

- Rápida aceleração em caso de partida pesada, como bombas de pistão, esteiras carregadas, cargas de alta inércia, compressores com válvulas abertas, etc.
- Atendimentos de casos especiais, como os mencionados acima, com motores padrão de estoque, com vantagens de preço, prazo e entrega.
- Permitem o uso de sistemas de partida com tensão reduzida, como chaves estrela-triângulo, em casos normais, sem prejuízo da perfeita aceleração da carga.
- Devido ao elevado valor do conjugado máximo, enfrentam, sem perda brusca de rotação, os picos momentâneos de carga e as quedas de tensão passageiras. Isto é fundamental para o acionamento de máquinas sujeitas a grandes picos de carga, como britadores, calandras, etc.

#### 1.4.2 INÉRCIA DA CARGA

O momento de inércia da carga acionada é uma das características fundamentais para verificar, através do tempo de aceleração, se o motor consegue acionar a carga dentro das condições exigidas pelo ambiente ou pela estabilidade térmica do material isolante.

Momento de inércia é uma medida da resistência que um corpo oferece a uma mudança em seu movimento de rotação em torno de um dado eixo. Depende do eixo em torno do qual ele está girando e, também, da forma do corpo e da maneira como sua massa está distribuída. A unidade do momento de inércia é  $\text{kgm}^2$ .

O momento de inércia total do sistema é a soma dos momentos de inércia da carga e do motor ( $J_t = J_m + J_c$ ).

No caso de uma máquina que tem “rotação diferente do motor” (por exemplo, nos casos de acionamento por polias ou engrenagens), deverá ser referida a rotação nominal do motor conforme a figura 1.44:

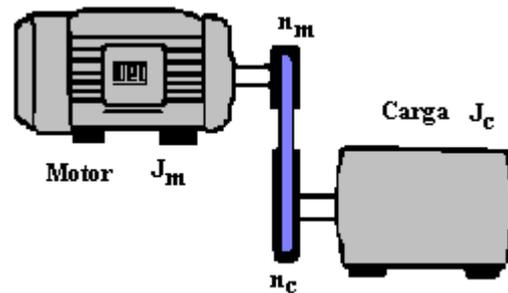


Figura 1.44 – Momento de inércia em rotações diferentes

$$J_{ce} = J_c \left( \frac{n_c}{n_N} \right)^2$$

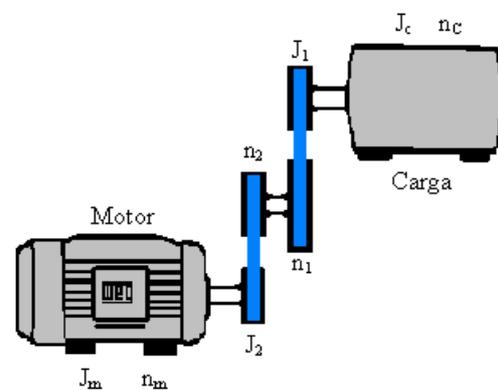


Figura 1.45 – Momento de inércia em velocidades diferentes

$$J_{ce} = J_c \left( \frac{n_c}{n_N} \right)^2 + J_1 \left( \frac{n_1}{n_N} \right)^2 + J_2 \left( \frac{n_2}{n_N} \right)^2$$

Onde:  $J_{ce}$  – Momento de inércia da carga referido ao eixo do motor;  
 $J_c$  – Momento de inércia da carga;  
 $n_c$  – Rotação da carga;  
 $n_N$  – Rotação nominal do motor.

$$J_t = J_m + J_{ce}$$

A inércia total de uma carga é um importante fator para a determinação do tempo de aceleração.

### 1.4.3 TEMPO DE ACELERAÇÃO

Para verificar se o motor consegue acionar a carga, ou para dimensionar uma instalação, equipamento de partida ou sistema de proteção, é necessário saber o tempo de aceleração (desde o instante em que o equipamento é acionado até ser atingida a rotação nominal).

O tempo de aceleração pode ser determinado de maneira aproximada pelo conjugado médio de aceleração.

$$t_a = 2\pi.n_N \cdot \left( \frac{J_t}{C_a} \right) = 2\pi.n_N \cdot \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right)$$

- Onde:
- $t_a$  – tempo de aceleração em segundos;
  - $J_t$  – momento de inércia total em  $\text{kgm}^2$ ;
  - $n_N$  – rotação nominal em rotações por segundo;
  - $C_{mméd}$  – conjugado médio de aceleração do motor em Nm;
  - $C_{rméd}$  – conjugado médio de aceleração de carga referido ao eixo em Nm;
  - $J_m$  – momento de inércia do motor;
  - $J_{ce}$  – momento de inércia da carga referido ao eixo;
  - $C_a$  – conjugado médio de aceleração.

O conjugado médio de aceleração obtém-se a partir da diferença entre o conjugado do motor e o conjugado da carga. Seu valor deveria ser calculado para cada intervalo de rotação (a somatória dos intervalos forneceria o tempo total de aceleração). Porém, na prática, é suficiente que se calcule graficamente o conjugado médio, isto é, diferença entre a média pode ser obtida, graficamente, bastando que se observe que a soma das áreas  $A_1$  e  $A_2$  seja igual à área  $A_3$  e que a área  $B_1$  seja igual à área  $B_2$ .

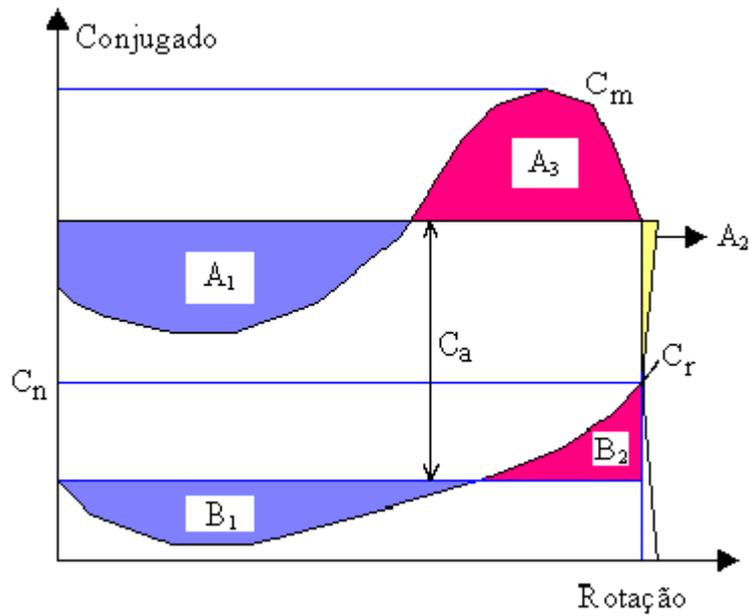


Figura 1.46 – Determinação gráfica do conjugado médio de aceleração

Onde:

- $C_n$  – conjugado nominal;
- $C_m$  – conjugado do motor;
- $C_r$  – conjugado da carga;
- $C_a$  – conjugado médio de aceleração;
- $n_N$  – rotação nominal.

#### 1.4.4 REGIME DE PARTIDA

Devido ao valor elevado da corrente de partida dos motores de indução, o tempo gasto na aceleração de cargas de inércia apreciável resulta na elevação rápida da temperatura do motor. Se o intervalo entre partidas sucessivas for muito reduzido, isto levará a uma aceleração de temperatura excessiva nos enrolamentos, danificando-os ou reduzindo a sua vida útil. A norma NBR 7094 estabelece um regime de partida mínimo que os motores devem ser capazes de realizar:

- Duas partidas sucessivas, sendo a primeira feita com o motor frio, isto é, com seus enrolamentos à temperatura ambiente e a segunda logo a seguir, porém, após o motor ter desacelerado até o repouso.
- Uma partida com o motor quente, ou seja, com os enrolamentos à temperatura de regime.

A primeira condição simula o caso em que a primeira partida do motor não foi bem sucedida, por exemplo, pelo desligamento da proteção, permitindo-se uma segunda tentativa logo a seguir. A segunda condição simula o caso de um desligamento acidental do motor em funcionamento normal, por exemplo, por falta de energia na rede, permitindo-se retornar o funcionamento logo após o restabelecimento da energia. Como o aquecimento durante a partida depende da inércia das partes girantes da carga acionada, a norma estabelece os valores máximos de inércia da carga para os quais o motor deve ser capaz de cumprir as condições acima, os valores fixados para motores de II, IV, VI e VIII pólos estão indicados na tabela 1.4.4.1.

Potência Nominal		Número de pólos			
		II	IV	VI	VIII
kW	cv	kgm <sup>2</sup>			
0,4	0,54	0,0018	0,099	0,273	0,561
0,63	0,86	0,026	0,149	0,411	0,845
1,0	1,4	0,040	0,226	0,624	1,28
1,6	2,2	0,061	0,645	0,952	1,95
2,5	3,4	0,091	0,516	1,42	2,92
4,0	5,4	0,139	0,788	2,17	4,46
6,3	8,6	0,210	1,19	3,27	6,71
10	14	0,318	1,80	4,94	10,2
18	22	0,485	2,74	7,56	15,5
25	34	0,725	4,10	11,3	23,2
40	54	1,11	6,26	17,2	35,4
63	86	1,67	9,42	26,0	53,3
100	140	2,52	14,3	39,3	80,8
160	220	3,85	21,8	60,1	123
250	340	5,76	32,6	89,7	184
400	540	8,79	49,7	137	281
630	860	13,2	74,8	206	423

Tabela 1.4.4.1 – Momento de inércia (J) – NBR7094

#### Notas:

- Os valores são dados em função de massa-raio ao quadrado. Eles foram calculados a partir da fórmula:

$$J = 0,04 \times P^{0,9} \times p^{2,5}$$

Onde: P – potência nominal em kW;  
p – número de pares de pólos.

- Para valores intermediários de potência nominal, o momento de inércia externo, deve ser calculado pela fórmula da nota acima.

Para cargas com inércias maiores que o valor de referência da tabela 1.4.4.1, o que pode ocorrer, principalmente nas potências maiores ou para determinação do número de partidas permitidas por hora, deverá ser consultada a nossa engenharia de aplicação, indicando os seguintes dados da aplicação:

- Potência requerida pela carga. Se o regime for intermitente, ver o último item: “regime de funcionamento”;
- Rotação da máquina acionada;
- Transmissão: direta, correia plana, correias “V”, corrente, etc.;
- Relação de transmissão com croquis das dimensões e distâncias das polias se for transmissão por correia.
- Cargas radiais anormais aplicadas à ponta do eixo: tração da correia em transmissões especiais, peças pesadas, presas ao eixo, etc.
- Cargas axiais aplicadas à ponta do eixo: transmissões por engrenagem heliocoidal, empuxos hidráulicos de bombas, peças rotativas pesadas em montagem vertical, etc.
- Forma construtiva se não for B3D, indicar o código da forma construtiva utilizada;
- Conjugados de partida e máximos necessários:
  - Descrição do equipamento acionado e condições de utilização;
  - Momento de inércia ou  $GD^2$  das partes móveis do equipamento, e a rotação a que está referida.
- Regime de funcionamento, não se tratando de regime contínuo, descrever detalhadamente o período típico de regime, não se esquecendo de especificar:
  - Potência requerida e duração de cada período com carga;
  - Duração dos períodos sem carga (motor em vazio ou motor desligado);
  - Reversões do sentido de rotação;
  - Frenagem em contracorrente.

### 1.4.5 CORRENTE DE ROTOR BLOQUEADO

#### 1.4.5.1 VALORES MÁXIMOS NORMALIZADOS

Os limites máximos da corrente com rotor bloqueado, em função da potência nominal do motor é válido para qualquer número de pólos, estão indicados na tabela 1.4.5.1.1, expressos em termos da potência aparente absorvida com rotor bloqueado em relação à potência nominal, kva/cv ou kva/kW.

$$\frac{kva}{cv} = \frac{\text{potência aparente com rotor bloqueado}}{\text{potência nominal}}$$

$$\frac{kva}{cv} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot U}{P(cv) \times 1000}; \quad \frac{kva}{kW} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot U}{P(kW) \times 1000}$$

Sendo:  $I_p$  – Corrente de rotor bloqueado, ou corrente de partida;  
 $U$  – Tensão nominal (V);  
 $P$  – Potência nominal (cv ou kW).

Faixa de potências nominais		$S_p / S_n$	
kW	cv	kva/kW	kva/cv
>0,37 ≤ 6,3	>0,5 ≤ 8,6	13	9,6
>6,3 ≤ 25	>8,6 ≤ 34	12	8,8
>25 ≤ 63	>34 ≤ 86	11	8,1
>63 ≤ 630	>86 ≤ 856	10	7,4

Tabela 1.4.5.1.1 – Potência aparente com rotor bloqueado ( $S_p/S_n$ ) para motores trifásicos – NBR 7094

#### 1.4.5.2 INDICAÇÃO DA CORRENTE

A indicação do valor da corrente de rotor bloqueado na placa de identificação do motor é prescrita na norma NBR 7094, a qual indica diretamente o valor de  $I_p/I_n$  que é a relação entre a corrente de rotor bloqueado e a corrente nominal.

## **1.5 REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DE MOTORES ASSÍNCRONOS DE INDUÇÃO**

### **1.5.1 INTRODUÇÃO**

A relação entre velocidade, frequência, número de pólos e escorregamento é expressa por:

$$n = \frac{2}{2p} \times f \times 60 \times (1 - s)$$

Onde:        n – rotação (rpm);  
              f – frequência (hertz);  
              2p – número de pólos;  
              s – escorregamento.

Analisando a fórmula, pode-se perceber que para regular a velocidade de um motor assíncrono, pode-se atuar nos seguintes parâmetros:

- 2p – número de pólos;
- s – escorregamento;
- f – frequência da tensão (Hz).

### **1.5.2 VARIAÇÃO DE NÚMEROS DE PÓLOS**

Existem três modos de variar o número de pólos de um motor assíncrono, que são:

- Enrolamentos separados no estator;
- Um enrolamento com comutação de pólos;
- Combinação dos dois anteriores.

Em todos esses casos, a regulação de velocidade será discreta, sem perdas, porém, a carcaça será maior do que a de um motor de velocidade única.

#### **1.5.2.1 MOTORES DE DUAS VELOCIDADES EM ENROLAMENTOS SEPARADOS**

Esta versão apresenta a vantagem de se combinar enrolamentos com qualquer número de pólos, porém, limitada pelo dimensionamento eletromagnético do núcleo (estator/rotor) e carcaça geralmente bem maior que o de velocidade única.

### 1.5.2.2 MOTORES DE DUAS VELOCIDADES COM ENROLAMENTOS POR COMUTAÇÃO DE PÓLOS

O sistema mais comum que se apresenta é o denominado “Ligação Dahlander”. Esta ligação implica numa relação de pólos de 1:2 com conseqüente relação de rotação de 1:2.

Podem ser ligadas da seguinte forma:

- **Conjugado constante:**

O conjugado nas duas rotações é constante e a relação de potência é da ordem de 0,63:1. Neste caso o motor tem uma ligação de  $\Delta/YY$ .

**Exemplo:** Motor 0,63/1 cv – IV/II pólos -  $\Delta/YY$ .

Este caso se presta as aplicações cuja curva de torque da carga permanece constante com a rotação.

- **Potência constante:**

Neste caso, a relação de conjugado é 1:2 e a potência permanece constante. O motor possui uma ligação  $YY/\Delta$ .

**Exemplo:** 10/10 cv – IV/II pólos –  $YY/\Delta$ .

- **Conjugado variável**

Neste caso, a relação de potência será de aproximadamente 1:4. É muito aplicado às cargas como bombas, ventiladores.

Sua ligação é  $Y/YY$ .

**Exemplo:** 1/4 cv – IV-II pólos –  $Y/YY$ .

### 1.5.2.3 MOTORES COM MAIS DE DUAS VELOCIDADES

É possível combinar um enrolamento Dahlander com um enrolamento simples ou mais. Entretanto, não é comum, e somente utilizado em aplicações especiais.

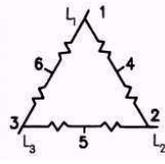
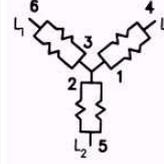
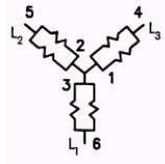
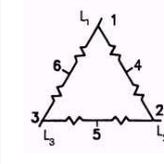
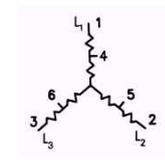
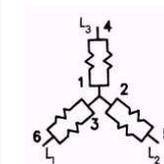
ROTAÇÃO		
TIPO	BAIXA	ALTA
Conjugado Constante		
Potência Constante		
Conjugado Variável		

Figura 1.47 – Resumo das ligações Dahlander

### 1.5.3 VARIAÇÃO DO ESCORREGAMENTO

Neste caso, a velocidade do campo girante é mantida constante, e a velocidade do rotor é alterada de acordo com as condições exigidas pela carga, que podem ser:

- Variação da resistência rotórica;
- Variação da tensão do estator;
- Variação de ambas, simultaneamente.

Estas variações são conseguidas através do aumento das perdas rotóricas, o que limita a utilização desse sistema.

#### 1.5.3.1 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ROTÓRICA

Utilizado em motores de anéis. Baseia-se na seguinte equação:

$$s = \frac{3 \times R_2 \times I_2^2}{\omega_0 \times T} = \frac{P_{j2}}{\omega_0 \times T}$$

Onde:

- $p_{j2}$  – perdas rotóricas (W);
- $\omega_0$  – rotação síncrona em rad/s;
- T – torque ou conjugado do rotor;
- $R_2$  – resistência rotórica (ohms);
- $I_2$  – corrente rotórica (A).

A inserção de uma resistência externa no rotor faz com que o motor aumente o escorregamento ( $s$ ), provocando a variação de velocidade. Na figura a seguir, vê-se o efeito do aumento do  $R_2$ .

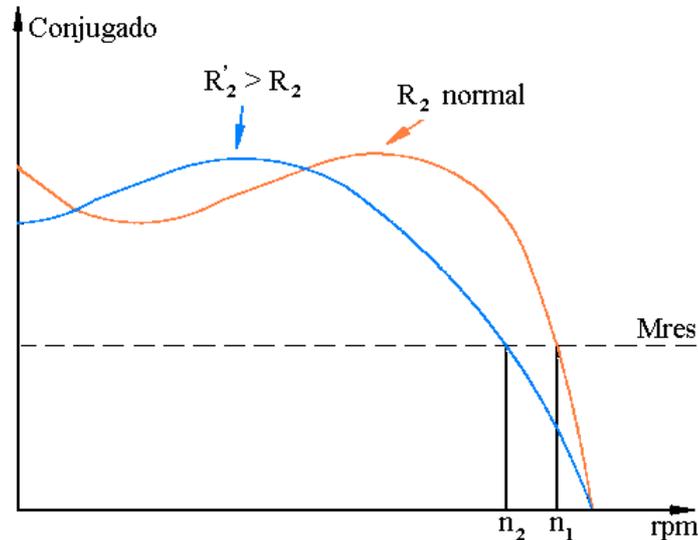


Figura 1.48 – Curva de conjugado com variação da resistência rotórica

### 1.5.3.2 VARIAÇÃO DA TENSÃO DO ESTATOR

É um sistema pouco utilizado, uma vez que também gera perdas rotóricas e a faixa de variação de velocidade é pequena.

### 1.5.4 VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA

Ao se variar a frequência da tensão do estator, está se variando a velocidade do campo girante. Com isso pode-se variar a velocidade do rotor, mantendo-se constante o escorregamento da máquina e, portanto, as perdas podem ser otimizadas de acordo com as condições da carga.

Ao se variar a frequência de alimentação do motor CA, varia-se sua velocidade síncrona, o que significa que todas as velocidades síncronas variam desde  $f \cong 0$  até a máxima frequência do conversor. O comportamento do motor, que corresponde a sua curva conjugado x velocidade, permanece da mesma forma, entretanto deslocada na rotação conforme a frequência, como mostra a figura 1.49.

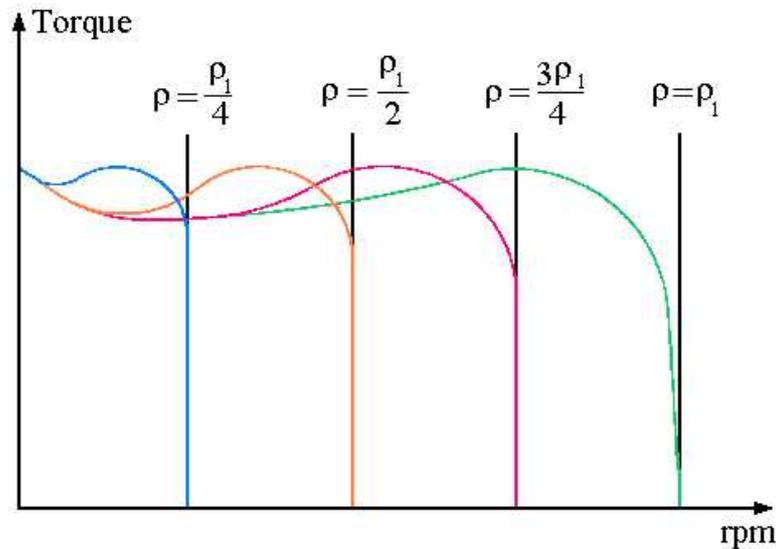


Figura 1.49 – Exemplo de curva de conjugado com tensão proporcional a frequência

Teoricamente, existem duas faixas de atuação: uma com fluxo constante, até a frequência nominal, e outra com enfraquecimento de campo, correspondente àquela acima da frequência nominal, ou seja:

$$f \cong 0\text{Hz até } f_n \rightarrow \frac{U}{f} = \text{constante} = \text{fluxo constante};$$

$$f > f_n \rightarrow U = \text{constante} = \text{enfraquecimento de campo}.$$

Entretanto, na realidade, para que essas duas faixas se tornem possíveis de serem realizadas, há necessidade das seguintes considerações:

- Se um motor auto-ventilado trabalha com velocidade menor do que a nominal, terá sua capacidade de refrigeração diminuída.
- A tensão de saída dos conversores apresenta uma forma não perfeitamente senoidal, o que implica em harmônicas de ordem superior, que provocam um aumento de perdas no motor.

Devido a isto, é necessário reduzir conjugado e a potência, admissíveis no motor. Aconselha-se normalmente seguir a seguinte curva:

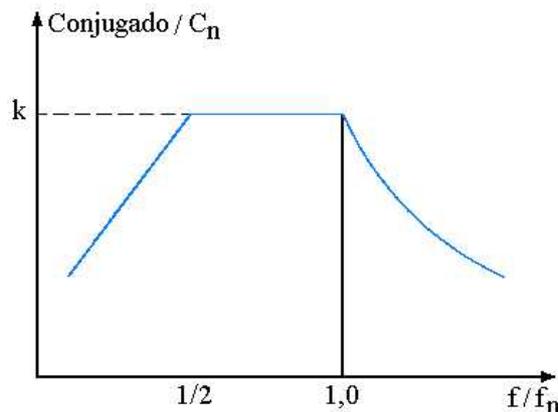


Figura 1.50 – curva de torque x frequência para uso de motor com conversor de frequência

Onde  $k$  está de 0,7 à 1,0 e depende do conteúdo de harmônicas do conversor. Valores típicos são 0,8 à 0,9.

#### 1.5.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DE MOTORES COM CONTROLE DE VELOCIDADE ATRAVÉS DE CONVERSORES DE FREQUÊNCIA

- a) Operação em rotações abaixo da rotação obtida com a frequência nominal  $f_n$ . Geralmente até 50% da  $f_n$  utiliza-se o fator  $k$  (figura 1.48) de redutor de potência ou se quiser, pode-se utilizar o fator de serviço e/ou o aumento da classe de isolamento para manter o torque constante. Abaixo de 50% da frequência nominal, para manter-se o torque constante, geralmente deve-se aumentar a relação  $U/f$  do conversor.
- b) Operação em rotações acima da rotação obtida com a frequência nominal  $f_n$ . Neste caso, como o motor funcionará com enfraquecimento de campo, a máxima velocidade estará limitada pelo torque máximo do motor e pela máxima velocidade periférica das partes girantes do motor (ventilador, rotor mancais).
- c) Rendimento: como a tensão de alimentação não é senoidal, haverá harmônicas que provocarão maiores perdas e conseqüente redução do rendimento.
- d) Ruído: variará sensivelmente em função da frequência e do conteúdo de harmônicas do conversor.
- e) Operação em áreas explosivas: **ATENÇÃO: motores operando com conversores de frequência em áreas com atmosferas explosivas necessitam ser dimensionados de comum acordo entre fabricante e cliente e, a especificação exata do seu funcionamento deverá estar descrita na placa de identificação do motor.**

## 1.6 CARACTERÍSTICA EM REGIME

### 1.6.1 ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA, CLASSE DE ISOLAMENTO

#### 1.6.1.1 AQUECIMENTO DO ENROLAMENTO

- **Perdas:**

A potência útil fornecida pelo motor na ponta do eixo é menor que a potência que o motor absorve da linha de alimentação, isto é, o rendimento do motor é sempre inferior a 100%. A diferença entre as duas potências representa as perdas, que são transformadas em calor, o qual aquece o enrolamento e deve ser dissipado para fora do motor, para evitar que a elevação de temperatura seja excessiva. O mesmo acontece em todos os tipos de motores. No motor de automóvel, por exemplo, o calor gerado pelas perdas internas tem que ser retirado do bloco pelo sistema de circulação de água com radiador ou pela ventoinha, em motores resfriados a ar.

- **Dissipação de calor:**

O calor gerado pelas perdas no interior do motor é dissipado para o ar ambiente através da superfície externa da carcaça. Em motores fechados essa dissipação é normalmente auxiliada pelo ventilador montado no próprio eixo do motor. Uma boa dissipação depende:

- Da eficiência do sistema de ventilação;
  - Da área total de dissipação da carcaça;
  - Da diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e do ar ambiente ( $t_{\text{ext}} - t_a$ ).
- a) O sistema de ventilação bem projetado, além de ter um ventilador eficiente, capaz de movimentar grande volume de ar; deve dirigir esse ar de modo a “varrer” toda a superfície da carcaça, onde se dá a troca de calor. De nada adianta um grande volume de ar se ele se espalha sem retirar o calor do motor.
  - b) A área total de dissipação deve ser a maior possível. Entretanto, um motor com uma carcaça muito grande, (para obter maior área) seria muito caro e pesado, além de ocupar muito espaço. Por isso, a área de dissipação disponível é limitada pela necessidade de fabricar motores pequenos e leves. Isso é compensado em parte, aumentando-se a área disponível por meio de aletas de resfriamento, fundidas com a carcaça.
  - c) Um sistema de resfriamento eficiente é aquele que consegue dissipar a maior quantidade de calor disponível, através da menor área de dissipação. Para isso, é necessário que a queda interna de temperatura, mostrada na figura 1.51, vale a soma da queda interna com a queda externa.

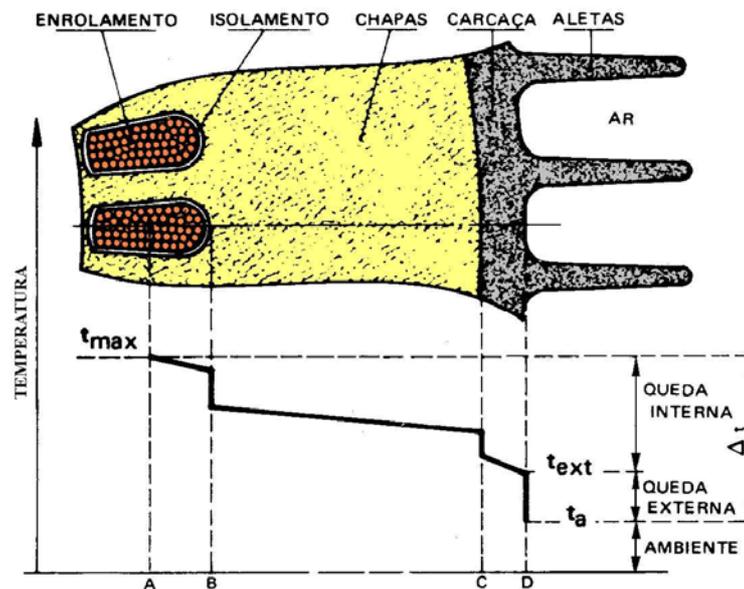


Figura 1.51

Como visto anteriormente, interessa reduzir a queda interna (melhorar a transferência de calor) para poder ter uma queda externa a maior possível, pois esta é que realmente ajuda a dissipar o calor. A queda interna de temperatura depende de diversos fatores como indica a figura 1.51, onde as temperaturas de certos pontos importantes do motor estão representadas e explicadas a seguir:

- A – Ponto mais quente do enrolamento, no interior da ranhura, onde é gerado o calor proveniente das perdas nos condutores.
- AB – Queda de temperatura na transferência de calor do ponto mais quente até os fios externos. Como o ar é um péssimo condutor de calor, é importante que não haja “vazios” no interior da ranhura, isto é, as bobinas devem ser compactas e a impregnação com verniz deve ser perfeita.
- B – Queda através do isolamento da ranhura e no contato deste com os condutores de um lado, e com as chapas do núcleo, do outro. O emprego de materiais modernos melhora a transmissão de calor através do isolante; a impregnação perfeita melhora o contato do lado interno, eliminando espaços vazios; o bom alinhamento das chapas estampadas melhora o contato do lado externo, eliminando camadas de ar que prejudicam a transferência de calor.
- BC – Queda de temperatura por transmissão através do material das chapas do núcleo.
- C – Queda no contato entre o núcleo e a carcaça. A condução de calor será tanto melhor quanto mais perfeito for o contato entre as partes, dependendo do bom alinhamento das chapas, e precisão da usinagem da carcaça. Superfícies irregulares deixam espaços vazios entre elas, resultando mau contato e, portanto, má condução do calor e elevada queda de temperatura neste ponto.
- CD – Queda de temperatura por transmissão através da espessura da carcaça.

Graças a um projeto moderno, uso de materiais avançados, processos de fabricação aprimorados, sob um permanente Controle de Qualidade, os motores WEG apresentam uma excelente transferência de calor do interior para a superfície, eliminando “pontos quentes” no enrolamento.

- Temperatura externa do motor:

Era comum, antigamente, verificar o aquecimento do motor, medindo, com a mão, a temperatura externa da carcaça. Em motores modernos, este método primitivo é completamente errado. Como se viu anteriormente, os critérios modernos de projeto procuram aprimorar a transmissão de calor internamente, de modo que a temperatura do enrolamento fique pouco acima da temperatura externa da carcaça, onde ela realmente contribui para dissipar as perdas. Em resumo, a temperatura da carcaça não dá indicação do aquecimento interno do motor, nem de sua qualidade. Um motor frio por fora pode ter perdas maiores e temperatura mais alta no enrolamento do que um motor exteriormente quente.

### ***1.6.1.2 VIDA ÚTIL DO MOTOR***

Sendo o motor de indução, uma máquina robusta e de construção simples, a sua vida útil depende quase exclusivamente da vida útil da isolação dos enrolamentos. Esta é afetada por muitos fatores, como umidade, vibrações, ambientes corrosivos e outros. Dentre todos os fatores, o mais importante é, sem dúvida a temperatura de trabalho dos materiais isolantes empregados. Um aumento de 8 a 10 graus na temperatura da isolação reduz sua vida útil pela metade.

Quando se fala em diminuição da vida útil do motor, não se refere às temperaturas elevadas, quando o isolante se queima e o enrolamento é destruído de repente. Vida útil da isolação (em termos de temperatura de trabalho, bem abaixo daquela em que o material se queima), refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado, perdendo o poder isolante, até que não suporte mais a tensão aplicada e produza o curto-circuito.

A experiência mostra que a isolação tem uma duração praticamente ilimitada, se a sua temperatura for mantida abaixo de um certo limite. Acima deste valor, a vida útil da isolação vai se tornado cada vez mais curta, à medida que a temperatura de trabalho é mais alta. Este limite de temperatura é muito mais baixo que a temperatura de “queima” do isolante e depende do tipo de material empregado.

Esta limitação de temperatura refere-se ao ponto mais quente da isolação e não necessariamente ao enrolamento todo. Evidentemente, basta um ponto fraco no interior da bobina para que o enrolamento fique inutilizado.

### ***1.6.1.3 CLASSES DE ISOLAMENTO***

Como visto acima, o limite de temperatura depende do tipo de material empregado. Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento (cada um formado pela combinação de vários materiais) são agrupados em CLASSES DE ISOLAMENTO, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil.

As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura conforme NBR 7094 são as seguintes:

- Classe A (105°C);
- Classe E (120°C);
- Classe B (130°C);
- Classe F (155°C);
- Classe H (180°C).

As classes B e F são as comumente utilizadas em motores normais.

#### **1.6.1.4 MEDIDA DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA DO ENROLAMENTO**

É muito difícil medir a temperatura do enrolamento com termômetros ou termopares, pois a temperatura varia de um ponto a outro e nunca se sabe se o ponto da medição está próximo do ponto mais quente. O método mais preciso e mais confiável de se medir a temperatura de um enrolamento é através da variação de sua resistência ôhmica com a temperatura, que aproveita a propriedade dos condutores de variar sua resistência, segundo uma lei conhecida. A elevação da temperatura pelo método da resistência é calculada por meio da seguinte fórmula, para condutores de cobre:

$$\Delta t = t_2 - t_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (234,5 + t_1) + t_1 - t_a$$

Onde:

- $\Delta t$  – é a elevação de temperatura;
- $t_1$  – temperatura do enrolamento antes do ensaio, praticamente igual a do meio refrigerante, medida por termômetro;
- $t_2$  – temperatura dos enrolamentos no fim do ensaio;
- $t_a$  – temperatura do meio refrigerante no fim do ensaio;
- $R_1$  – resistência do enrolamento antes do ensaio;
- $R_2$  – resistência do enrolamento no fim do ensaio.

#### **1.6.1.5 APLICAÇÃO A MOTORES ELÉTRICOS**

A temperatura do ponto mais quente do enrolamento deve ser mantida abaixo do limite da classe. A temperatura total vale a soma da temperatura ambiente com a elevação de temperatura  $\Delta t$  mais a diferença que existe entre a temperatura média do enrolamento e a do ponto mais quente. As normas de motores fixam a máxima elevação de temperatura  $\Delta t$ , de modo que a temperatura do ponto mais quente fica limitada, baseada nas seguintes considerações:

- A temperatura ambiente é, no máximo 40°C, por norma, e a cima disso as condições de trabalho são consideradas especiais;

- A diferença entre a temperatura média e a do ponto mais quente, não varia muito de motor para motor e seu valor estabelecido em norma, baseado na prática é 5°C, para as classes A e E, 10°C para a classe B e 15°C para as classes F e H.

As normas de motores, portanto, estabelecem um máximo para a temperatura ambiente e especificam uma elevação de temperatura máxima para cada classe de isolamento. Deste modo, fica indiretamente limitada a temperatura do ponto mais quente do motor. Os valores numéricos e a composição da temperatura admissível do ponto mais quente são indicados na tabela 1.6.1.5.1.

Classe de Isolamento		A	E	B	F	H
Temperatura Ambiente	°C	40	40	40	40	40
$\Delta t$ – elevação de temperatura (método da resistência)	K	60	75	80	105	125
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média	°C	5	5	10	10	15
<b>Total: temperatura do ponto mais quente</b>	°C	105	120	130	155	180

Tabela 1.6.1.5.1 – Composição da temperatura em função da classe de isolamento

Para motores de construção naval, deverão ser obedecidos todos os detalhes particulares de cada entidade classificadora.

Entidades classificadoras para uso naval	Máxima temperatura ambiente °C $t_a$	Máxima sobre elevação de temperatura permitida por classe de isolamento, $\Delta t$ em °C (método de variação de resistência)			
		A	E	B	F
Germanischer Lloyd	45	55	70	75	96
American Bureau of Shipping	50	55	65	75	95
Bureau Véritas	50	50	65	70	90
Norske Véritas	45	50	65	70	90
Lloyds Register of Shipping	45	50	65	70	90
RINa	45	50	70	75	---

Tabela 1.6.1.5.2 – Correções de temperatura para rotores navais

## 1.6.2 PROTEÇÃO TÉRMICA DE MOTORES ELÉTRICOS

A proteção térmica é efetuada por meio de termo-resistências (resistência calibrada), termistores, termostatos ou protetores térmicos. Os tipos de detetores a serem utilizados são determinados em função da classe de temperatura do isolamento empregado, de cada tipo de máquina e da exigência do cliente.

Tipos de protetores utilizados pela WEG:

### 1.6.2.1 TERMO-RESISTÊNCIA (PT-100)

São elementos onde sua operação é baseada na característica de variação da resistência com a temperatura intrínseca a alguns materiais (geralmente platina, níquel ou cobre). Possuem resistência calibrada, que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor pelo display do controlador, com alto grau de precisão e sensibilidade de resposta. Sua aplicação é ampla nos diversos setores de técnicas de medição e automatização de temperatura nas indústrias. Geralmente, aplica-se em instalações de grande responsabilidade como, por exemplo, em regime intermitente muito irregular. Um mesmo detetor pode servir para alarme e para desligamento.

Desvantagem: os elementos sensores e o circuito de controle possuem alto custo.

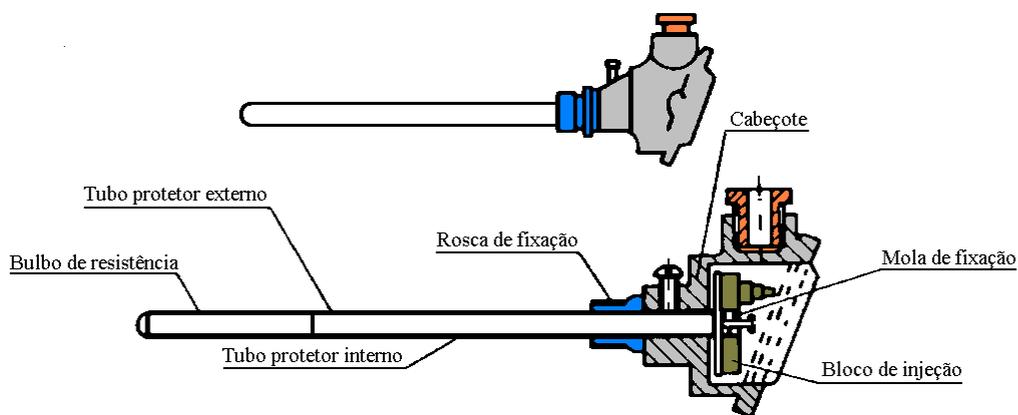


Figura 1.52 – Visualização do aspecto interno e externo dos termo-resistores

### 1.6.2.2 TERMISTORES (PTC E NTC)

São detetores térmicos compostos de sensores semicondutores que variam sua resistência bruscamente ao atingirem uma determinada temperatura.

- PTC – coeficiente de temperatura positivo;
- NTC – coeficiente de temperatura negativo.

O tipo “PTC” é um termistor cuja resistência aumenta bruscamente para um valor bem definido de temperatura, especificado para cada tipo. Essa variação brusca na resistência interrompe a corrente no PTC, acionando um relé de saída, o qual desliga o circuito principal. Também pode ser utilizado para sistemas de alarme ou alarme e desligamento (2 por fase). Para o termistor “NTC” acontece o contrário do PTC, porém, sua aplicação não é normal em motores elétricos, pois os circuitos eletrônicos de controle disponíveis, geralmente são para o PTC.

Os termistores possuem tamanho reduzido, não sofrem desgastes mecânicos e têm uma resposta mais rápida em relação aos outros detetores, embora permitam um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor. Os termistores com seus respectivos circuitos eletrônicos de controle oferecem proteção completa contra sobreaquecimento produzido por falta de fase, sobrecarga, sob ou sobretensões ou freqüentes operações de reversão ou liga-desliga.

Possuem um baixo custo, relativamente ao do tipo PT-100, porém, necessitam de relé para comando da atuação do alarme ou operação.

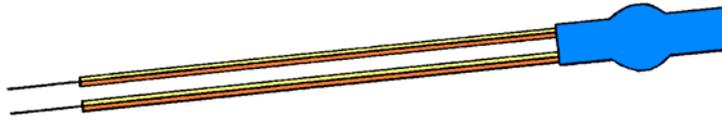


Figura 1.53 – Visualização do aspecto externo dos termistores

### 1.6.2.3 TERMOSTATOS

São detetores térmicos do tipo bimetalíco com contatos de prata normalmente fechados, que se abrem quando ocorre determinada elevação de temperatura. Quando a temperatura de atuação do bimetalíco diminuir, este volta a sua forma original instantaneamente permitindo o fechamento dos contatos novamente.

Os termostatos podem ser destinados para sistemas de alarme, desligamento ou ambos (alarme e desligamento) de motores elétricos trifásicos, quando solicitado pelo cliente. São ligados em série com a bobina do contator. Dependendo do grau de segurança e da especificação do cliente, podem ser utilizados três termostatos (um por fase) ou seis termostatos (grupo de dois por fase).

Para operar em alarme e desligamento (dois termostatos por fase), os termostatos de alarme devem ser apropriados para atuação na elevação de temperatura prevista do motor, enquanto que os termostatos de desligamento deverão atuar na temperatura máxima do material isolante.

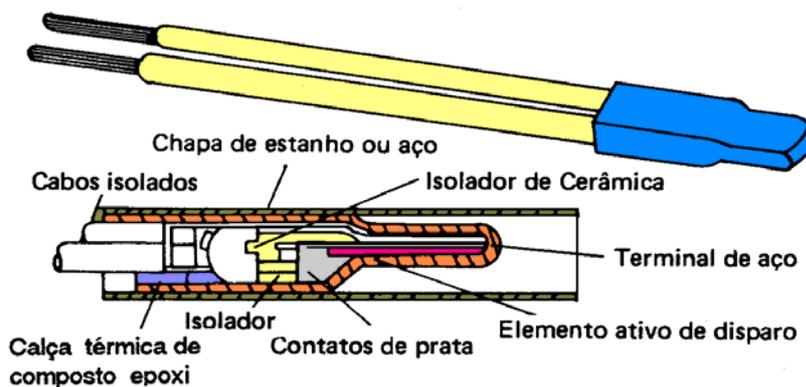


Figura 1.54 – Visualização do aspecto interno e externo do termostato

Os termostatos também são utilizados em aplicações especiais de motores monofásicos. Nestas aplicações, o termostato pode ser ligado em série com a alimentação do motor, desde que a corrente do motor não ultrapasse a máxima corrente admissível do termostato. Caso isto ocorra, liga-se o termostato em série com a bobina do contator. Os termostatos são instalados nas cabeças de bobinas de fases diferentes.

### 1.6.2.4 PROTETORES TÉRMICOS

São do tipo bimetálico com contatos normalmente fechados. Utilizados, principalmente, para proteção contra sobreaquecimento em motores de indução monofásicos, provocado por sobrecargas, travamento do rotor, quedas de tensão, etc. São aplicados quando especificados pelo cliente. O protetor térmico consiste basicamente em um disco bimetálico que possui dois contatos móveis, uma resistência e um par de contatos fixos.

O protetor é ligado em série com a alimentação e, devido à dissipação térmica causada pela passagem da corrente através da resistência interna deste, ocorre uma deformação do disco, tal que, os contatos se abrem e a alimentação do motor é interrompida. Após ser atingida uma temperatura inferior à especificada, o protetor deve religar. Em função de religamento, pode haver dois tipos de protetores:

- Protetor com religamento automático, onde o rearme é realizado automaticamente;
- Protetor com religamento manual, onde o rearme é realizado através de um dispositivo manual.

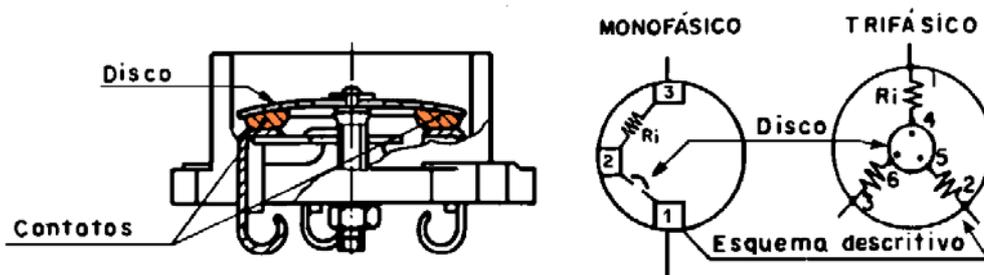


Figura 1.55 – Visualização do aspecto interno do protetor térmico

O protetor térmico também tem aplicação em motores trifásicos, porém, apenas em motores com ligação Y. O seguinte esquema de ligação poderá ser utilizado:

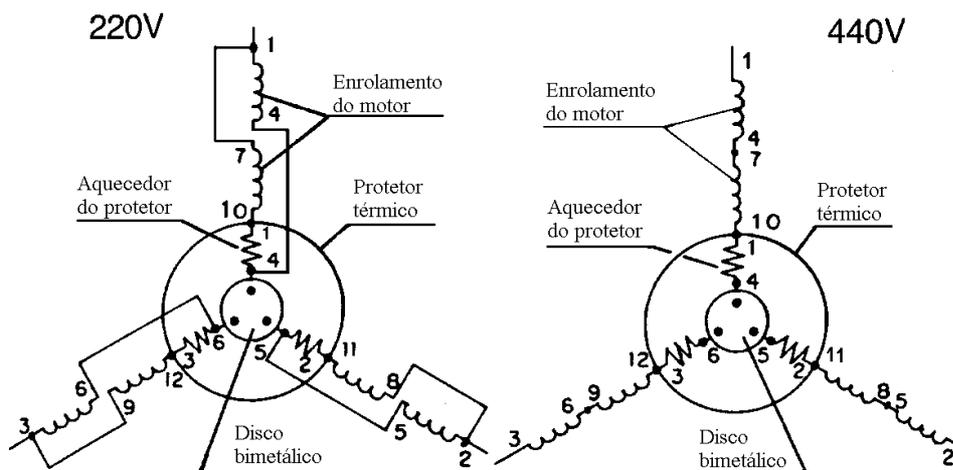


Figura 1.56 – Esquema de ligação do protetor térmico para motores trifásicos

**Vantagens:**

- Combinação de protetor sensível à corrente e a temperatura;
- Possibilidade de religamento automático.

**Desvantagens:**

- Limitação da corrente, por estar o protetor ligado diretamente à bobina do motor monofásico;
- Aplicação voltada para motores trifásicos somente no centro da ligação Y.

	<b>Termoresistor (PT100)</b>	<b>Termistor (PTC e NTC)</b>	<b>Termostato</b>	<b>Protetor Térmico</b>
<i>Mecanismo de proteção</i>	Resistência calibrada	Resistor de avalanche	- Contatos móveis - Bimetálicos	Contatos móveis
<i>Disposição</i>	Cabeça de bobina	Cabeça de bobina	- Inserido no circuito - Cabeça de bobina	Inserido no circuito
<i>Forma de atuação</i>	Comando externo de atuação na proteção	Comando externo de atuação na proteção	- Atuação direta - Comando externo de atuação na proteção	Atuação direta
<i>Limitação de corrente</i>	Corrente de comando	Corrente de comando	- Corrente do motor - Corrente do comando	Corrente do motor
<i>Tipo de sensibilidade</i>	Temperatura	Temperatura	Corrente e temperatura	Corrente e temperatura
<i>Número de unidades por motor</i>	3 ou 6	3 ou 6	3 ou 6 1 ou 3	1
<i>Tipos de comando</i>	Alarme e/ou desligamento	Alarme e/ou desligamento	- Desligamento - Alarme e/ou desligamento	Desligamento

Tabela 1.6.2.4.1 – Comparativa entre os sistemas de proteção mais comuns

**1.6.2.5 PROTEÇÃO DE MOTORES DE ALTA TENSÃO WEG**

Na filosofia da proteção a ser adotada para um determinado motor pesam o tamanho do motor, o nível de tensão da rede de alimentação, o método de partida, a importância da contribuição de uma falta no motor para o sistema de alimentação, o grau de necessidade da operação do motor em questão para o processo industrial em curso, a política de reposição de motores da empresa e considerações econômicas quanto ao custo da proteção em relação ao custo do motor e ao custo de uma paralisação no processo industrial.

Serão abordados a seguir alguns tipos de proteções frequentemente utilizadas em motores de alta tensão.

### 1.6.2.5.1 PROTEÇÃO DO ESTATOR

- **Proteção Contra Curtos-Circuitos**

As correntes elevadas que ocorrem em um curto circuito tornam necessário isolar o motor afetado. Dependendo do motor e a tensão de alimentação do mesmo, é usual a utilização de um relé instantâneo ajustado para uma corrente ligeiramente acima da corrente com rotor bloqueado, conjugado com um relé ajustado para 3 a 4 vezes a corrente nominal do motor com temporização suficiente para não operar durante a partida. Para motores de grande potência e alta tensão, a proteção contra curto-circuito é geralmente realizada por relés secundários.

- **Proteção Contra Surtos de Tensão**

O nível de isolamento de máquinas girantes é muito menor que o de outros tipos de equipamentos elétricos. Tal nível para um transformador de 5kV imerso em óleo, por exemplo, é de 60 kV, ao passo que para um motor de 4 kV nominais é da ordem de 13kV. Esse nível é igual ao valor de pico da onda de tensão aplicada durante 1 minuto no “ensaio de tensão aplicada” (2 vezes a tensão nominal + 1kV).

Um enrolamento de máquina de corrente alternada pode ser considerado como uma pequena linha de transmissão, com reflexão e refração de onda nos terminais, impedância de surto, etc. A maior solicitação do ponto de vista da tensão de impulso geralmente ocorre nas primeiras espiras do enrolamento, pois o surto vai sendo atenuado ao longo do enrolamento. Motores elétricos têm impedância de surto na faixa de 150 a 1500 ohms, tipicamente; na medida em que a tensão nominal e a potência nominal dos motores crescem, também cresce sua impedância de surto.

As fontes comuns de surtos de tensão são descargas atmosféricas na linha (principalmente), operações de manobra ou ligação de cargas de alta corrente no mesmo circuito. Nos surtos de manobra a tensão geralmente não ultrapassa duas a três vezes a tensão fase-neutro do sistema.

Embora as tensões de surto sejam altas, sua duração é muito pequena. Tipicamente, a onda se eleva muito depressa (1 a 10 microsegundos), atingindo então seu valor máximo depois de 2 a 150 microsegundos.

A proteção de máquinas girantes contra surtos requer a limitação da tensão de impulso junto aos terminais da máquina e a diminuição da inclinação da frente de onda de tensão. A combinação dessas duas condições é denominada “achatamento da onda”. Este achatamento da onda é obtido com a instalação de pára-raios entre os terminais da máquina e a carcaça aterrada.

Quando mais de uma máquina estive ligada a um barramento comum é usual ligar-se os pára-raios entre cada fase e a terra, desde que as carcaças das máquinas estejam ligadas a uma malha de terra de baixa resistência e que seja a mesma dos pára-raios.

A diminuição da inclinação da frente de onda é conseguida por capacitores de derivação ligados aos terminais da máquina.

- **Proteção Diferencial**

O sistema de proteção diferencial exige que os dois terminais de cada fase do motor sejam acessíveis. As maiores vantagens de um sistema de proteção diferencial são a alta sensibilidade, alta velocidade e o fato de operar somente sob faltas internas ao motor, não sendo

sensível às sobrecorrentes durante a partida. Sistemas de proteção diferencial não exigem coordenação com outras proteções no sistema.

Os transformadores de corrente vão, normalmente, instalados na caixa de ligação do motor, o que implica que, quando se deseja utilizar este tipo de proteção, caixas de ligação maiores que as usuais são necessárias.

### 1.6.3 REGIME DE SERVIÇO

É o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, (a carga é constante), por tempo indefinido, e igual a potência nominal do motor. A indicação do regime do motor deve ser feita pelo comprador, da forma mais exata possível. Nos casos em que a carga não varia ou varia de forma previsível, o regime poderá ser indicado numericamente ou por meio de gráficos que representam a variação em função do tempo das grandezas variáveis. Quando a seqüência real dos valores no tempo for indeterminada, deverá ser indicada uma seqüência fictícia não menos severa que a real.

#### 1.6.3.1 REGIMES DE SERVIÇOS PADRONIZADOS (NBR 7094/IEC 60034)

Os regimes tipo e os símbolos alfa-numéricos a eles atribuídos, são indicados a seguir:

##### a) Regime Contínuo (S1):

O funcionamento da carga constante de duração suficiente para que se alcance o equilíbrio térmico (figura 1.57).

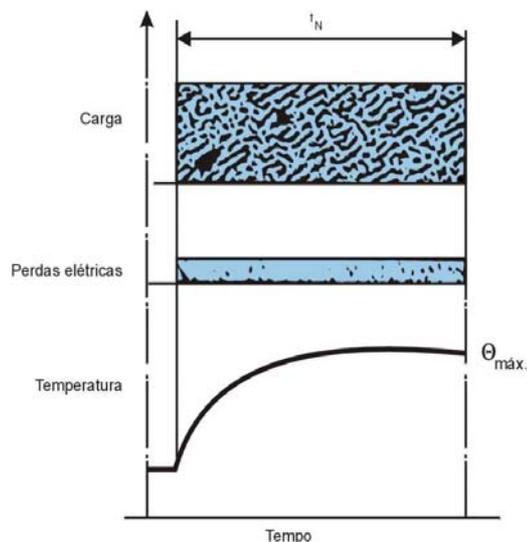


Figura 1.57

Onde:  $t_N$  – tempo mínimo de funcionamento em carga constante;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida (equilíbrio térmico).

**b) Regime de Tempo Limitado (S2):**

O funcionamento da carga é constante e, durante certo tempo, inferior ao necessário para atingir o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante (figura 1.58).

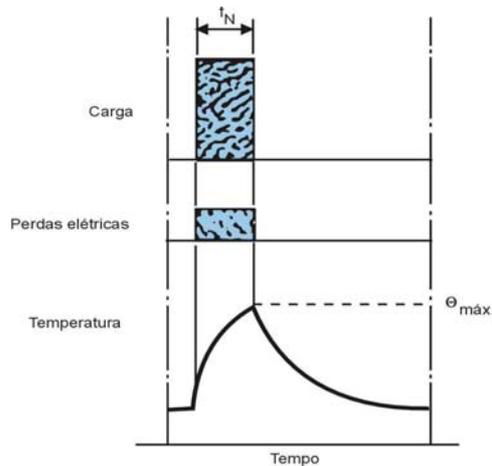


Figura 1.58

Onde:  $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $\Theta_{máx}$  – temperatura máxima atingida.

**c) Regime Intermitente periódico (S3):**

A seqüência de ciclos idênticos, cada qual incluindo um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso. Neste regime o ciclo é tal que a corrente de partida não afete de modo significativo a elevação de temperatura (figura 1.59).

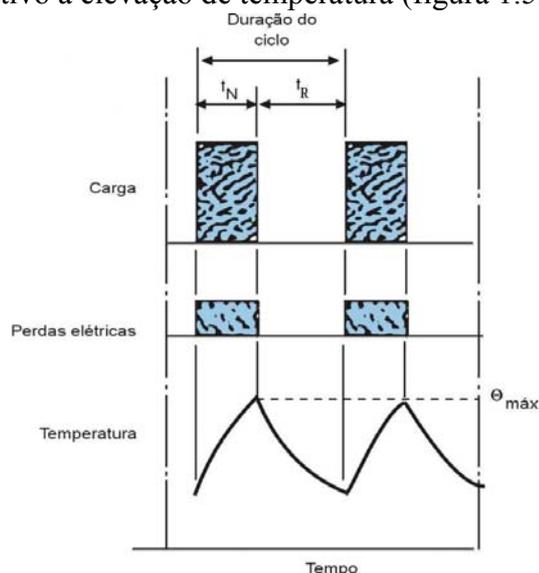


Figura 1.59

Onde:  $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_R$  – repouso;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_R} \times 100\%$$

**d) Regime Intermitente Periódico com Partidas (S4):**

Este regime tem uma seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida significativo, um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso (figura 1.60).

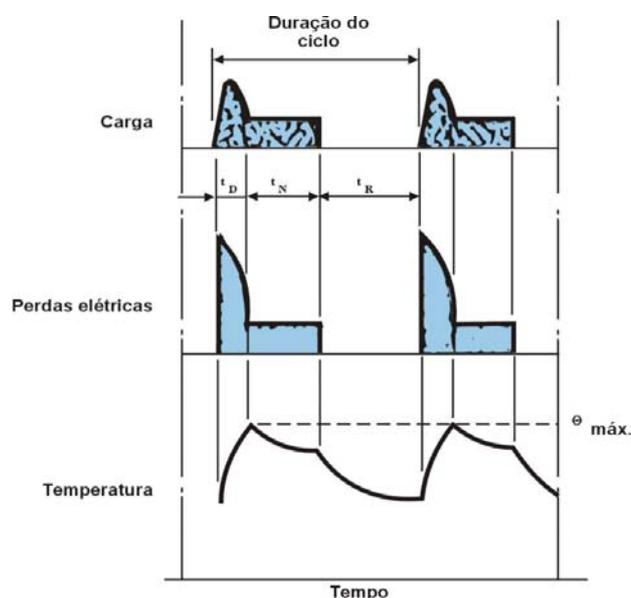


Figura 1.60

Onde:  $t_D$  – partida;  
 $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_R$  – repouso;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_D + t_N}{t_N + t_R + t_D} \times 100\%$$

**e) Regime Intermitente Periódico com frenagem elétrica (S5):**

A seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante, um período de frenagem elétrica rápida e um período de repouso (figura 1.61).

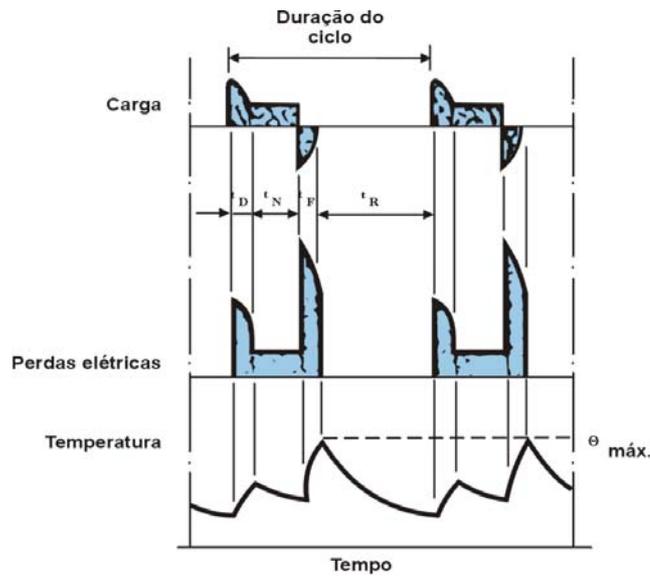


Figura 1.61

Onde:  $t_D$  – partida;  
 $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_F$  – frenagem elétrica;  
 $t_R$  – repouso;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_D + t_N + t_F}{t_D + t_N + t_F + t_R} \times 100\%$$

**f) Regime de Funcionamento Periódico com Carga Intermitente (S6):**

A seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de funcionamento a carga constante e de um período de funcionamento em vazio, não existindo período de repouso (figura 1.62).

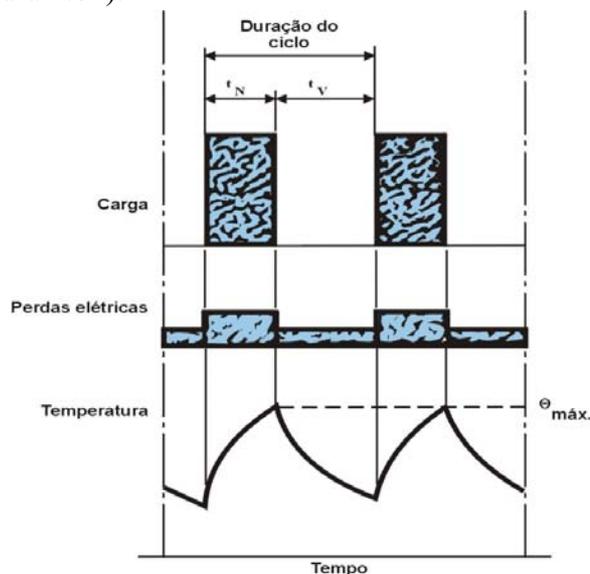


Figura 1.62

Onde:  $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_V$  – funcionamento em vazio;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_V} \times 100\%$$

**g) Regime de Funcionamento Periódico com Frenagem Elétrica (S7):**

É a seqüência de ciclos de regimes idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, de um período de funcionamento a carga constante e um período de frenagem elétrica, não existindo o período de repouso (figura 1.63).

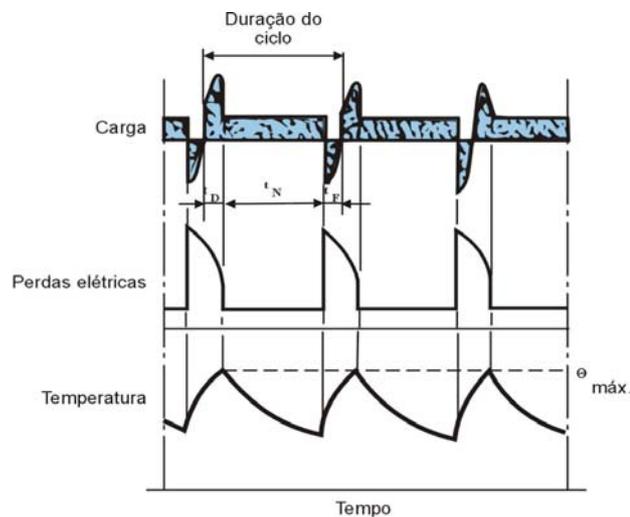


Figura 1.63

Onde:  $t_D$  – partida;  
 $t_N$  – funcionamento em carga constante;  
 $t_F$  – frenagem elétrica;  
 $\Theta_{\text{máx}}$  – temperatura máxima atingida.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = 1$$

**h) Regime de Funcionamento Contínuo Periódico com Mudanças correspondentes de carga e de velocidade (S8):**

A seqüência de ciclos de regimes idênticos, cada ciclo consistindo de um período de partida e um período de funcionamento a carga constante, correspondendo a uma velocidade de rotação pré-determinada, seguidos de um ou mais períodos de funcionamento a outras cargas constantes, correspondentes a diferentes velocidades de rotação. Não existe período de repouso (figura 1.64).

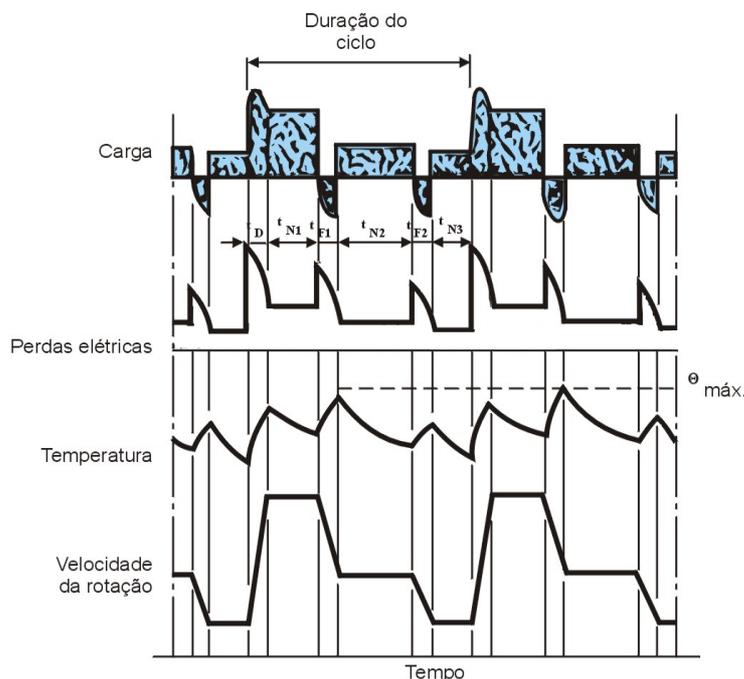


Figura 1.64

Onde:  $t_{F1} - t_{F2}$  – frenagem elétrica;  
 $t_D$  – partida;  
 $t_{N1} - t_{N2} - t_{N3}$  – funcionamento em carga constante;  
 $\Theta_{máx}$  – temperatura máxima atingida.

Fator de duração do ciclo

$$= \frac{t_D + t_{N1}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \times 100\%$$

$$= \frac{t_{F1} + t_{N2}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \times 100\%$$

$$= \frac{t_{F2} + t_{N3}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \times 100\%$$

**NOTA:** nos regimes periódicos (S3 a S8) implicam que o equilíbrio térmico não seja atingido durante o tempo em carga.

*i) Regimes Especiais:*

Onde a carga pode variar durante os períodos de funcionamento, existe reversão ou frenagem por contracorrente, etc., a escolha do motor adequado, deve ser feita mediante consulta à fábrica e depende de uma descrição completa do ciclo:

- Potência necessária para acionar a carga ou, se ela varia conforme um gráfico de potência requerida durante um ciclo (a figura 1.63 mostra um gráfico simples, onde a potência varia no período de carga);
- Conjugado resistente da carga;
- Momento de inércia total ( $GD^2$  ou J) da máquina acionada, referida à sua rotação nominal.
- Número de partidas, reversões, frenagens por contracorrente, etc.;
- Duração dos períodos em carga e em repouso ou vazio.

**1.6.3.2 DESIGNAÇÃO DO REGIME TIPO**

O regime tipo é designado pelo símbolo descrito no item 1.6.3. No caso de regime contínuo, este pode ser indicado, em alternativa, pela palavra “contínuo”. Exemplos das designações dos regimes:

- S2 60 segundos;

A designação dos regimes S2 à S8 é seguida das seguintes indicações:

- a) S2, do tempo de funcionamento em carga constante;
- b) S3 à S6, do fator de duração do ciclo;
- c) S8, de cada uma das velocidades nominais que constituem o ciclo, seguida da respectiva potência nominal e do seu respectivo tempo de duração.

Nos casos dos regimes S4, S5, S7 e S8, outras indicações a serem acrescentadas à designação, deverão ser estipuladas mediante acordo entre fabricante e comprador.

**Nota:** como exemplo das indicações a serem acrescentadas, mediante o referido acordo às designações de regimes tipo diferentes do contínuo, cita-se as seguintes, aplicável segundo o regime tipo considerado:

- a) Número de partidas por hora;
- b) Número de frenagens por hora;
- c) Tipo de frenagens;
- d) Constante de energia cinética (H), na velocidade nominal, do motor e da carga, esta última podendo ser substituída pelo fator de inércia (FI).

Onde: constante de energia cinética é a relação entre a energia cinética (armazenada no rotor à velocidade de rotação nominal) e a potência aparente nominal. Fator de inércia é a relação

entre a soma do momento de inércia total da carga (referido ao eixo do motor) e do momento de inércia do rotor.

- S3 25%; S6 40%;
- S8 motor H.1, FI.10, 33cv 740rpm 3min;

Onde H.1 significa uma constante de energia cinética igual a 1 s e FI. 10 significa um fator de inércia igual a 10.

### ***1.6.3 POTÊNCIA NOMINAL***

É a potência que o motor pode fornecer, dentro de suas características nominais, em regime contínuo. O conceito de potência nominal, ou seja, a potência que o motor pode fornecer está intimamente ligada à elevação de temperatura do enrolamento. Sabe-se que o motor pode acionar cargas de potências bem acima de sua potência nominal, até quase atingir o conjugado máximo. O que acontece, porém, é que, se esta sobrecarga for excessiva, isto é, for exigida do motor uma potência muito acima daquela para a qual foi projetado, o aquecimento normal será ultrapassado e a vida do motor será diminuída, podendo ele, até mesmo, queimar-se rapidamente.

Deve-se sempre ter em mente, que a potência solicitada ao motor é definida pelas características da carga, isto é, independentemente da potência do motor, ou seja: para uma carga de 90 cv, solicitada de um motor, por exemplo, independentemente de este ser de 75 cv ou 100 cv, a potência solicitada ao motor será de 90 cv.

### ***1.6.4 FATOR DE SERVIÇO (FS)***

Chama-se fator de serviço (FS) o fator que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor sob condições especificadas. Note que se trata de uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis. O fator de serviço não deve ser confundido com a capacidade de sobrecarga momentânea, durante alguns minutos. Os motores WEG podem suportar sobrecargas até 60% da carga nominal, durante 15 segundos. O fator de serviço  $FS = 1,0$  significa que o motor não foi projetado para funcionar continuamente acima de sua potência nominal. Isto, entretanto, não muda a sua capacidade para sobrecargas momentâneas. A NBR 7094 especifica os FS usuais por potência.

## 1.7 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

A potência admissível do motor de indução é determinada levando-se em consideração, principalmente, dois fatores:

- Altitude em que o motor será instalado;
- Temperatura do meio refrigerante.

Conforme a NBR 7094, as condições usuais de serviço, são:

- a) Altitude não superior a 1000m acima do nível do mar;
- b) Meio refrigerante (na maioria dos casos, o ar ambiente) com temperatura não superior a 40°C e isenta de elementos prejudiciais.

Até estes valores de altitude e temperatura ambiente, considera-se condições normais e o motor deve fornecer, sem sobreaquecimento, sua potência nominal.

### 1.7.1 ALTITUDE

Motores funcionando em altitudes acima de 1000m apresentam problemas de aquecimento causado pela rarefação do ar e, conseqüentemente, diminuição do seu poder de arrefecimento.

A insuficiente troca de calor entre o motor e o ar circundante, leva a exigência de redução de perdas, o que significa, também, redução de potência.

Os motores têm aquecimento diretamente proporcional às perdas e estas variam, aproximadamente, numa razão quadrática com a potência. Existem ainda três soluções possíveis:

- a) A instalação de um motor em altitudes acima de 1000 metros pode ser feita usando-se material isolante de classe superior;
- b) Motores com fator de serviço maior que 1,0 (1,15 ou maior) trabalharão satisfatoriamente em altitudes acima de 1000m com temperatura ambiente de 40°C desde que seja requerida pela carga, somente a potência nominal do motor;
- c) Segundo a norma NBR 7094 (antiga EB 120), os limites de elevação de temperatura deverão ser reduzidos de 1% para cada 100m de altitude acima de 1000m. Esta redução deve ser arredondada para o número de °C inteiro imediatamente superior.

**Exemplo:** Motor de 100cv, isolamento B, trabalhado numa altitude de 1500m acima do nível do mar, a elevação de temperatura permitida pela classe de isolamento será reduzida 5%.

$$\Delta T = 80 - (80 \times 0,05) = 76^\circ C$$

### 1.7.2 TEMPERATURA AMBIENTE

Motores que trabalham em temperaturas inferiores a -20°C apresentam os seguintes problemas:

- a) Excessiva condensação, exigindo drenagem adicional ou instalação de resistência de aquecimento, caso o motor fique longos períodos parado.
- b) Formação de gelo nos mancais, provocando endurecimento das graxas ou lubrificantes nos mancais, exigindo o emprego de lubrificantes especiais ou graxa anticongelante, conforme especificado no Manual de Instalação e Manutenção WEG.

Em motores que trabalham à temperaturas ambientes constantemente superiores a 40°C, o enrolamento pode atingir temperaturas prejudiciais à isolação. Este fato tem que ser compensado por um projeto especial do motor, usando materiais isolantes especiais ou pela redução da potência nominal do motor.

### 1.7.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA ÚTIL DO MOTOR NAS DIVERSAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E ALTITUDE

Associando os efeitos da variação da temperatura e da altitude, a capacidade de dissipação da potência do motor pode ser obtida multiplicando-se a potência útil pelo fator de multiplicação ( $\alpha$ ) obtido na tabela 1.7.3.1.

T/H	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000
10	1.16	1.14	1.13	1.12	1.11	1.09	1.08	1.06	1.04	1.02	1.01	0.99	0.97	0.94	0.92	0.90	0.88
15	1.13	1.12	1.11	1.09	1.08	1.06	1.05	1.03	1.02	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86
20	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83
25	1.08	1.07	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00	0.97	0.95	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81
30	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80	0.78
35	1.03	1.01	1.00	0.97	0.95	0.94	0.93	0.91	0.90	0.89	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75
40	1.00	0.98	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.81	0.80	0.78	0.76	0.73	0.71
45	0.95	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.76	0.74	0.71	0.69
50	0.92	0.91	0.90	0.88	0.87	0.86	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80	0.78	0.77	0.74	0.72	0.69	0.67
55	0.88	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.74	0.73	0.71	0.70	0.67	0.65
60	0.83	0.82	0.82	0.81	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.71	0.70	0.68	0.67	0.64	0.62
65	0.79	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
70	0.74	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.60	0.58	0.55	0.53
75	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.55	0.53	0.51	0.49
80	0.65	0.64	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.55	0.51	0.48	0.46	0.44

Tabela 1.7.3.1 – Fator de multiplicação da potência útil em função da temperatura ambiente (T) em “°C” e da altitude (H) em “m”.

**Exemplo:** Um motor de 100cv, isolamento B, para trabalhar num local com altitude de 2000m e a temperatura ambiente é de 55°C da tabela 1.7.3.1,  $\alpha=0,83$  logo:

$$P' = 0,83 \times P_n$$

O motor poderá fornecer apenas 83% de sua potência nominal.

## **1.7.4 ATMOSFERA AMBIENTE**

### **1.7.4.1 AMBIENTES AGRESSIVOS**

Ambientes agressivos, tais como estaleiros, instalações portuárias, indústria de pescados e múltiplas aplicações navais, indústria química e petroquímica, exigem que os equipamentos que neles trabalham sejam perfeitamente adequados para suportar tais circunstâncias com elevada confiabilidade, sem apresentar problemas de qualquer espécie.

Para aplicação de motores nestes ambientes agressivos, a WEG desenvolveu uma linha de motores projetados para atender os requisitos especiais e padronizados para as condições mais severas que possam ser encontradas. Os motores deverão ter as seguintes características especiais:

- Enrolamento duplamente impregnado\*;
- Pintura anti-corrosiva alquídica, interna e externa;
- Placa de identificação de aço inoxidável;
- Elementos de montagem zincados;
- Ventilador de material não faiscante;
- Retentores de vedação entre o eixo e as tampas;
- Juntas de borracha para vedar a caixa de ligação;
- Massa de calafetar na passagem dos cabos de ligação pela carcaça;
- Caixa de ligação de ferro fundido.

\* Em baixa tensão, em alta tensão uma única vez pelo sistema V.P.I.

No caso de motores navais, as características de funcionamento específicas são determinadas pelo tipo de carga acionada abordo. Todos os motores, porém apresentam as seguintes características especiais:

- Elevação de temperatura reduzida para funcionamento em ambientes até 50°C;
- Capacidade de suportar, sem problemas, sobrecargas ocasionais de curta duração de até 60% acima do conjugado nominal, conforme normas das Sociedades Classificadoras.

No que diz respeito ao controle rígido para assegurar a confiabilidade em serviço, os motores navais WEG se enquadram nas exigências de construção, inspeção e ensaios estabelecidos nas normas das Sociedades Classificadoras, entre as quais:

- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING;
- BUREU VERITAS;
- LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING;
- GERMANISCHER LLOYD.

### **1.7.4.2 AMBIENTES CONTENDO POEIRAS OU FIBRAS**

Para analisar se os motores podem ou não trabalhar nestes ambientes, deve ser informado os seguintes dados: tamanho e quantidade aproximada das fibras contidas no ambiente. O tamanho e a quantidade de fibras são fatores importantes, pois, dependendo do

tamanho, podem provocar, no decorrer do tempo, a obstrução da ventilação, provocando aquecimento do motor. Quando o conteúdo de fibras for elevado, devem ser empregados filtros de ar ou efetuar a limpeza dos motores.

### 1.7.4.3 LOCAIS EM QUE A VENTILAÇÃO DO MOTOR É PREJUDICADA

Nestes casos, existem duas soluções:

- Utilizar motores sem ventilação;
- Para motores com ventilação por dutos, calcula-se o volume de ar deslocado pelo ventilador do motor determinando a circulação de ar necessária para a perfeita refrigeração do motor.

### 1.7.5 GRAUS DE PROTEÇÃO

Os invólucros dos equipamentos elétricos, conforme as características do local em que serão instalados e de sua acessibilidade devem oferecer um determinado grau de proteção. Assim, por exemplo, um equipamento a ser instalado num local sujeito a jatos d'água devem possuir um invólucro capaz de suportar tais jatos, sob determinados valores de pressão e ângulo de incidência, sem que haja penetração de água.

#### 1.7.5.1 CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

A norma NBR 9884/IEC 60034-5 define os graus de proteção dos equipamentos elétricos por meio das letras características IP, seguida por dois algarismos.

1º Algarismo	
Algarismo	Indicação
0	Sem proteção
1	Corpos estranhos de dimensões acima de 50mm
2	Corpos estranhos de dimensões acima de 12mm
3	Corpos estranhos de dimensões acima de 2,5mm
4	Corpos estranhos de dimensões acima de 1,0mm
5	Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor
6	Totalmente protegido contra a poeira

Tabela 1.7.5.1.1 – 1º Algarismo: indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental

2º Algarismo	
Algarismo	Indicação
0	Sem proteção
1	Pingos de água na vertical
2	Pingos de água até a inclinação de 15° com a vertical
3	Água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical
4	Respingos de todas as direções
5	Jatos de água de todas as direções
6	Água de vagalhões
7	Imersão temporária
8	Imersão permanente

Tabela 1.7.5.1.2 – 2º Algarismo: indica o grau de proteção contra penetração de água no interior do motor

As combinações entre os dois algarismos, isto é, entre os dois critérios de proteção, estão resumidos na tabela 1.7.5.1.3. Nota-se que, de acordo com a norma, a qualificação do motor em cada grau, no que se refere a cada um dos algarismos, é bem definida através de ensaios padronizados e não sujeita a interpretações, como acontecia anteriormente.

Motor	Classe de proteção	1º Algarismo		2º Algarismo
		Proteção contra contato	Proteção contra corpos estranhos	Proteção contra água
<b>Motores Abertos</b>	IP00	Não tem	Não tem	Não tem
	IP02	Não tem	Não tem	Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP11	Toque acidental com a mão	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	Pingos de água na vertical
	IP12	Toque acidental com a mão	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP13	Toque acidental com a mão	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	Água da chuva até uma inclinação de 60° com a vertical
	IP21	Toque com os dedos	Corpos sólidos estranhos de dimensões de 12mm	Pingos de água na vertical
	IP22	Toque com os dedos	Corpos sólidos estranhos de dimensões de 12mm	Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP23	Toque com os dedos	Corpos sólidos estranhos de dimensões de 12mm	Água da chuva até uma inclinação de 60° com a vertical
<b>Motores Fechados</b>	IP44	Toque com ferramentas	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 1mm	Respingos de todas as direções
	IP54	Proteção completa contra toque	Proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	Respingos de todas as direções
	IP55	Proteção completa contra toque	Proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	Jatos de água em todas as direções
	IP(W)55	Proteção completa contra toques	Proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	Chuva, maresia

Tabela 1.7.5.1.3 – Graus de proteção Tipos Usuais de Proteção

### 1.7.5.1.1 MOTORES DE ALTA TENSÃO

Embora os algarismos indicativos de grau de proteção possam ser combinados de muitas maneiras, somente alguns tipos de proteção são empregados nos casos normais. São eles:

- Linha – MGA, MAA, AGA e HGA.  
IP23 – Motores abertos;
- Linha – MGF, MGD, MGT, MGI, MAF e HGF.  
IP(W)55, IP65 – Motores fechados.

Ainda tem algumas letras que adicionadas ao grau de proteção fornecem mais um dado referente ao motor, como segue:

- W (IPW55, IPW24) – proteção contra intempéries;
- R (IPR55) – motor com refrigeração por tubos;
- S (IP23S) – ensaio de proteção contra a entrada de água é realizado com o motor desligado;
- M (IP23M) – ensaio de proteção contra a entrada de água é realizado com o motor ligado.

### 1.7.5.1.2 MOTORES DE BAIXA TENSÃO

Como no caso acima, somente alguns tipos de proteção são empregados nos casos normais. São eles: IP21M, IP22, IP23 e IP44.

Os três primeiros são motores abertos e o último é motor totalmente fechado. Para aplicações especiais mais rigorosas, são comuns também os graus de proteção IP54 (ambientes muito empoeirados) e IP55 (casos em que os equipamentos são lavados periodicamente com mangueiras, como em fábricas de papel).

Outros graus de proteção para motores são raramente fabricados, mesmo porque, qualquer grau de proteção satisfaz plenamente os graus de proteção inferiores (algarismos mais baixos).

Assim, por exemplo, um motor IP44 substitui com vantagem os IP21, IP22 e IP23, apresentando maior segurança contra exposição acidental a poeiras e água. Isto permite padronização da produção em um único tipo que atenda a todos os casos, com vantagem adicional para o comprador nos casos de ambientes menos exigentes.

### 1.7.5.2 MOTORES A PROVA DE INTEMPÉRIES

Como visto anteriormente, a letra (W), colocada entre as letras IP e os algarismos indicativos do grau de proteção, indica que o motor é protegido contra intempéries.

**Exemplo:** IP(W)55 significa motor com grau de proteção IP55 quanto à penetração de poeiras e água, sendo, além disso, protegido contra intempéries (chuva, maresia, etc.), também chamados motores de uso naval.

Ambientes agressivos exigem que os equipamentos que neles trabalham, sejam perfeitamente adequados para suportar tais circunstâncias com elevada confiabilidade, sem apresentar problemas de qualquer espécie.

A WEG produz variada gama de motores elétricos com características técnicas especiais, apropriadas à utilização em estaleiros, instalações portuárias, indústria do pescado e múltiplas aplicações navais, além das indústrias químicas e petroquímicas e outros ambientes de condições agressivas. São a prova de tempo e adequados aos mais severos regimes de trabalho.

Os motores WEG para ambientes agressivos, IP(W)55, distinguem-se dos de proteção IP54, pelas seguintes características:

- Enrolamento duplamente impregnado (carcaças 225 a 355);
- Pintura anti-corrosiva alquídica externa;
- Placa de características em aço inoxidável;
- Elementos de montagem zincados;
- Retentor de vedação entre o eixo e as tampas;
- Caixa de ligação vedada com juntas de borracha;
- Espuma na passagem dos cabos de ligação pela carcaça;
- Ventilador de material não faiscante;
- Drenos automáticos de saída de água condensada no interior do motor;
- Terminal para conexão do fio-terra no interior da caixa de ligação;
- Placa de bornes;
- Rolamentos com folga C3 (carcaça 160L a 355);
- Sistemas de relubrificação (graxeiras) (carcaças 225 a 355)

Opcionais (quando exigidos pelo cliente):

- Isolamento classe F (155°C) ou H (180°C);
- Pintura a base de resina epóxi;
- Impregnação a base de resina epóxi;
- Resistências internas desumificadoras;
- Sondas térmicas bimetálicas;
- Termistores;
- Carcaça com caixa de ligação superior;
- Graxeiras de relubrificação nas carcaças 160 a 200;
- Labirinto taconite (carcaças 132 à 355);
- Ensaio de rotina, tipo, especial e protótipo (conforme norma NBR 5383), com ou sem a presença do inspetor.

## 1.7.6 VENTILAÇÃO

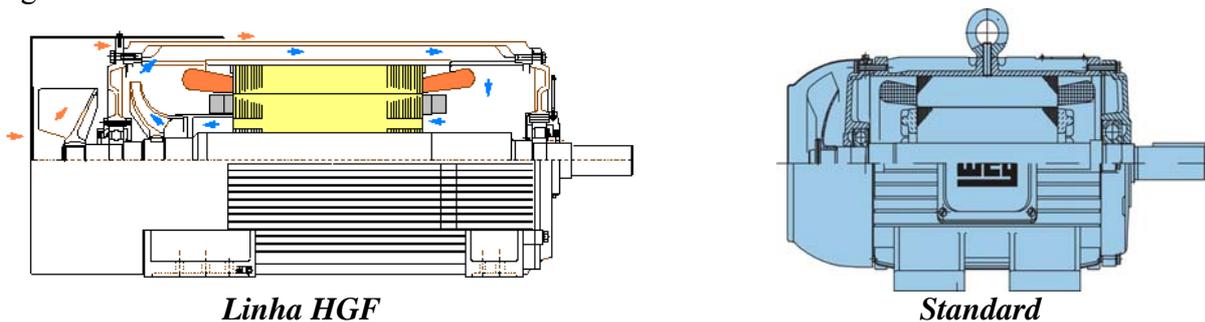
### 1.7.6.1 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

As perdas são inevitáveis no motor e o calor gerado por elas deve ser dissipado, ou seja, transferido para o elemento de resfriamento do motor, usualmente, o ar ambiente. A maneira pela qual é feita a troca de calor entre as partes aquecidas do motor e o ar ambiente é que define o “Sistema de Refrigeração” do motor. A classificação dos métodos de resfriamento foram definidos conforme a norma ABNT-NBR 5110 e/ou IEC 60034-6. Os sistemas usuais de refrigeração são apresentados a seguir.

#### 1.7.6.1.1 VENTILAÇÃO AXIAL

- **Motor totalmente fechado (Linha HGF - Standard)  
IC 0141**

Máquina totalmente fechada, resfriada por ventilador e carcaça aletada (externa e internamente). Há ainda, canais axiais no pacote de chapas do estator e do rotor, como mostra a figura abaixo:



**Linha HGF**

**Standard**

Figura 1.65 - Motor totalmente fechado com ventilação externa.

- **Aberto (AUTO-VENTILADO - Linha HGA) - IC 01**

Neste sistema, o motor pode apresentar proteções IP23, IP24 ou equivalentes, caracterizando um motor aberto. Possui um ventilador interno acoplado ao eixo (a linha HGA possui também um ventilador externo), o qual aspira o ar ambiente que passa através da máquina, fazendo assim a troca de calor.

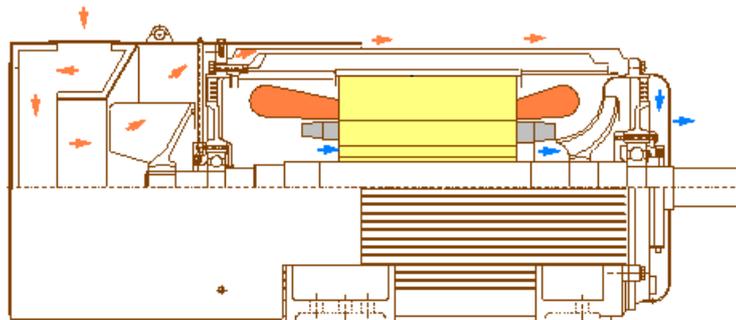


Figura 1.66 - Motor aberto.

### 1.7.6.1.2 VENTILAÇÃO MISTA

- **Trocador de calor ar-ar (MGF, MAF) - IC 0161**

O motor pode apresentar proteção IP55 ou equivalentes. Possui um ventilador interno e um externo acoplados ao eixo. O trocador de calor é montado na parte superior do motor.

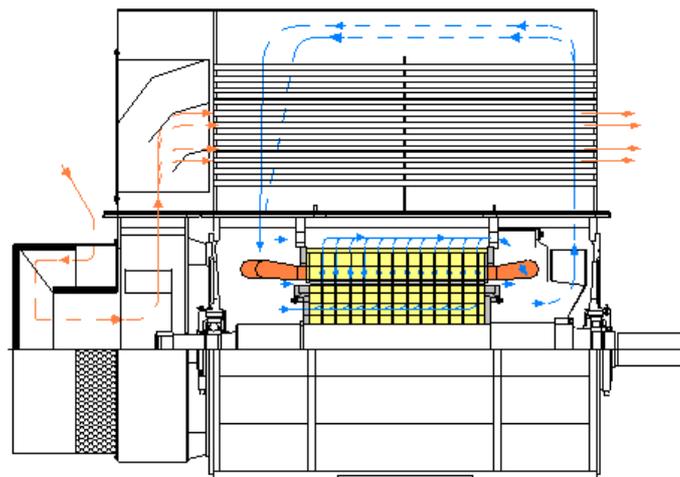


Figura 1.67 - Motor totalmente fechado com trocador de calor ar-ar.

- **Aberto (AUTO-VENTILADO) (MGA, MAA, AGA) - IC 01**

Neste sistema, o motor pode apresentar proteção IP23, IP24 ou equivalentes, caracterizando um motor aberto. Possui um ventilador interno acoplado ao eixo, o qual aspira o ar ambiente que passa através da máquina, fazendo assim a troca de calor.

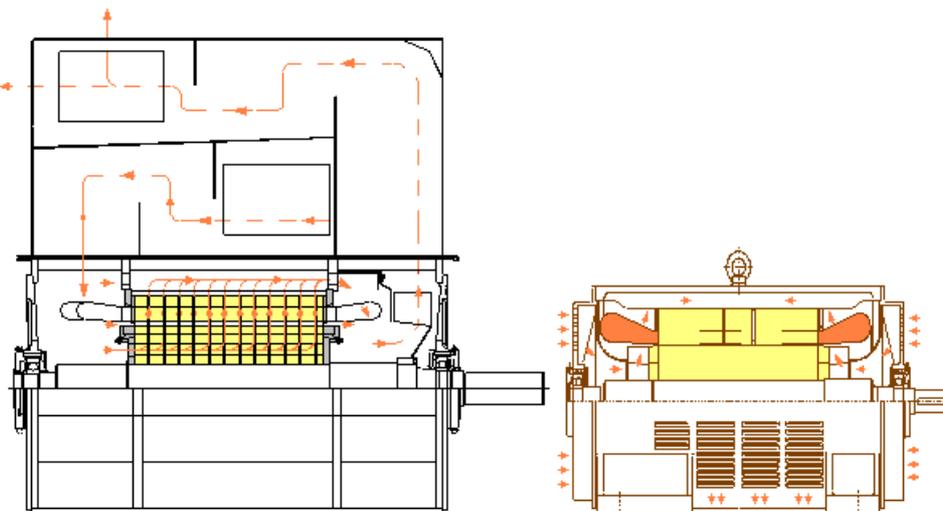


Figura 1.68 a - Motor aberto (MGA).

Figura 1.68 b - Motor aberto (AGA).

- **Trocador de calor ar-água (MGW, MAW) - IC W 37A81**

O motor com trocador de calor ar-água pode apresentar proteção IP55 ou equivalentes, caracterizando um motor fechado. O motor possui um ventilador acoplado no eixo.

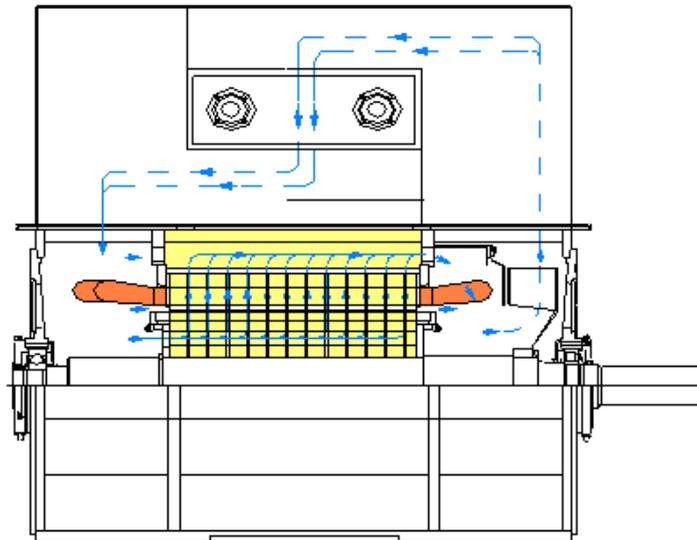


Figura 1.69 - Motor com trocador de calor ar-água.

- **Auto-ventilado por dutos (MGD, MAD) - IC 33**

Neste sistema, o motor apresenta um ventilador acoplado internamente no eixo, o qual aspira o ar de um recinto não contaminado que, após atravessar o motor, é devolvido ao meio ambiente.

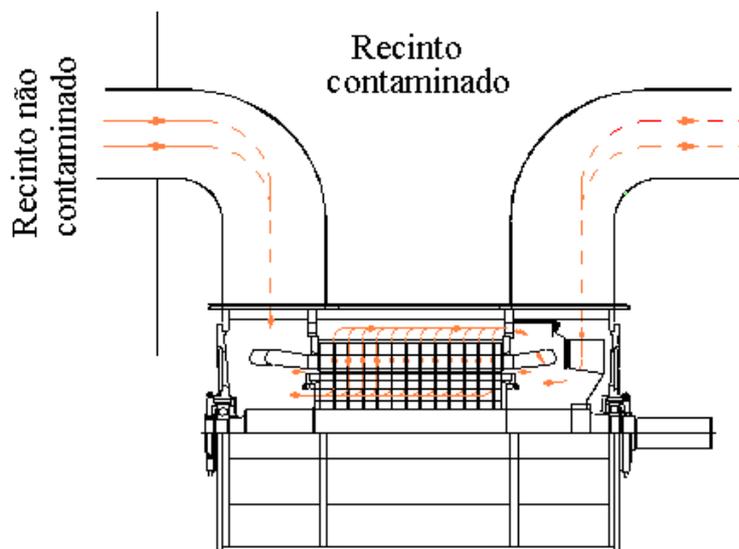


Figura 1.70 – Motor auto-ventilado por dutos.

- **Ventilação independente com trocador de ar-ar (MGI, MAI) - IC 0666**

Neste sistema existe um ventilador independente que força a circulação interna do ar. O outro ventilador independente aspira o ar ambiente e o faz circular através do trocador de calor ar-ar.

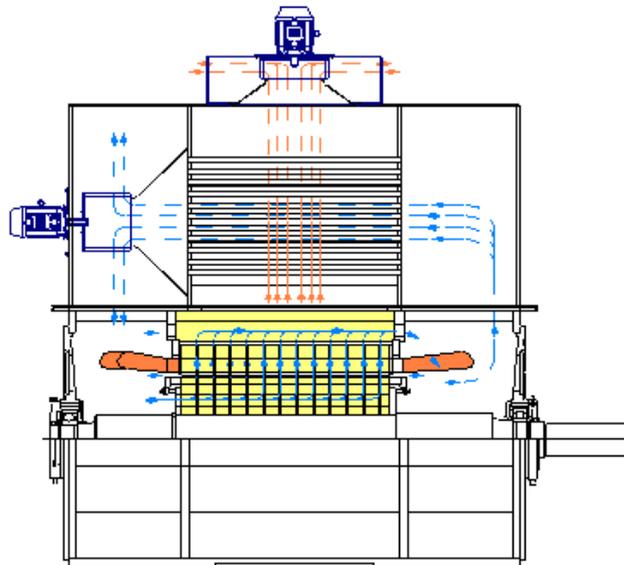


Figura 1.71 - Motor com ventilação independente e trocador de calor ar-ar.

- **Ventilação independente, motor aberto (MGV, MAV) - IC 06**

O ar ambiente é forçado a circular através do motor por um ventilador independente acoplado no topo do motor, e em seguida, devolvido ao meio ambiente, como mostra a figura 1.72 abaixo:

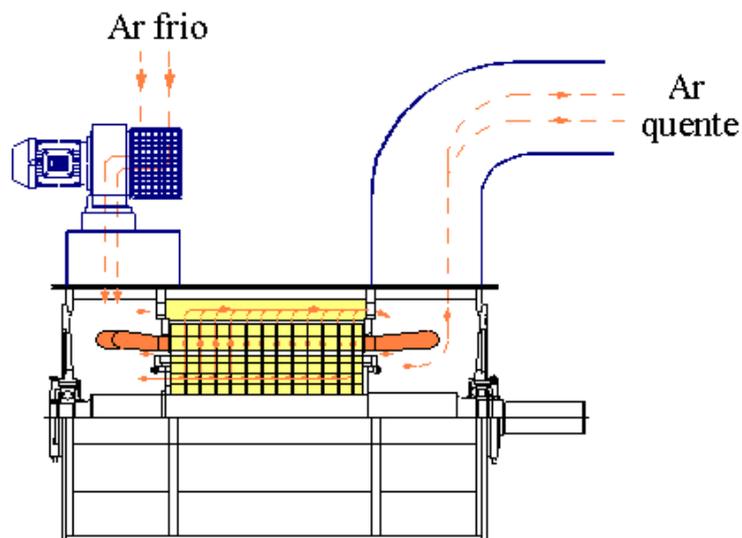


Figura 1.72 – Motor aberto com ventilação independente.

- **Ventilação independente com trocador de calor ar-água (MGL, MAL)**  
IC W 37A81

Neste sistema existe um ventilador independente que força a ventilação do ar internamente ao motor através do trocador de calor ar-água.

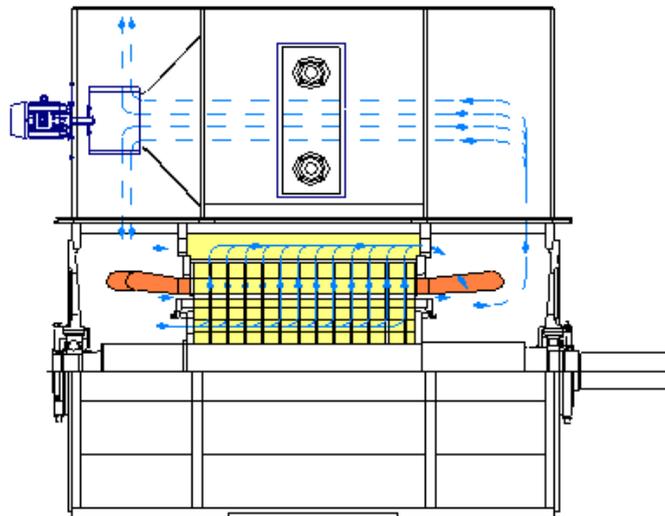


Figura 1.73 - Motor com ventilação independente com trocador de calor ar-água.

- **Ventilação independente por dutos (MGT, MAT) - IC 35**

O ar é aspirado de um recinto não contaminado e canalizado através de dutos até o motor, como mostra a figura abaixo:

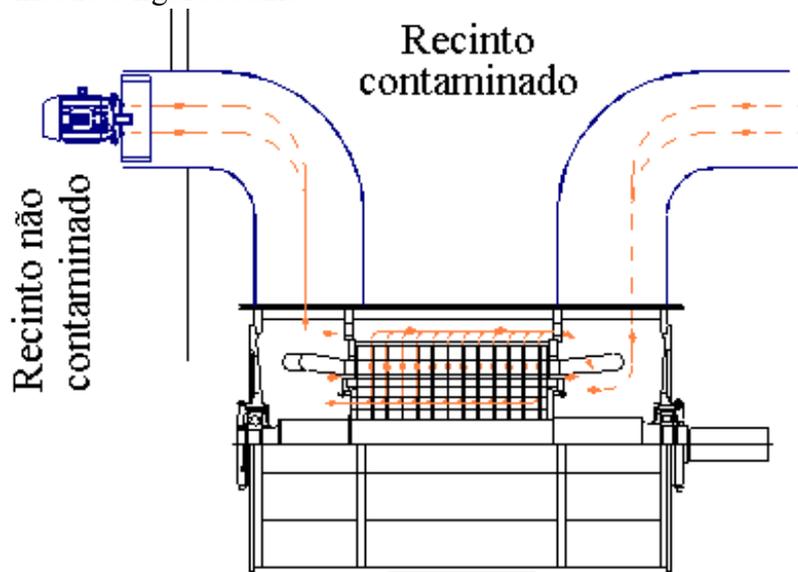


Figura 1.74 - Motor com ventilação independente por dutos.

### 1.7.6.1.3 VENTILAÇÃO BILATERAL SIMÉTRICA

- **Trocador de calor ar-ar (MGF, MAF) - IC 0161**

O motor pode apresentar proteção IP55 ou equivalentes. Possui ventiladores interno e externo acoplados ao eixo. O trocador de calor é montado na parte superior do motor.

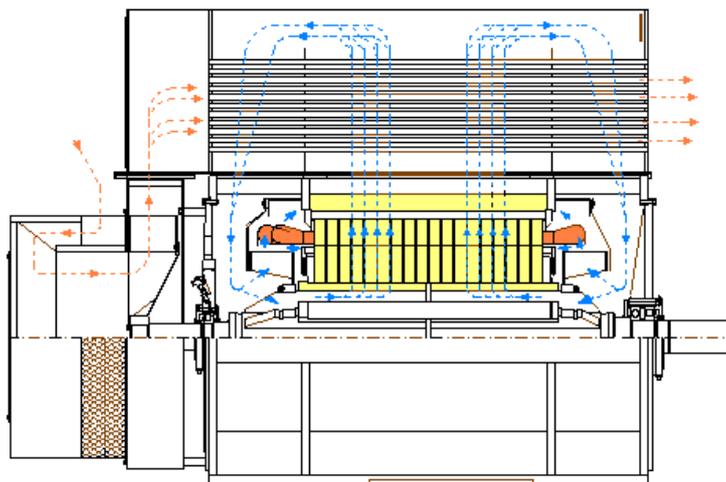


Figura 1.75 – Motor totalmente fechado com trocador de calor ar-ar.

- **Aberto (AUTO-VENTILADO) (MGA, MAA, AGA) - IC 01**

Neste sistema, o motor pode apresentar proteção IP23, IP24 ou equivalentes, caracterizando um motor aberto. Possui dois ventiladores internos acoplados ao eixo, o qual aspira o ar ambiente que passa através da máquina, fazendo assim a troca de calor como mostra a figura abaixo:

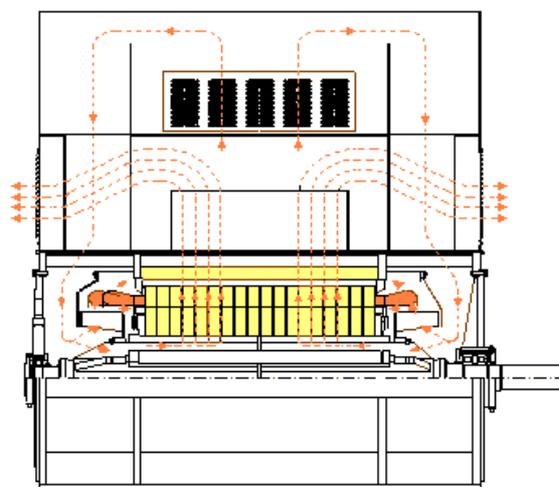


Figura 1.76 – Motor aberto.

- **Trocador de calor ar-água (MGW, MAW) - IC W 37A81**

O motor com trocador de calor ar-água pode apresentar proteção IP55 ou equivalentes, caracterizando um motor fechado. O motor possui dois ventiladores acoplados ao eixo.

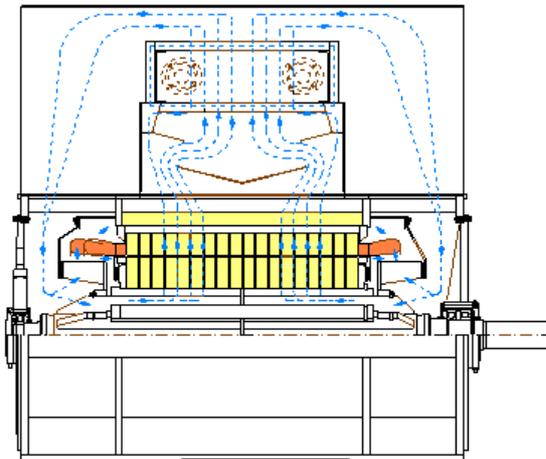


Figura 1.77 - Motor com trocador de calor ar-água.

- **Auto-ventilado por dutos (MGD, MAD) - IC 33**

Neste sistema, o motor apresenta dois ventiladores acoplados internamente ao eixo, o qual aspira o ar de um recinto não contaminado que, após atravessar o motor, é devolvido ao meio ambiente.

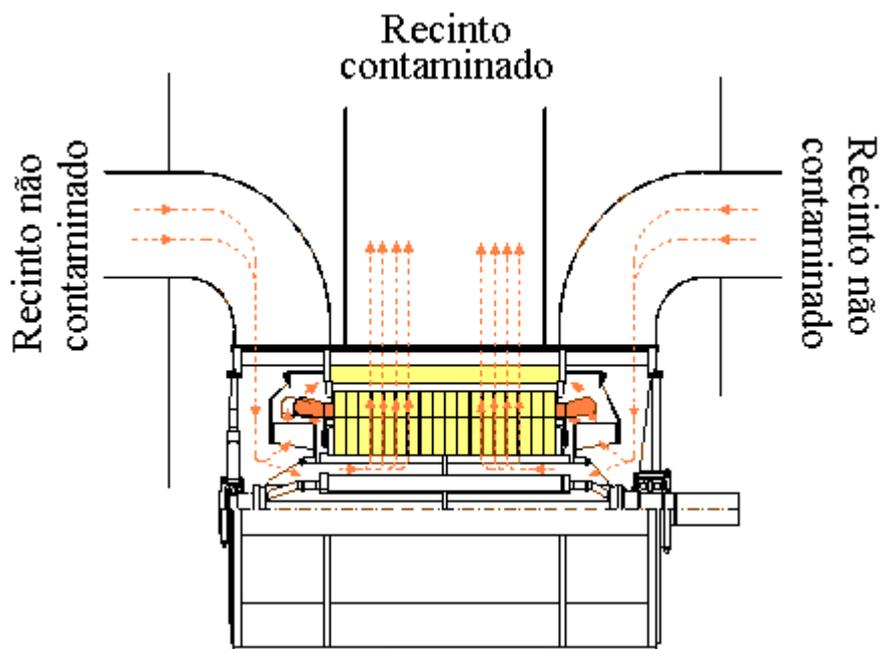


Figura 1.78 – Motor auto-ventilado por dutos.

- **Ventilação independente com trocador de ar-ar (MGI, MAI) - IC 0666**

Neste sistema existe um ventilador independente que força a circulação interna do ar. O outro ventilador independente aspira o ar ambiente e o faz circular através do trocador de calor ar-ar.

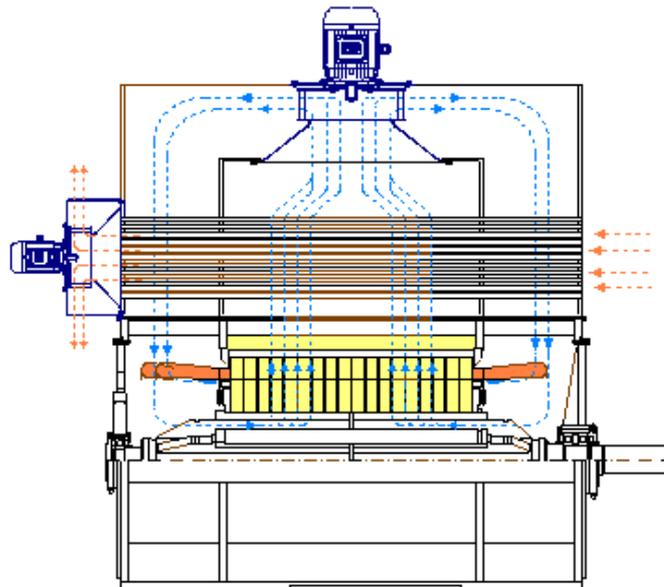


Figura 1.79 - Motor com ventilação independente e trocador ar-ar.

- **Ventilação independente, motor aberto (MGV, MAV) - IC 06**

O ar ambiente é forçado a circular através do motor por dois ventiladores independentes acoplados no topo do motor, e em seguida, devolvido ao meio ambiente, como mostra a figura abaixo:

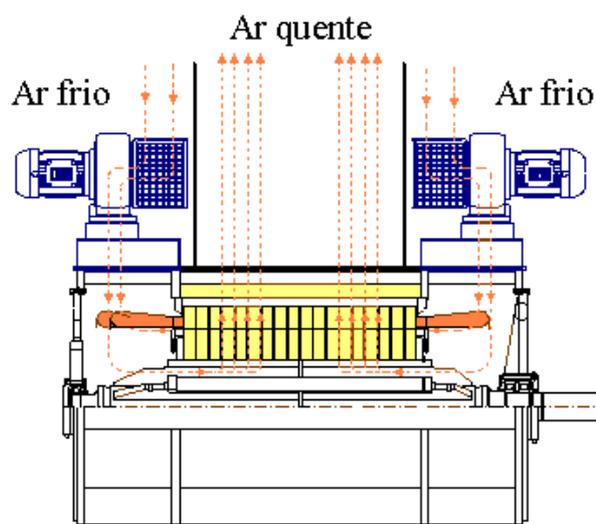


Figura 1.80 - Motor aberto com ventilação independente.

- *Ventilação independente com trocador de calor ar-água (MGL, MAL) IC W 37A81*

Neste sistema existe um ventilador independente que força a ventilação do ar internamente ao motor através do trocador de calor ar-água.

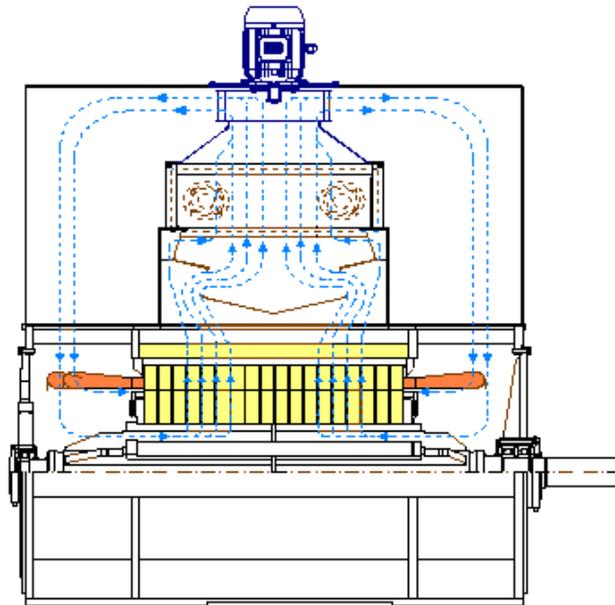


Figura 1.81 – Motor com ventilação independente com trocador ar-água.

- *Ventilação independente por dutos (MGT, MAT) - IC 35*

O ar é aspirado (através de dois moto-ventiladores) de um recinto não contaminado e canalizado através de dutos até o motor, como mostra a figura abaixo:

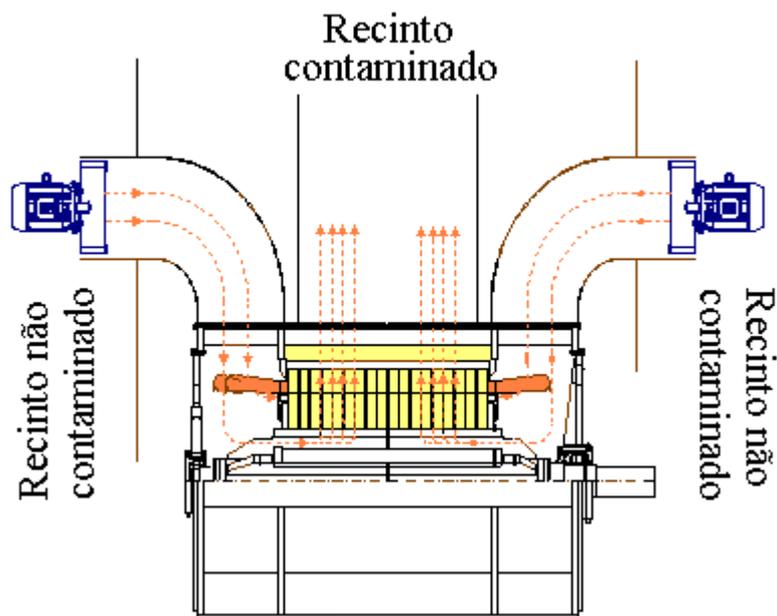


Figura 1.82 - Motor com ventilação independente por dutos.

### 1.7.7 RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO

As resistências de aquecimento são instaladas quando um motor elétrico é instalado em ambientes muito úmidos, com a possibilidade de ficar desligado por longos períodos, impedindo o acúmulo de água, no interior do motor, pela condensação do ar úmido. As resistências de aquecimento, aquecem o interior do motor alguns graus acima do ambiente (5 a 10°C), quando o motor está desligado.

A tensão de alimentação das resistências de aquecimento deverá ser especificada pelo cliente, sendo disponíveis em 110 V, 220 V e 440 V.

Dependendo da carcaça, serão empregados os resistores de aquecimento, conforme tabela 1.7.7.1.

Carcaça	Potência (W)
63 a 90	8
100 a 112	16
132	24
160 a 200	48
225 a 250	79
280 a 355	158

Tabela 1.7.7.1 – Resistência de aquecimento

### 1.7.8 LIMITE DE RUÍDOS

Os motores WEG atendem as normas NEMA, IEC e NBR que especificam os limites máximos de nível de potência sonora, em decibéis. Os valores da tabela 1.7.8.1, estão conforme a NBR 7565.

Graus de Proteção			IP22	IP44	IP22	IP44	IP22	IP44	IP22	IP44	IP22	IP44	IP22	IP44
Velocidade Nominal (rpm) – “n”			n ≤ 960		960 < n ≤ 1320		1320 < n ≤ 1900		1900 < n ≤ 2360		2360 < n ≤ 3150		3150 < n ≤ 3750	
Faixas de potências nominais – P			Nível de potência sonora dB (A)											
Geradores de corrente	Motores													
Alternada–Contínua kva kW	kW	cv												
P ≤ 1,1	P ≤ 1,1	P < 1,5	73	73	76	76	77	78	79	81	81	84	82	86
1,1 < P ≤ 2,2	1,1 < P ≤ 2,2	1,5 < P ≤ 3,0	74	74	78	78	81	82	83	85	85	86	86	91
2,2 < P ≤ 5,5	2,2 < P ≤ 5,5	3,0 < P ≤ 7,5	77	78	81	82	85	86	86	90	89	93	93	95
5,5 < P ≤ 11	5,5 < P ≤ 11	7,5 < P ≤ 15	81	82	85	85	88	90	90	93	93	97	97	96
11 < P ≤ 22	11 < P ≤ 22	15 < P ≤ 30	84	86	88	88	91	94	93	97	96	100	97	100
22 < P ≤ 37	22 < P ≤ 37	30 < P ≤ 50	87	90	91	91	94	98	96	100	99	102	101	102
37 < P ≤ 55	37 < P ≤ 55	50 < P ≤ 75	90	93	95	94	96	100	98	102	101	104	103	104
55 < P ≤ 110	55 < P ≤ 110	75 < P ≤ 150	93	96	97	95	100	103	101	104	103	106	105	106
110 < P ≤ 220	110 < P ≤ 220	150 < P ≤ 300	97	99	100	102	103	106	103	108	105	109	107	110
220 < P ≤ 630	220 < P ≤ 630	300 < P ≤ 860	99	102	103	105	106	108	106	109	107	111	110	113
630 < P ≤ 1100	630 < P ≤ 1100	860 < P ≤ 1500	101	105	106	108	108	111	108	111	109	112	111	116
1100 < P ≤ 2500	1100 < P ≤ 2500	1500 < P ≤ 3400	103	107	108	110	109	113	109	113	110	113	112	118
2500 < P ≤ 6300	2500 < P ≤ 6300	3400 < P ≤ 8600	106	109	110	112	110	115	111	115	112	115	114	120

Tabela 1.7.8.1 – Nível de potência sonora – dB(A) NBR 7565

## **1.8 AMBIENTES PERIGOSOS**

### **1.8.1 ÁREAS DE RISCO**

Uma instalação onde produtos inflamáveis são continuamente manuseados, processados ou armazenados, necessita, obviamente, de cuidados especiais que garantam a manutenção do patrimônio e preservem a vida humana.

Os equipamentos elétricos, por suas próprias características, podem representar fontes de ignição, quer seja por superaquecimento de algum componente, seja ele intencional ou causado por correntes de defeito.

### **1.8.2 ATMOSFERA EXPLOSIVA**

Uma atmosfera é explosiva quando a proporção de gás, vapor, pó ou fibras é tal, que uma faísca proveniente de um circuito elétrico ou o aquecimento de um aparelho provoca a explosão. Para que se inicie uma explosão, três elementos são necessários:

COMBUSTÍVEL + OXIGÊNIO + FAÍSCA = EXPLOSÃO

### **1.8.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO**

De acordo com as normas ABNT/IEC, as áreas de risco são classificadas em:

- **Zona 0:**

Região onde a ocorrência de mistura inflamável e/ou explosiva é contínua, ou existe por longos períodos. Por exemplo, a região interna de um tanque de combustível. A atmosfera explosiva está sempre presente.

- **Zona 1:**

Região onde a probabilidade de ocorrência de mistura inflamável e/ou explosiva está associada à operação normal do equipamento e do processo. A atmosfera explosiva está frequentemente presente.

- **Zona 2:**

Locais onde a presença de mistura inflamável e/ou explosiva não é provável de ocorrer, e se ocorrer, é por poucos períodos. Está associada à operação anormal do equipamento e do processo. Perdas ou uso negligente. A atmosfera explosiva pode acidentalmente estar presente.

De acordo com a norma NEC, as áreas de risco são classificadas em divisões:

- **Divisão I** – Região onde se apresenta uma ALTA probabilidade de ocorrência de uma explosão.

- **Divisão II** – Região de menor probabilidade.

Normas	Ocorrência de mistura inflamável		
	Contínua	Em condição normal	Em condição anormal
IEC	Zona 0	Zona 1	Zona 2
NEC/API	Divisão 1		Divisão 2

Tabela 1.8.3.1 - Comparativo entre ABNT/IEC e NEC/API

### 1.8.3.1 CLASSES E GRUPOS DAS ÁREAS DE RISCO

- **Classes** – Referem-se à natureza da mistura. O conceito de classes só é adotado pela norma NEC.
- **Grupos** – O conceito de grupo está associado à composição química da mistura.

**Classe I** – Gases ou vapores explosivos. Conforme o tipo de gás ou vapor tem-se:

- GRUPO B – hidrogênio, butadieno, óxido de eteno;
- GRUPO C – éter etílico, etileno;
- GRUPO D – gasolina, nafta, solventes em geral.

**Classe II** – Poeiras combustíveis ou condutoras. Conforme o tipo de poeira tem-se:

- GRUPO E;
- GRUPO F;
- GRUPO G.

**Classe III** – Fibras e partículas leves e inflamáveis.

De acordo com a norma ABNT/IEC, as regiões de risco são divididas em:

**Grupo I** – Para minas susceptíveis à liberação de grisú (gás a base de metano).

**Grupo II** – Para aplicação em outros locais, sendo divididos em IIA, IIB e IIC.

Normas \ Gases	Grupo de acetileno	Grupo de hidrogênio	Grupo de eteno	Grupo de propano
IEC	Gr II C	Gr II C	Gr II B	Gr II A
NEC/API	Classe I Gr A	Classe I Gr B	Classe I Gr C	Classe I Gr D

Tabela 1.8.3.1.1 - Correspondência entre ABNT/IEC e NEC/API

Atmosfera explosiva	IEC 60079 – 0 IEC 61241 – 0	NEC	
Gases ou vapores	Zona 0 e Zona 1	Classe I	Divisão 1
	Zona 2	Classe I	Divisão 2
Poeiras Combustíveis	Zona 20 e Zona 21	Classe II	Divisão 1
	Zona 22	Classe II	Divisão 2
Fibras	Zona 10	Classe III	Divisão 1
	Zona 11		Divisão 2

Tabela 1.8.3.1.2 - Classificação de áreas conforme IEC e NEC

#### 1.8.4 CLASSES DE TEMPERATURA

A temperatura máxima na superfície exposta do equipamento elétrico deve ser sempre menor que a temperatura de ignição do gás ou vapor. Os gases podem ser classificados para as classes de temperatura de acordo com sua temperatura de ignição, por meio do qual a máxima temperatura de superfície da respectiva classe, deve ser menor que a temperatura dos gases correspondentes.

IEC		NEC		Temperatura de ignição dos gases e/ou vapores
Classes de temperatura	Temperatura máxima de superfície	Classes de temperatura	Temperatura máxima de superfície	
T1	450	T1	450	> 450
T2	300	T2	300	> 300
		T2A	280	> 280
		T2B	260	> 260
		T2C	230	> 230
		T2D	215	> 215
T3	200	T3	200	> 200
		T3A	180	> 180
		T3B	165	> 165
		T3C	160	> 160
T4	135	T4	135	> 135
		T4A	120	> 120
T5	100	T5	100	> 100
T6	85	T6	85	> 85

Tabela 1.8.4.1 - Classes de Temperatura

#### 1.8.5 EQUIPAMENTOS PARA ÁREAS DE RISCO

Os ensaios e certificação desses equipamentos serão desenvolvidos pelo LABEX – Laboratório de Ensaio e Certificação de Equipamentos Elétricos com Proteção contra Explosão – que foi inaugurado em 16/12/1986 e pertence ao conglomerado laboratorial do Centro de Pesquisas Elétricas – CEPEL da Eletrobrás.

Tipo de proteção	Simbologia IEC/ABNT	Definição	Área de aplicação	Norma ABNT ou IEC
<b>A prova de explosão</b>	Ex(d)	Capaz de suportar explosão interna sem permitir que se propague para o meio externo	Zonas 1 e 2	IEC 60079-1 NBR 5363
<b>Segurança aumentada</b>	Ex(e)	Medidas construtivas adicionais aplicadas a equipamentos que em condições normais de operação não produzem arco, centelha ou alta temperatura	Zonas 1 e 2	IEC 60079-7 NBR 9883
<b>Não acendível</b>	Ex(n)	Dispositivo ou circuitos que apenas em condições normais de operação, não possuem energia suficiente para inflamar a atmosfera explosiva	Zona 2	IEC 60079-15
<b>Invólucro hermético</b>	Ex(h)	Invólucro com fechamento hermético (por fusão de material)	Zona 2	PROJ. IEC – 60031 (N) 36

**Tabela 1.8.5.1**

O quadro abaixo mostra a seleção dos equipamentos para as áreas classificadas de acordo com a norma IEC 60079-14 ou VDE 0615.

<b>IEC 60079-14 / VDE 0615</b>	
<b>Zona 0</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ex – i ou outro equipamento, ambos especialmente aprovados para zona 0.</li> </ul>
<b>Zona 1</b>	Equipamentos com tipo de proteção: <ul style="list-style-type: none"> <li>• À prova de explosão Ex-d;</li> <li>• Presurização Ex-p;</li> <li>• Segurança intrínseca Ex-i;</li> <li>• Imersão em óleo Ex-o;</li> <li>• Segurança aumentada Ex-e;</li> <li>• Enchimento com areia Ex-q</li> <li>• Proteção especial Ex-s;</li> <li>• Encapsulamento Ex-m.</li> </ul>
<b>Zona 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualquer equipamento certificado para zona 0 ou 1;</li> <li>• Equipamentos para zona 2;</li> <li>• Não acendível Ex-n.</li> </ul>

**Tabela 1.8.4.2**

De acordo com a norma NEC, a relação dos equipamentos está mostrada no quadro abaixo:

<b>Norma NEC</b>	
<b>Divisão 1</b>	Equipamentos com tipo de proteção: <ul style="list-style-type: none"> <li>• À prova de explosão serão para classe I Ex-d;</li> <li>• Presurização Ex-p;</li> <li>• Imersão em óleo Ex-o;</li> <li>• Segurança intrínseca Ex-i.</li> </ul>
<b>Divisão 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualquer equipamento certificado para divisão I;</li> <li>• Equipamentos incapazes de gerar faíscas ou superfícies quentes em invólucros de uso geral: não acendíveis.</li> </ul>

**Tabela 1.8.4.3**

### 1.8.6 EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA AUMENTADA (PROTEÇÃO EX-E)

É o equipamento elétrico que, sob condições de operação não produz arcos, faíscas ou aquecimento suficiente para causar ignição da atmosfera explosiva para o qual foi projetado.

Tempo  $t_E$  – tempo necessário para que um enrolamento de corrente alternada, que percorrido pela sua corrente de partida, atinja a sua temperatura limite, partindo da temperatura atingida em regime nominal, considerando a temperatura ambiente ao seu máximo. Abaixo, mostra-se os gráficos que ilustram como se deve proceder a correta determinação do tempo “ $t_E$ ”.

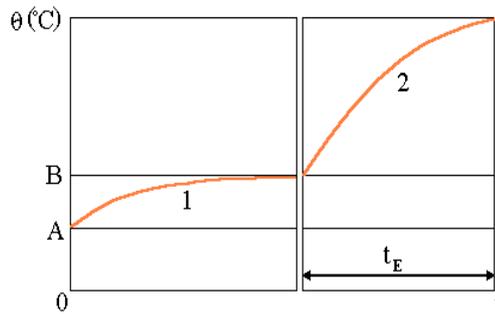


Figura 1.83 – Diagrama esquemático explicando o método de determinação do tempo “ $t_E$ ”

- Onde:
- $\theta$  - temperatura °C;
  - A – temperatura ambiente máxima;
  - B – temperatura em serviço nominal;
  - C – temperatura limite;
  - t – tempo;
  - 0 – temperatura;
  - 1 – elevação da temperatura;
  - 2 – elevação da temperatura com rotor bloqueado.

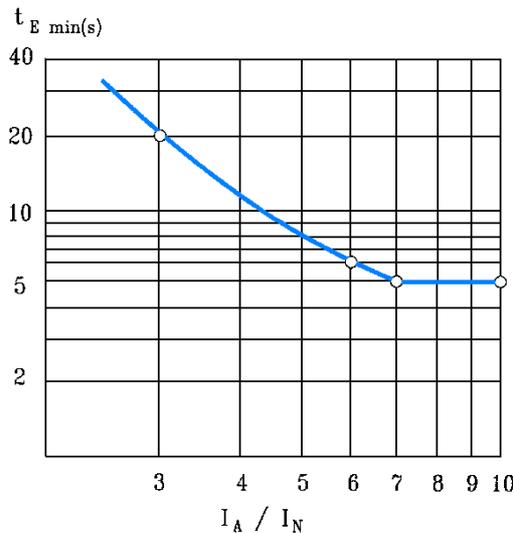


Figura 1.84 – Valor mínimo do tempo “ $t_E$ ” em função da relação da corrente de arranque  $I_A/I_N$

### 1.8.7 EQUIPAMENTOS COM INVÓLUCROS A PROVA DE EXPLOSÃO (PROTEÇÃO EX-D)

É um tipo de proteção em que as partes que podem inflamar uma atmosfera explosiva, são confinadas em invólucros que podem suportar a pressão durante uma explosão interna de uma mistura explosiva e que previne a transmissão da explosão para uma atmosfera explosiva.

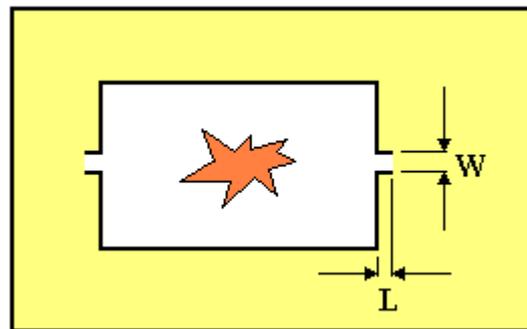


Figura 1.85 – Princípio da proteção Ex-d

O motor elétrico de indução (de qualquer proteção), não é estanque, ou seja, troca ar com o meio externo. Quando em funcionamento, o motor se aquece, o ar no seu interior fica com uma pressão maior que a externa (o ar é expelido); quando é desligada a alimentação, o motor se resfria e a pressão interna diminui, permitindo a entrada de ar (que neste caso está contaminado). A proteção Ex-d não permitirá que uma eventual explosão interna se propague ao ambiente externo. Para a segurança do sistema, a WEG controla os valores dos interstícios e as condições de acabamento das juntas, pois são responsáveis pelo volume de gases trocados entre o interior e exterior do motor.

Além de executar testes hidrostáticos em 100% das tampas, caixas de ligações e carcaças, com uma pressão quatro vezes maior que a utilizada em testes realizado em laboratórios nacionais e internacionais de renome; realiza também testes de explosão provocada em institutos de pesquisa reconhecidos, como por exemplo, o IPT de São Paulo.

## 1.9 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

### 1.9.1 DIMENSÕES

As dimensões dos motores elétricos WEG, são padronizadas de acordo com a NBR 5432, a qual, acompanha a International Electrotechnical Commission – IEC 60072. Nestas normas, a dimensão básica para a padronização das dimensões de montagem de máquinas elétricas, é a altura do plano da base ao centro da ponta do eixo, denominado de H (figura 1.86).

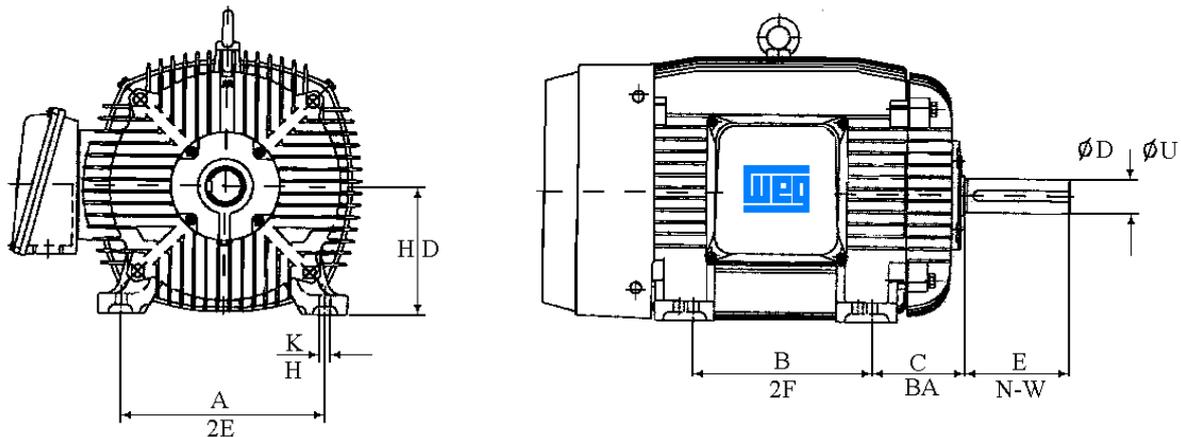


Figura 1.86

A cada altura de ponta de eixo H é associada uma dimensão C, distância do centro do furo dos pés do lado da ponta do eixo ao plano do encosto da ponta de eixo. A cada dimensão H, contudo, podem ser associadas várias dimensões B (dimensão axial da distância entre centros dos furos dos pés), de forma que é possível ter-se motores mais “longos” ou mais “curtos”. A dimensão A, distância entre centros dos furos dos pés, no sentido frontal, é única para valores de H até 315, podem assumir múltiplos valores a partir da carcaça H, igual a 355mm.

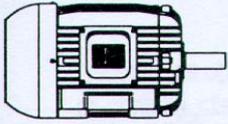
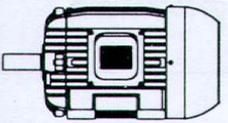
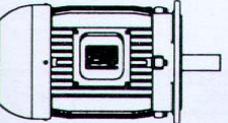
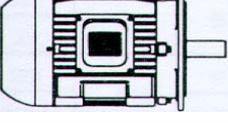
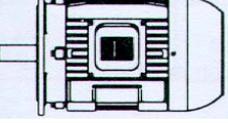
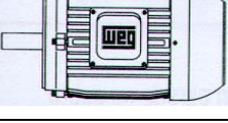
Para clientes, que exigem carcaças padronizadas pela norma NEMA, a tabela 1.9.1.1, faz a comparação entre as dimensões H – A – C – K – D – E da ABNT/IEC e D – 2E – 2F – BA – H – U – NW da norma NEMA.

ABNT/IEC NEMA	H D	A 2E	B EF	C BA	K H	Ø D Ø U	E N-W
63	63	100	80	40	7	11j6	23
71	72	112	90	45	7	14j6	30
80	80	125	100	50	10	19j6	40
90S	90	140	100	56	10	24j6	50
143T	88,9	139,7	101,6	57,15	8,7	22,2	57,15
90L	90	140	125	56	10	24j6	50
145T	88,9	139,7	127	57,15	8,7	22,2	57,15
100L	100	160	140	63	12	28j6	60
112S	112	190	114	70	12	28j6	60
182T	114,3	190,5	114,3	70	10,3	28,6	69,9
112M	112	190	140	70	12	28j6	60
184T	114,3	190,5	139,7	70	10,3	28,6	69,9
132S	132	216	140	89	12	38k6	80
213T	133,4	216	139,7	89	10,3	34,9	85,7
132M	132	216	178	89	12	38k6	80
215T	133,4	216	177,8	89	10,3	34,9	85,7
160M	160	254	210	108	15	42k6	110
254T	158,8	254	209,6	108	13,5	41,3	101,6
160L	160	254	254	108	15	42k6	110
256T	158,8	254	254	108	13,5	41,3	101,6
180M	180	279	241	121	15	48k6	110
284T	177,8	279,4	241,3	121	13,5	47,6	117,5
180L	180	279	279	121	15	48k6	110
286T	177,8	279,4	279,4	121	13,5	47,6	117,5
200M	200	318	267	133	19	55m6	110
324T	203,2	317,5	267,7	133	16,7	54	133,4
200L	200	318	305	133	19	55m6	110
326T	203,2	317,5	304,8	133	16,7	54	133,4
225S	225	356	286	149	19	60m6	140
364T	228,6	355,6	285,6	149	19,0	60,3	149,2
225M	225	356	311	149	19	60m6	140
365T	228,6	355,6	311,2	149	19,0	60,3	149,2
250S	250	406	311	168	24	65m6	140
404T	254	406,4	311,2	168	20,6	73	184,2
250M	250	406	349	168	24	65m6	140
405T	254	406,4	349,2	168	20,6	73	184,2
280S	280	457	368	190	24	75m6	140
444T	279,4	457,2	368,4	190	20,6	85,7	215,9
280M	280	457	419	190	24	75m6	140
445T	279,4	457,2	419,1	190	20,6	85,7	215,9
315S	315	508	406	216	28	80m6	170
504Z	317,5	508	406,4	215,9	31,8	92,1	269,9
315M	315	508	457	216	28	80m6	170
505Z	317,5	508	457,2	215,9	31,8	92,1	269,9
355M	355	610	560	254	28	100m6	210
586	368,3	584,2	558,8	254	30	98,4	295,3
355L	355	610	630	254	28	100m6	210
587	368,3	584,2	635	254	30	98,4	295,3

Tabela 1.9.1.1 – Comparação de dimensões ABNT/IEC e NEMA

### 1.9.2 FORMAS CONSTRUTIVAS NORMALIZADAS

Entende-se por forma construtiva, como sendo o arranjo das partes construtivas das máquinas com relação a sua fixação, a disposição de seus mancais e a ponta de eixo, que são padronizadas pela NBR 5031, IEC 60034-7, DIN – 42950 e NEMA MG 1-4.03. A NBR 5432, determina que a caixa de ligação de um motor deve ficar situada de modo que a sua linha de centro se encontre num setor compreendido entre o topo do motor e 10 graus abaixo da linha de centro horizontal desde, do lado direito, quando o motor for visto de lado do acionamento. O quadro seguinte, indica as diversas formas normalizadas.

Figura	Símbolo para					Fixação ou montagem
	Designação WEG	DIN 42950	IEC 60034 parte 7		Carcaça	
			Código I	Código II		
	B3D	B3	IM B3	IM1001	Com Pés	Montada sobre subestrutura (*)
	B3E					
	B5D	B5	IM B5	IM 3001	Sem Pés	Fixada pelo flange “FF”
	B5E					
	B35D	B3/B5	IM B35	IM 2001	Com Pés	Montada sobre subestrutura pelos pés, com fixação suplementar pelo flange “FF”
	B35E					
	B14D	B14	IM B14	IM 3601	Sem Pés	Fixada pelo flange “C”
	B14E					

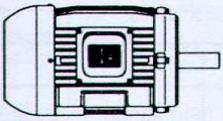
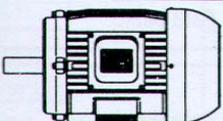
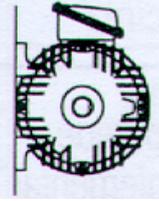
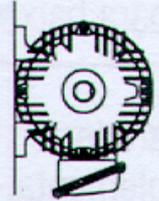
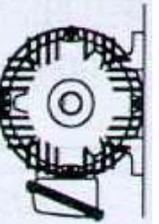
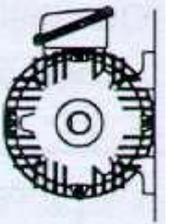
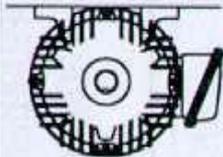
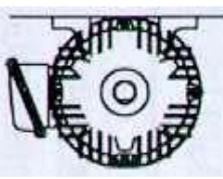
	B34D	B3/B14	IM B34	IM 2101	Com Pés	Montado sobre subestrutura pelos pés, com fixação suplementar pelo flange “C”
	B34E					
	B6D	B6	IM B6	IM 1051	Com Pés	Montado em parede, pé à esquerda, olhando-se do lado do acionamento
	B6E					
	B7D	B7	IM B7	IM1061	Com Pés	Montado em parede, pé à direita, olhando-se do lado do acionamento
	B7E					
	B8D	B8	IM B8	IM 1071	Com Pés	Fixada no teto
	B8E					

Tabela 1.9.2.1 – Formas construtivas normalizadas (montagem horizontal).

(\* ) Subestrutura: bases, placa de base, fundações, trilhos, pedestais, etc.

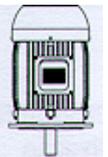
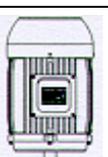
Figura	Símbolo para				Carcaça	Fixação ou montagem
	Designação WEG	DIN 42950	IEC 60034 parte 7			
			Código I	Código II		
	V5	V5	IM V5	IM 1011	Com Pés	Montada em parede ou sobre subestrutura
	V6	V6	IM V6	IM 1031	Com Pés	Montada em parede ou sobre subestrutura
	V1	V1	IM V1	IM 3011	Sem Pés	Fixada pelo flange “FF”, para baixo
	V3	V3	IM V3	IM 3031	Sem Pés	Fixada pelo flange “FF”, para cima
	V15	V1 / V5	IM V15	IM 2011	Com Pés	Montada em parede, com fixação suplementar pelo flange “FF”, para baixo
	V36	V3 / V6	IM V36	IM 2031	Com Pés	Montada em parede, com fixação suplementar pelo flange “FF”, para cima
	V18	V18	IM V18	IM 3611	Sem Pés	Fixada pela face superior do flange “C”, para baixo
	V19	V19	IM V19	IM 3631	Sem Pés	Fixada pela face superior do flange “C”, para cima

Tabela 1.9.2.2 – Formas construtivas normalizadas (montagem vertical).

### 1.9.3 MOTORES COM FLANGE

Conforme a norma NBR 5432, os flanges podem ser de dois tipos diferentes:

- Com furos passantes, designados flanges FF;
- Com furos rosqueados, designados flanges FT ou flange C.

Os flanges FF, FT ou C, devem ter quatro ou oito furos, espaçados sistematicamente. Os flanges FF e FT, da norma NBR 5432, são similares aos flanges FF e FT da norma IEC 60072 - 1. A seguir, apresenta-se as dimensões dos flanges mais utilizados.

Dimensões do Flange:

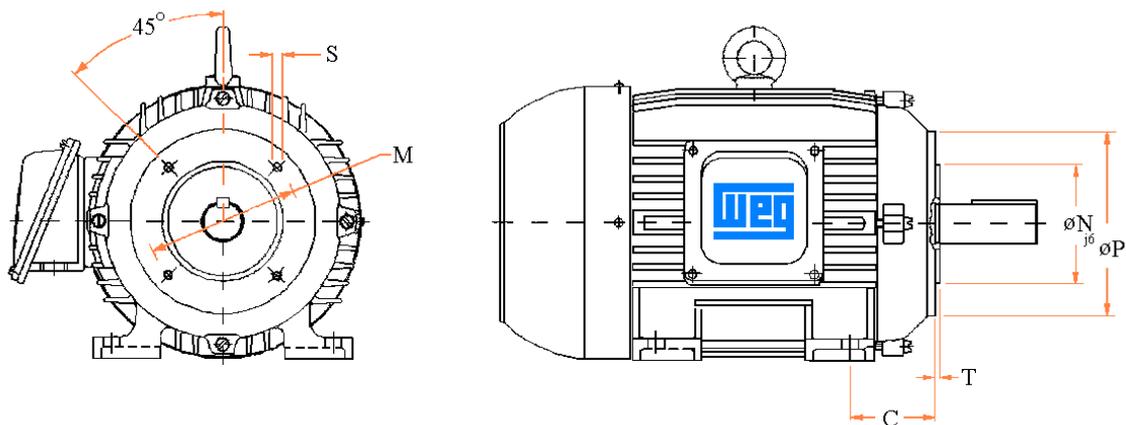


Figura 1.87

Carcaça IEC	Dimensões do flange tipo "C" DIN 42.948							Quantidade de Furos
	Flange	C	$\phi M$	$\phi N$	$\phi P$	S	T	
63	C 90	40	75	60	90	M 5	2,5	4
71	C105	45	85	70	105	M 6		
80	C120	50	100	80	120	M 8	3	
90S	C140	56	115	95	140			
90L		63	130	110	160	M 10	3,5	
100L	C160	70						
112M	C200	89	165	130	200			
132S								
132M								

Tabela 1.9.3.1

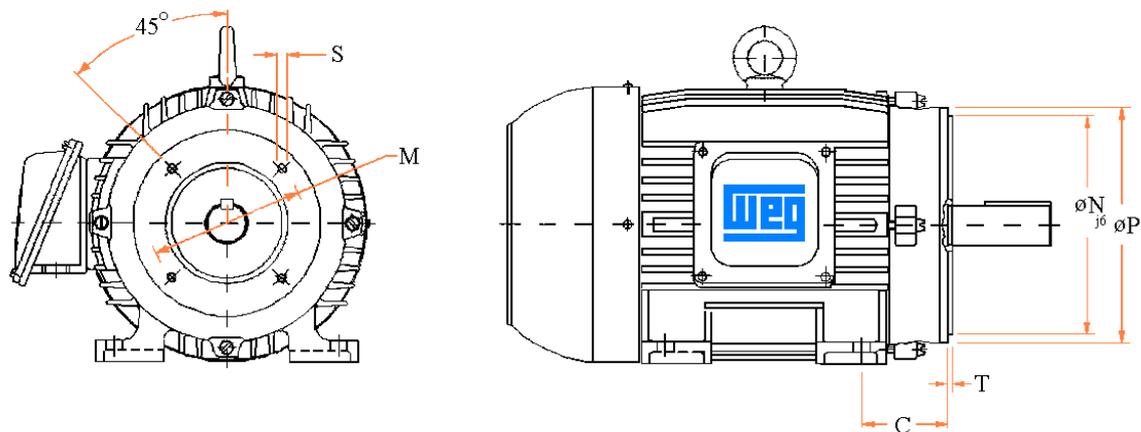


Figura 1.88

Carcaça IEC	Dimensões do flange tipo "C" NEMA MG1 11.34 e MG1 11.35							Quantidade de Furos
	Flange	C	φ M	φ N	φ P	S	T	
63	FC 95	40	95,2	76,2	143	¼" 20 UNC	4	4
71		45						
80		50						
90S	FC 149	56	149,2	114,3	165	¾" 16 UNC		
90L		63						
100L		70						
112M	FC 184	89	184,2	215,9	225	½" 13 UNC		
132S		108						
132M		121						
132M/L		133						
160M	FC 228	121	228,6	266,7	280	6,3	8	
160L		133						
180M		149						
180L	168							
200M	190							
200L	FC 355	168	355,6	406,4	455	⅝" 11 UNC		
225S		190						
225M		216						
250S	FC 368	216	368,3	419,1	455	6,3		
250M		168						
280S		190						
280M		216						
315S	FC 368	216	368,3	419,1	455	6,3		
315M		168						
355M		190						
355L		216						

Tabela 1.9.3.2

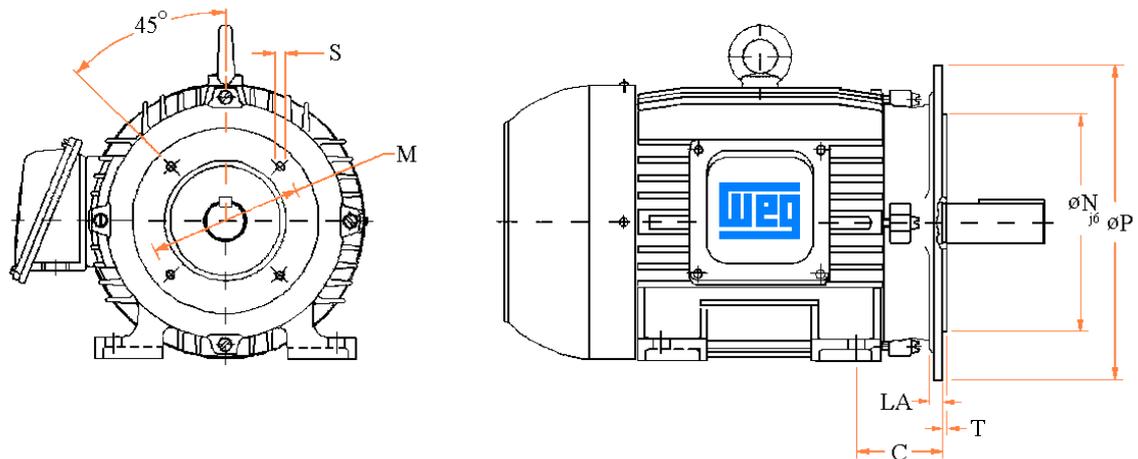


Figura 1.89

Carcaça IEC	Dimensões do flange tipo “FF” ABNT 5432 e IEC 60072 -1									Quantidade de Furos		
	Flange	C	LA	$\phi$ M	$\phi$ N	$\phi$ P	T	S	$\alpha$			
63	FF 115	40	9	115	95	140	3	10	45°	4		
71	FF 130	45	9	130	110	160	3,5					
80	FF 165	50	10	165	130	200						
90S 90L		56										
100L 112M	FF 215	63 70	11	215	180	250	4	15				
132S 132M 132M/L	FF 265	89	12	265	230	300						
160M 160L 180M 180L	FF 300	108	18	300	250	350	5	19			22°30'	8
200M 200L		121										
225S 225M	149	400		350	450							
250S 250M	168					500						
280S 280M		190										
315S 315M	FF 600	216		22	600	550	660	6	24			
355M 355L	FF 740	254		22	740	680	800					

Tabela 1.9.3.3

### 1.9.4 PINTURA

O plano de pintura abaixo, apresenta as soluções que são adotadas para cada aplicação.

Uso recomendado	Plano	Composição	Norma Operacional
<p>Ambiente normal, levemente severo abrigado ou desabrigado, para uso industrial, com baixa umidade relativa, variações normais de temperatura e presença de SO<sub>2</sub>.</p> <p><b>Nota:</b> Não recomendado para exposição direta a vapores ácidos, álcalis e solventes.</p> <p><b>Recomendações de uso específico:</b> O plano 201 (plano padrão) é indicado para os motores de linha normal de fabricação</p>	201A	<p><b>Fundo:</b></p> <p><b>Superfície em Aço:</b> Uma camada com 10 a 30 µm de revestimento autoforético a base de cloreto de polivinilideno;</p> <p><b>Superfície em ferro fundido:</b> Uma demão com 20 a 55 µm de primer sintético alquídico, conforme TES-20.</p> <p><b>Acabamento:</b> Uma demão com 40 a 60 µm de esmalte sintético alquídico, conforme TES-45.</p>	TOP – 1901
<p>Ambiente industrial severo em locais abrigados ou desabrigados, podendo conter presença de SO<sub>2</sub>, vapores e contaminantes sólidos e alta umidade. Indicado para aplicação em indústrias de papel e celulose, mineração e química.</p>	202E	<p><b>Fundo:</b></p> <p><b>Superfície em Aço:</b> Uma camada com 10 a 30 µm de revestimento autoforético a base de cloreto de polivinilideno;</p> <p><b>Superfície em ferro fundido:</b> Uma demão com 20 a 55 µm de primer sintético alquídico, conforme TES-20.</p> <p><b>Intermediário:</b> Uma demão com 20 a 30 µm de primer epóxi isocianato, somente para superfície de ferro fundido e alumínio (exceto para superfície com fundo autoforese).</p> <p><b>Acabamento:</b> Uma demão com 100 a 140 µm de acabamento epóxi poliamida alta espessura.</p>	TOP-2248
<p>Ambiente industrial severo em locais abrigados ou desabrigados podendo conter presença de SO<sub>2</sub>, vapores, contaminantes sólidos e alta umidade.</p> <p><b>Recomendações de uso específico:</b> Indicado para aplicação em processadores de alimentos (food processing – USA)</p>	202P	<p><b>Fundo:</b></p> <p><b>Superfície em Aço:</b> Uma camada com 10 a 30 µm de revestimento autoforético a base de cloreto de polivinilideno;</p> <p><b>Superfície em ferro fundido:</b> Uma demão com 20 a 55 µm de primer sintético alquídico, conforme TES-20.</p> <p><b>Intermediário:</b> Uma demão com 20 a 30 µm de primer epóxi isocianato, somente para superfície de ferro fundido e alumínio (exceto para superfície com fundo autoforese).</p> <p><b>Acabamento:</b> Uma demão com 60 a 100 µm Cada de lackthane N 2677</p>	TOP-2248
<p>Ambiente normal, levemente severo abrigado ou desabrigado, para uso industrial, com baix umidade relativa, variações normais de temperatura e presença de SO<sub>2</sub>.</p> <p><b>Notas:</b></p> <p>1) Não recomendado para exposição direta a vapores ácidos, álcalis e soventes</p> <p>2) Não aplicar o plano 203 em motores com carcaça em chapa de aço.</p>	203A	<p><b>Fundo:</b></p> <p><b>Superfície em Aço:</b> Uma camada com 10 a 30µm de revestimento autoforético a base de cloreto de polivinilideno;</p> <p><b>Superfície em ferro fundido:</b> Uma demão com 20 a 55µm de primer sintético alquídico, conforme TES-20.</p> <p><b>Intermediário:</b> Uma demão com 30 a 45 µm de primer alquídico por pulverização, conforme TES-20.</p> <p><b>Acabamento:</b> Uma demão com 30 a 45 µm de esmalte sintético alquídico, conforme TES-45.</p>	TOP-1901

Uso recomendado	Plano	Composição	Norma Operacional
<p>Ambiente normal, levemente severo e abrigado, para uso doméstico, com baixa umidade relativa, variações normais de temperatura.</p> <p><b>Nota:</b> Não recomendado para exposição direta a vapores ácidos, álcalis e solventes</p> <p><b>Recomendação de uso específico:</b> Para uso em motores com carcaça de chapa de aço, cujo processo de embalagem exige uma pintura de secagem rápida.</p>	207N	<p><b>Fundo:</b> <b>Superfície em Aço:</b> Uma camada com 10 a 20µm de revestimento autoforético a base de cloreto de polivinilideno; <b>Superfície em ferro fundido:</b> Uma demão com 20 a 55µm de primer sintético alquídico, conforme TES-20. <b>Acabamento:</b> Uma demão com 30 a 40 µm de acabamento nitrocelulose, (para motor com componentes em alumínio a tinta de acabamento deve ser catalisada com 610.0005).</p>	TOP-387
<p>Ambiente industrial severo em locais abrigados podendo conter presença de SO<sub>2</sub>, vapores e contaminantes sólidos, alta umidade e respingos de álcalis e solventes.</p> <p>Indicados para motores utilizados em refinarias, bem como indústrias petroquímicas que adotem as especificações Petrobrás.</p>	211E	<p><b>Fundo:</b> <b>Superfície em aço e ferro fundido:</b> Uma demão com 90 a 130 µm de primer lackpoxi N. <b>Acabamento:</b> Uma demão com 90 a 130 µm cada de lackpoxi N 2628.</p>	TOP-2248
<p>Ambiente industrial severo em locais abrigados podendo conter presença de SO<sub>2</sub>, vapores e contaminantes sólidos e alta umidade.</p> <p>Indicados para motores utilizados em refinarias, bem como indústrias petroquímicas que adotem as especificações Petrobrás.</p>	211P	<p><b>Fundo:</b> <b>Superfície em aço e ferro fundido:</b> Uma demão com 90 a 130 µm de primer lackpoxi N 2630. <b>Acabamento:</b> Uma demão com 65 a 90 µm cada de lackpoxi N 2677.</p>	TOP-2248
<p>Ambiente marítimo agressivo ou industrial marítimo, abrigado, podendo conter alta umidade e respingos de álcalis e solventes.</p> <p>Indicado para aplicação em indústrias de papel e celulose, mineração, química e petroquímica.</p> <p><b>Nota:</b> Atende a norma Petrobrás N 1735 (condição 4)</p>	212E	<p><b>Fundo:</b> <b>Superfície em aço e ferro fundido:</b> Uma demão com 70 a 90 µm de primer etilsilicato de zinco N 1661 (exceto partes em alumínio). <b>Intermediário:</b> Uma demão com 90 a 130 µm de epóxi lackpóxi N 2630 <b>Acabamento:</b> Uma demão com 90 a 130 µm cada de lackpoxi N 2628.</p>	TOP-552
<p>Ambiente marítimo agressivo ou industrial marítimo, abrigado ou desabrigado, podendo conter alta umidade. Indicado para aplicação em indústrias de papel e celulose, mineração, química e petroquímica.</p> <p><b>Nota:</b> Atende a norma Petrobrás N 1735 (condição 4)</p>	212P	<p><b>Fundo:</b> <b>Superfície em aço e ferro fundido:</b> Uma demão com 70 a 90 µm de primer etilsilicato de zinco N 1661 (exceto partes em alumínio). <b>Intermediário:</b> Uma demão com 90 a 130 µm de epóxi lackpóxi N 2630 <b>Acabamento:</b> Uma demão com 65 a 900 µm cada de lackpoxi N 2677.</p>	TOP-552

Tabela 1.9.4.1

### 1.9.5 VIBRAÇÃO

A vibração de uma máquina elétrica está intimamente relacionada com sua montagem e por isso é geralmente desejável efetuar as medições de vibração nas condições reais de instalação e funcionamento. Contudo, para permitir a avaliação do balanceamento e da vibração de máquinas elétricas girantes, é necessário efetuar tais medições com a máquina desacoplada, sob condições de ensaio determinadas pelos itens abaixo, de forma a permitir a reprodutibilidade dos ensaios e obtenção de medidas comparáveis.

#### 1.9.5.1 SUSPENSÃO LIVRE

Esta condição é obtida pela suspensão da máquina por uma mola ou pela montagem desta máquina sobre um suporte elástico (molas, borrachas, etc.). A deformação da base elástica em função da rotação da máquina deve ser no mínimo igual aos valores da tabela 1.9.5.1.1.

A massa efetiva do suporte elástico não deve ser superior a 1/10 daquela da máquina a fim de reduzir a influência a massa e dos momentos de inércia das partes do suporte elástico sobre o nível de vibração medido.

Rotação nominal (rpm)	Deformação da base elástica (mm)
3600	1,0
1800	4,5
1200	10
900	18

Tabela 1.9.5.1.1

#### 1.9.5.2 CHAVETA

Para o balanceamento a medição da severidade de vibração de máquinas com o rasgo de chaveta na ponta de eixo, este rasgo deve ser preenchido com meia chaveta, recortada de maneira a preenchê-lo até a linha divisória entre o eixo e o elemento a ser acoplado.

**Nota:** uma chaveta retangular de comprimento idêntico ao da chaveta utilizada na máquina em funcionamento normal e meia altura normal (que deve ser centrada no rasgo de chaveta a ser utilizado são aceitáveis como práticas alternativas.

#### 1.9.5.3 PONTOS DE MEDIÇÃO

As medições da severidade de vibração devem ser efetuadas sobre os mancais, na proximidade do eixo, em três direções perpendiculares, com a máquina funcionando na posição que ocupa sob condições normais (com eixo horizontal ou vertical).

A localização dos pontos de medição e as direções a que se referem os níveis da severidade de vibração está indicadas na figura 1.90.

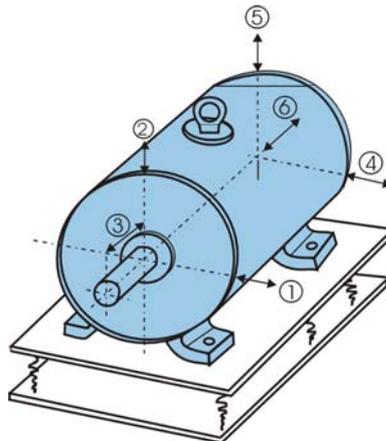


Figura 1.90 – Pontos de medição de vibração

A tabela 1.9.5.3.1 indica valores admissíveis para a máxima velocidade de vibração para as carcaças IEC 60056 a 400, dentro dos graus de balanceamento normal, reduzido e especial.

Balanceamento	Velocidade rpm da máquina	Máximo valor eficaz da velocidade de vibração para a altura H do eixo		
		56 a 132	160 a 225	250 a 400
		mm/s	mm/s	mm/s
N (normal)	600 a 1800	1,8	1,8	2,8
	1800 a 3600	1,8	2,8	4,5
R (reduzida)	600 a 1800	0,71	1,12	1,8
	1800 a 3600	1,12	1,8	2,8
S (especial)	600 a 1800	0,45	0,71	1,12
	1800 a 3600	0,71	1,12	1,8

Tabela 1.9.5.3.1 – Limites recomendados para severidade de vibração, conforme NBR 11390 e IEC 60034-14

#### Notas:

- Para valores de pico multiplicar os valores da tabela por  $\sqrt{2}$ .
- Os valores da tabela acima são válidos para medições realizadas com a máquina a vazio e desacoplada, funcionando na frequência e tensão nominais.
- Para máquinas que giram nos dois sentidos, os valores da tabela se aplicam a ambos os sentidos.
- A tabela acima não se aplica a máquinas montadas no local de instalação (ver ISO 3945 e ISO 2372), motores trifásicos com comutador, motores monofásicos, motores trifásicos com alimentação monofásica ou a máquinas acopladas a suas máquinas de acionamento ou cargas acionadas.

A tabela 1.9.5.3.2 indica os valores para a máxima velocidade de vibração para as carcaças NEMA 42 a 587, com balanceamento normal conforme norma NEMA MGI-7.08 (2007).

Rotação nominal (rpm)	Máximo valor eficaz da velocidade de vibração (mm/s)
3600	2,7
1800	2,7
1200	2,7
900	2,1
720	1,6
600	1,4

Tabela 1.9.5.3.2

*Obs.:* as notas anteriores da tabela 1.9.5.3.1, são também válidas.

## 1.9.6 BALANCEAMENTO

### 1.9.6.1 DEFINIÇÃO

Conforme a NBR 8008, balanceamento é o processo que procura melhorar a distribuição de massa de um corpo, de modo que este gire em seus mancais sem forças de desbalanceamento.

### 1.9.6.2 TIPOS DE BALANCEAMENTO

As principais aplicações por tipo de balanceamento, são apresentadas na tabela 1.9.6.2.1.

Balanceamento	Tipo de máquina
Normal (N)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Máquinas sem requisitos especiais, tais como: máquinas gráficas, laminadores, britadores, bombas centrífugas, máquinas têxteis, transportadores, etc.</li> </ul>
Reduzido (R)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Máquinas de precisão para trabalho sem vibração, tais como: máquinas a serem instaladas sobre fundamento isolado a prova de vibração, mandriladoras e fresadoras de precisão, tornos, furadeiras de coordenadas, etc.</li> </ul>
Especial (S)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Máquinas para trabalho de alta precisão, tais como: retificas, balanceadoras, mandriladora de coordenadas, etc.</li> </ul>

Tabela 1.9.6.2.1 – Tipos de balanceamento

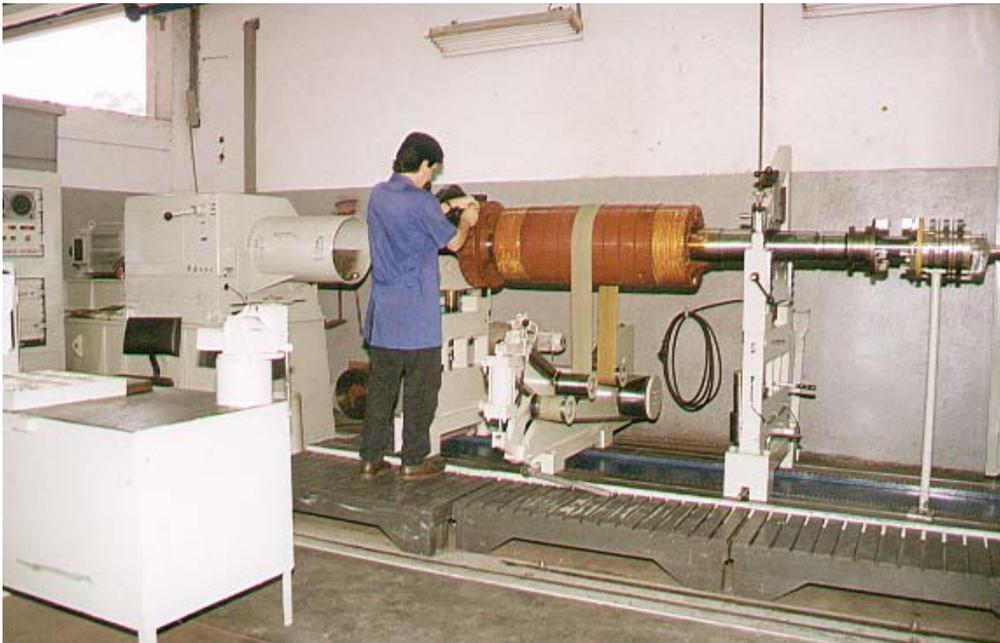


Figura 1.91 – Balanceamento de Alta Tensão



Figura 1.92 – Balanceamento de Baixa Tensão

## **1.9.7 ATERRAMENTO**

### **1.9.7.1 FINALIDADE DO ATERRAMENTO**

O aterramento visa proteger os operadores e as máquinas acionadas, contra possíveis curto-circuitos, entre a parte energizada e a carcaça do motor.

### 1.9.7.2 BITOLAS MÍNIMAS DE CONDUTORES DE ATERRAMENTO

A fixação do condutor de aterramento, é através de parafuso ou conector, identificado no motor por este símbolo (  $\perp$  ).

A resistência de aterramento deve estar de acordo com a NBR 5410.

Potências		II pólos 3600rpm	IV pólos 1800rpm	VI pólos 1200rpm	VIII pólos 900rpm
Cv	kW	Bitola mm <sup>2</sup>	Bitola mm <sup>2</sup>	Bitola mm <sup>2</sup>	Bitola mm <sup>2</sup>
Até 10	Até 7,5	4	4	4	6
12,5	9	6	6	6	6
15	11	6	6	6	6
20	15	10	10	10	10
25	18,5	10	10	10	16
30	22	16	16	16	16
40	30	16	16	16	16
50	37	25	25	25	25
60	45	25	25	25	25
75	55	35	35	35	35
100	75	35	35	35	70
125	90	70	70	70	70
150	110	70	70	70	70
200	150	70	70	70	70
250	185	70	70	70	70
300	220	70	70	70	70
350	250	70	70	70	70
400	275	70	70	70	---
450	330	70	70	70	---
500	365	---	70	---	---

Tabela 1.9.7.2.1

### 1.9.8 ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO

Os elementos de transmissão, tais como, polias, acoplamentos, etc., precisam ser balanceados dinamicamente antes de serem instalados, e devem estar perfeitamente alinhados entre si, conforme figura 1.9.8.1.

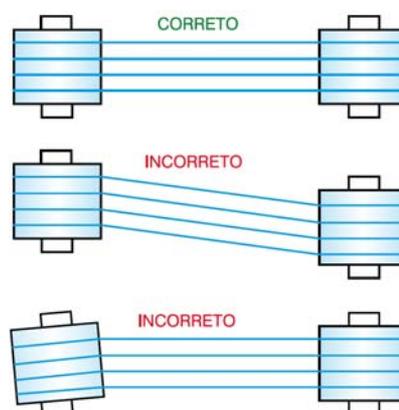


Figura 1.93 – Correto alinhamento das polias

Correias que trabalham lateralmente desalinhadas transmitem batidas de sentido alternante ao rotor, e poderão danificar os encostos do mancal. O escorregamento da correia poderá ser evitado com aplicação de um material resinoso, como o breu, por exemplo.

A tensão na correia deverá ser apenas suficiente para evitar o escorregamento no funcionamento.

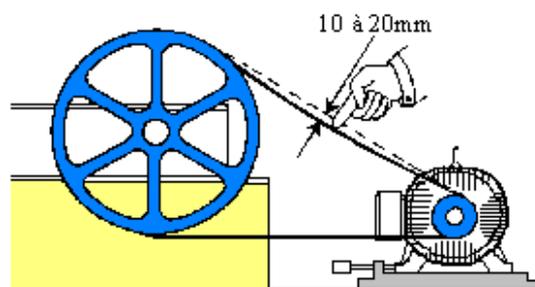


Figura 1.94 – Tensões na correia

Deve ser evitado o uso de polias demasiadamente pequenas; estas provocam flexões do motor devido ao fato que a tração na correia aumenta à medida que diminui o diâmetro da polia.

Quando for utilizado um acoplamento por meio de polias e correias, deve-se observar:

- As correias devem ser esticadas apenas o suficiente para evitar deslizamento no funcionamento;
- diâmetro mínimo das polias não deve ser inferior ao da tabela 1.9.8.1;
- Havendo necessidade de aplicação de pólos com diâmetro menores que as da tabela 1.9.8.1, em outras potências e polaridades, consultar a Rede de Assistência Técnica WEG mais próxima.

DIÂMETRO PRIMITIVO MÍNIMO DE POLIAS							
Carcaça	ROLAMENTO DE ESFERAS						
	Rolamento	MEDIDA X ( mm )					
		20	40	60	80	100	120
63	6201-ZZ	40	---	---	---	---	---
71	6203-ZZ	40	40	---	---	---	---
80	6204-ZZ	40	40	---	---	---	---
90	6205-ZZ	63	71	80	---	---	---
100	6206-ZZ	71	80	90	---	---	---
112	6307-ZZ	71	80	90	---	---	---
132	6308-ZZ	---	100	112	125	---	---
160	6309	---	140	160	180	200	---
180	6311	---	---	160	180	200	224
200	6312	---	---	200	224	250	280

Tabela 1.9.8.1

Carcaça	Pólos	ROLAMENTO DE ESFERAS				
		Rolamento	MEDIDA X ( mm )			
			50	80	110	140
225	II	6314	190	200	212	224
	IV-VI-VIII	6314	250	265	280	300
250	II	6314	224	233	250	265
	IV-VI-VIII	6314	375	400	425	450
280	II	6314	300	315	335	355
	IV-VI-VIII	6316	500	530	560	600
315	II	6314	----	----	----	----
	IV-VI-VIII	6319	----	----	----	----
355	II	6314	310	300	290	285
	IV-VI-VIII	6322	----	----	----	----

Tabela 1.9.8.2

Carcaça	Pólos	ROLAMENTO DE ROLOS						
		Rolamento	MEDIDA X ( mm )					
			50	80	110	140	170	210
225	II	NU 314	50	50	65	80	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 314	77	80	110	136	-----	-----
250	II	NU 314	63	66	69	84	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 314	105	115	145	175	-----	-----
280	II	NU 314	95	100	105	110	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 316	135	140	170	210	-----	-----
315	II	NU 314	170	175	180	185	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 319	-----	170	185	225	285	-----
355	II	NU 314	-----	-----	225	295	340	390
	IV-VI-VIII	NU 322	-----	-----	345	410	455	565

Tabela 1.9.8.3

**Importante:**

- Velocidades periféricas para polias cheias em ferro fundido cinzento FE 20 é  $v=35\text{m/s}$ ;
- Utilizar polias de aço quando a velocidade periférica for maior que 35 m/s;
- Para correias em “V” a velocidade não deve ultrapassar 30 m/s.

### 1.9.8.1 ESFORÇOS AXIAIS E RADIAIS

Os esforços axiais máximos admitidos sobre os mancais dos motores WEG, até a carcaça 355, estão na tabela 1.9.8.1.1.

CARGA MÁXIMA AXIAL ADMISSÍVEL (kgf) – f = 60 Hz																
MOTORES TOTALMENTE FECHADOS IP 55																
Carcaça	POSIÇÃO / FORMA CONSTRUTIVA															
	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII
63	28	37	43	----	28	37	43	----	27	35	42	----	27	35	42	----
71	30	41	48	54	37	50	59	66	29	39	46	53	36	49	57	65
80	36	49	57	65	48	66	77	86	34	46	54	62	47	63	74	84
90	46	63	76	85	50	68	84	94	43	58	72	80	47	64	79	89
100	49	67	81	92	70	95	115	130	44	60	74	85	65	89	109	123
112	69	93	113	130	122	166	201	227	62	84	104	121	116	157	191	218
132	85	118	141	160	145	202	241	271	72	103	123	139	133	186	222	250
160	122	168	192	221	208	280	324	369	97	141	159	192	183	253	291	340
180	----	222	254	287	----	379	439	494	----	186	203	236	----	344	388	445
200	170	225	271	310	319	421	499	566	122	161	208	252	271	355	436	508
225	406	538	632	712	406	538	632	712	340	454	540	620	340	454	540	620
250	397	528	617	696	397	528	617	696	319	425	497	576	319	425	497	576
280	382	608	721	814	382	608	721	814	259	451	541	636	259	451	541	636
315	349	567	675	766	349	567	675	766	161	327	400	493	161	327	400	493
355	318	638	748	846	318	638	748	846	46	215	249	271	46	215	249	271

Tabela 1.9.8.1.1

#### Instruções para utilização dos gráficos:

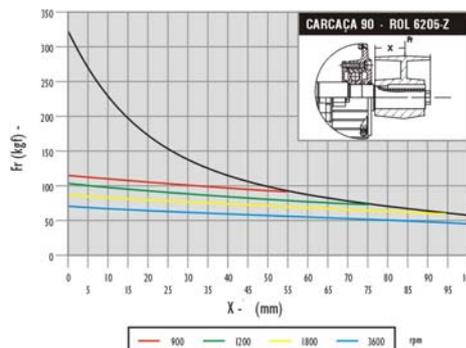


Figura 1.95 – Carcaça 90

- 1 – Carga máxima radial sobre o eixo;
- 2 – Carga máxima radial sobre os rolamentos;

Onde: X – Metade da largura da polia (mm);  
 $F_r$  – Força máxima radial em função do diâmetro e da largura da polia.

**Exemplo:**

Verificar se o motor 4cv, II pólos, 60Hz, suporta um esforço radial de 50kgf, sendo a largura de polia de 100mm.

Carcaça: 90L;  
Fr: 50kgf;  
X: 50mm;

1. Marcar a distância X;
2. Encontrar a linha n=3600 do rolamento:  
Verifica-se que este rolamento suporta uma carga radial de 50kgf.

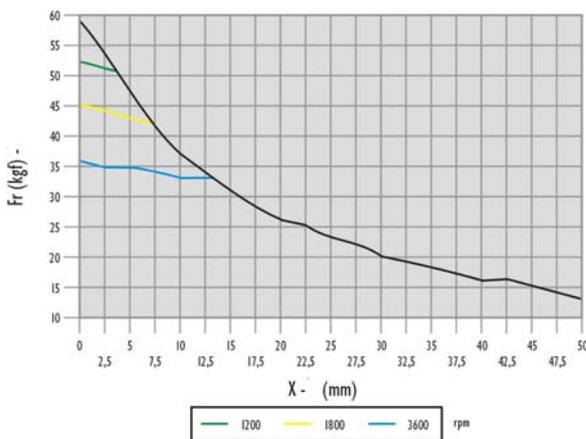


Figura 1.96 – Carcaça 63

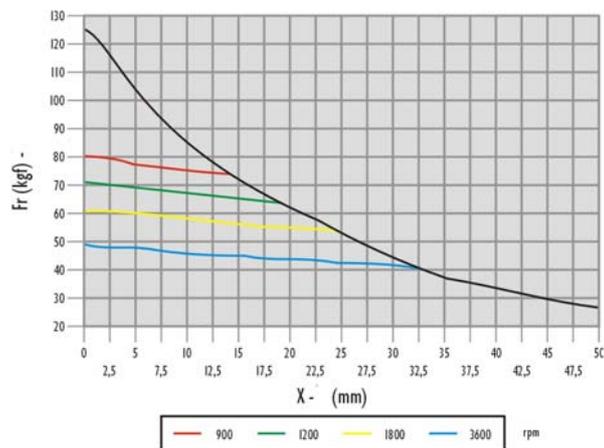


Figura 1.97 – Carcaça 71

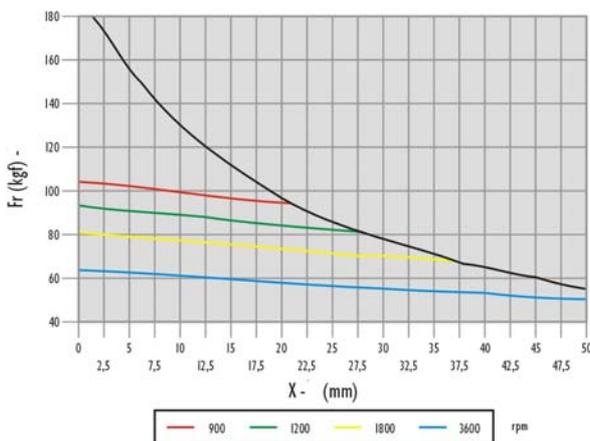


Figura 1.98 – Carcaça 80

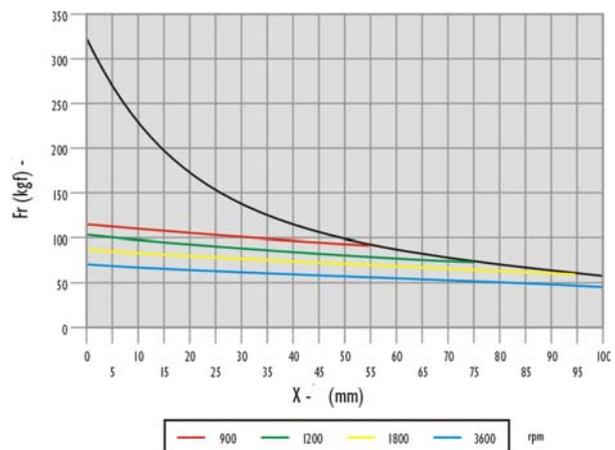


Figura 1.99 – Carcaça 90

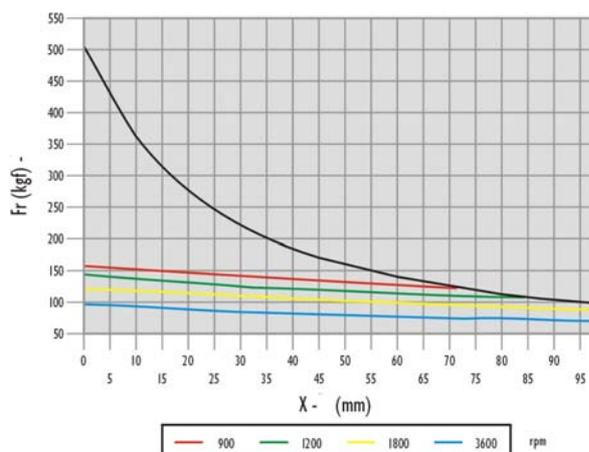


Figura 1.100 – Carcaça 100

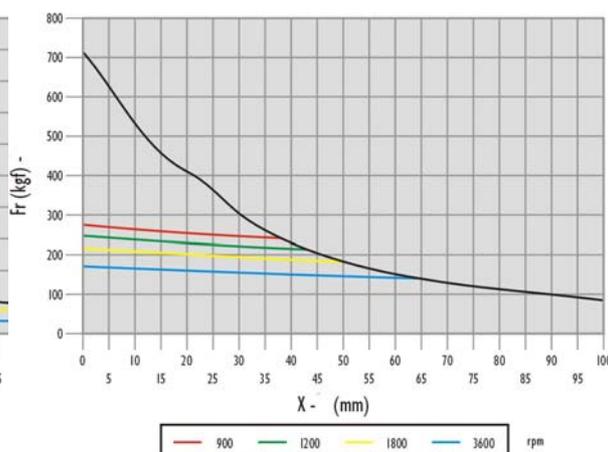


Figura 1.101 – Carcaça 112

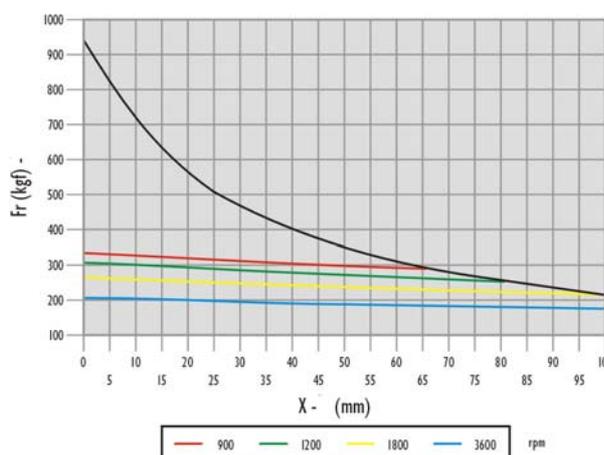


Figura 1.102 – Carcaça 132

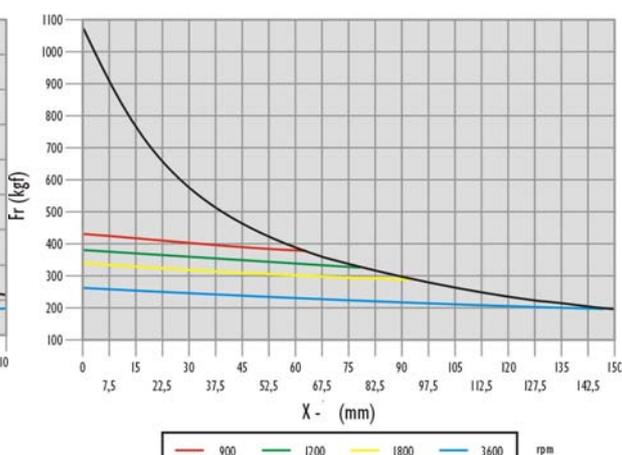


Figura 1.103 – Carcaça 160

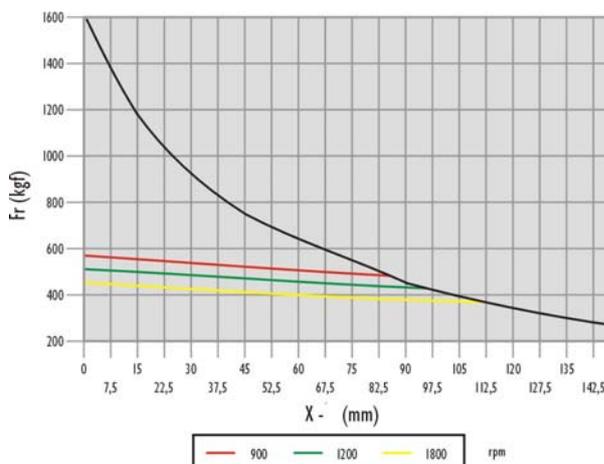


Figura 1.104 – Carcaça 180

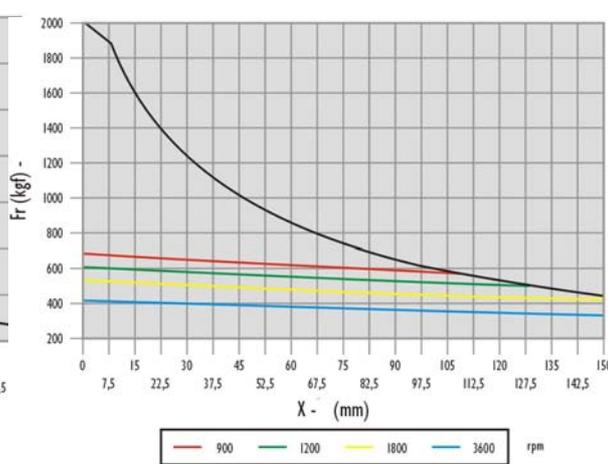


Figura 1.105 – Carcaça 200

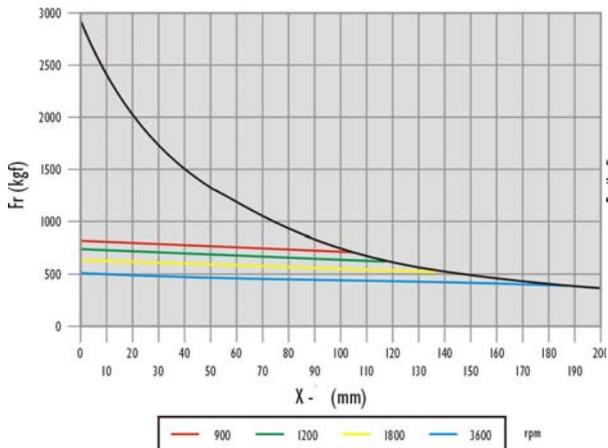


Figura 1.106 – Carcaça 225

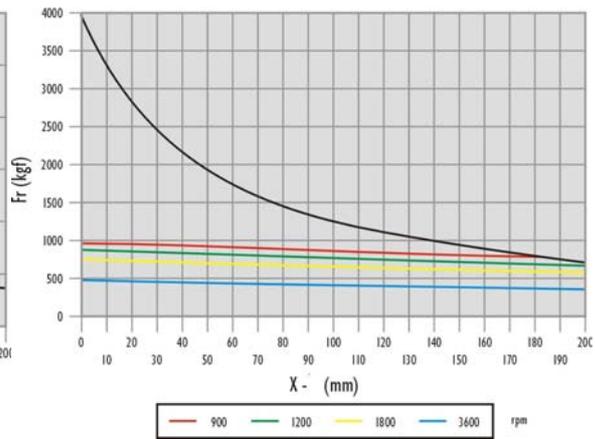


Figura 1.107 – Carcaça 250

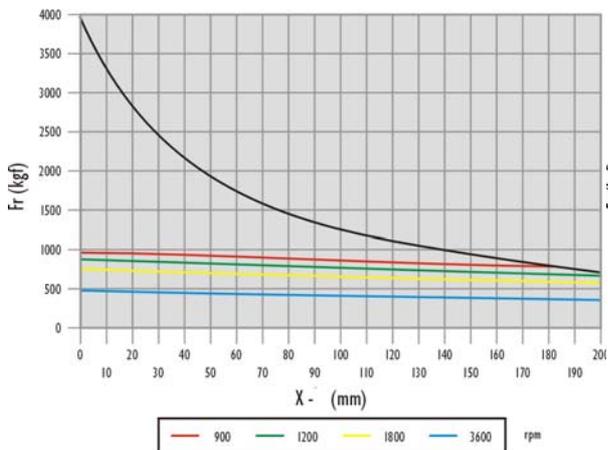


Figura 1.108 – Carcaça 280

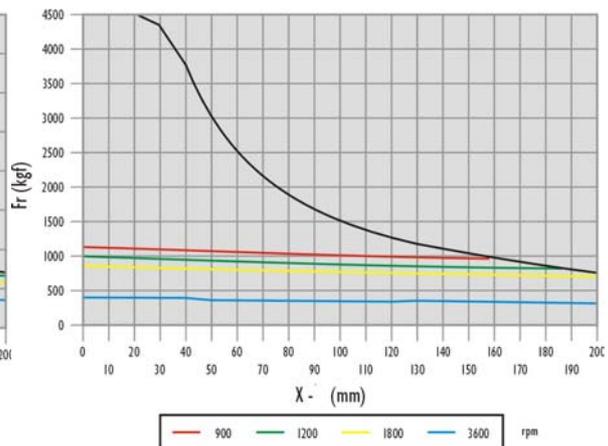


Figura 1.109 – Carcaça 315

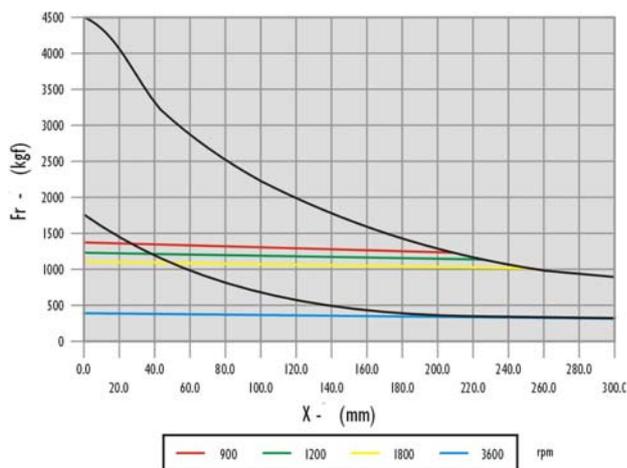


Figura 1.110 – Carcaça 355

### 1.9.8.2 CÁLCULO DA FORÇA RADIAL EM ACOPLAMENTO POR POLIAS E CORREIAS

Para calcular a força radial ( $F_r$ ) imposta ao mancal de um motor elétrico acionado a carga através de polias e correias, utiliza-se a seguinte expressão prática:

$$F_r = \frac{2 \times 716200 \times P(cv)}{D_{pmot} \times n} \times \sqrt{\frac{K^2 \times (1 - \cos \alpha) + 1,21 \times (1 + \cos \alpha)}{2}}$$

$$K = 1,1 \times \left( \frac{e^{\mu \cdot \alpha} + 1}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1} \right) \quad \alpha = \pi - \left( \frac{D_{pmov} - D_{pmot}}{d_{ee}} \right)$$

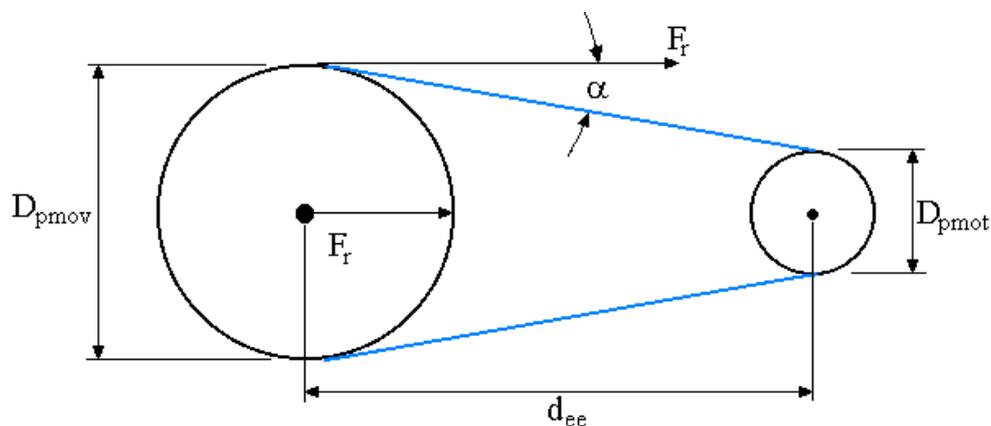


Figura 1.111

Onde:

- $F_r$  – força radial em kgf;
- $P$  – potência em cv;
- $n$  – rotação em rpm;
- $D_{pmot}$  – diâmetro da polia motora em mm;
- $\alpha$  - ângulo de contato na polia em radianos;
- $\mu$  - coeficiente de atrito na polia (0,5 para polias em “V” e 0,17 para polias lisas);
- $D_{pmov}$  – diâmetro da polia movida;
- $d_{ee}$  – distância entre centros (entre polia movida e motora).

### 1.9.9 PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

A placa de identificação contém as informações que determinam as características nominais e de desempenho dos motores que são definidas pela NBR 7094.

#### 1.9.9.1 MOTOR DE ALTA TENSÃO (LINHA WEG MÁQUINAS LTDA.)

A codificação do motor elétrico WEG é expressa na 1ª linha da placa de identificação.

		WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.Á.			
		MÁQUINAS			
NORMA		AVENIDA PREFEITO WALDEMAR GRUBBA, 3000			
		89256-900 JARAGUÁ DO SUL - SC			
R		CNPJ - 07.175.725/0010-50			
		INDÚSTRIA BRASILEIRA			
MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO		ROTOR		<input checked="" type="checkbox"/> GAIOLA	<input type="checkbox"/> ANÉIS
MOD MGD710	Nr. 168151 e 168152	IP/IN 6	RUIDO 82 dB(A)	Refrig. IC 01	
kW 4048	PRIMÁRIO		FS 1.00	Mancal L.A. 23040 CC W33 CS	
5500 cv	V 13200	A 206.2	LIG Y	Lubrificante OLEO ISO VG-46	
rpm 1185	V	A	LIG	AMB 40 °C	Mancal L.O.A. NU236 CS
Hz 60	V	A	LIG	ALT 1000 m	Lubrificante OLEO ISO VG-46
CAT	SECUNDÁRIO		ΔT 80 °C	Sentido de rotação visto da ponta do eixo	
REG S1	V	A	LIG	IP 24	Horário
ISOL F	RENDIMENTO %	98.5 %	100%	98.2 %	75%
				MASSA 14.5 ton	Anti-Horário
					Âmbos
⚠ ATENÇÃO		ANTES DA INSTALAÇÃO OU OPERAÇÃO, LER ATENTAMENTE AS INSTRUÇÕES DO MANUAL DE INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO			

Figura 112

#### 1.9.9.2 MOTOR DE BAIXA TENSÃO (LINHA WEG MOTORES LTDA.)

		ALTO <i>Plus</i> RENDIMENTO			
~ 3 132S		25MAR04		BM20035	
MOTOR INDUÇÃO - GAIOLA		Hz	60	CAT	N
INDUCTION MOTOR - SQUIRREL CAGE		kW(HP-cv)	7.5(10)	RPM min <sup>-1</sup>	1760
FS 1.15	ISOL INSL B Δ† K	ip/in	7.8	IP55	
220/380/440 V		26.4/15.3/13.2 A			
REG DUTY S1	MAX AMB 40°C		ALT 1000 m		
REND.%= 91.0	COS φ= 0.82	SFA			
Y - ONLY START / SOMENTE PARTIDA					
→ 6308-ZZ → 6207-ZZ		MOBIL POLYREX EM		64 Kg	
00293					
REGULAMENTO - RESP/004-MOT RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA APROVADOS PELO INMETRO					

Figura 113

## **1.10 SELEÇÃO E APLICAÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS**

Na engenharia de aplicação de motores é comum e, em muitos casos práticos, comparar as exigências da carga com as características do motor.

Existem muitas aplicações que podem ser corretamente acionadas por mais de um tipo de motor, e a seleção de um determinado tipo, nem sempre exclui o uso de outros tipos.

Com o advento do computador, o cálculo pode ser aprimorado, obtendo-se resultados precisos que resultam em máquinas dimensionadas de maneira mais econômica.

Os motores de indução WEG, de gaiola ou de anel, de baixa e média tensão, encontram vasto campo de aplicação, notadamente nos setores de siderurgia, mineração, papel e celulose, saneamento, químico e petroquímico, cimento entre outros, tornando-se cada vez mais importante a seleção do tipo adequado para cada aplicação.

A seleção do tipo adequado de motor, com respeito ao tipo, conjugado, fator de potência, rendimento e elevação de temperatura, isolamento, tensão e grau de proteção mecânica, somente pode ser feita, após uma análise cuidadosa, considerando parâmetros como: custo inicial, capacidade da rede, necessidade da correção do fator de potência, conjugados requeridos, efeito da inércia da carga, necessidade ou não de regulação de velocidade, exposição da máquina em ambientes úmidos, poluídos e/ou agressivos.

O motor assíncrono de gaiola é o mais empregado em qualquer aplicação industrial, devido a sua construção robusta e simples, além de ter a solução mais econômica, tanto em termos de motores como de comando e proteção. O meio mais adequado na atualidade para reduzir os gastos de energia é usar motores WEG da linha Alto Rendimento Plus. Está comprovado, por testes, que estes motores especiais têm até 30% a menos de perdas, o que significa uma real economia. Estes motores são projetados e construídos com a mais alta tecnologia, com o objetivo de reduzir perdas e incrementar o rendimento. Isto proporciona baixo consumo de energia e menor despesa. São os mais adequados nas aplicações com variação de tensão. São testados de acordo com a norma NBR 5383 e seus valores de rendimento certificados e estampados na placa de identificação do motor. A técnica de ensaio é o método B da IEEE 112. Os valores de rendimento são obtidos através do método de separação de perdas de acordo com a NBR 5383-128. Os motores de alto rendimento, série Plus, são padronizados conforme as normas IEC, mantendo a relação potência/carcaça, sendo portanto, intercambiáveis com todos os motores normalizados existentes no mercado. Embora de custo mais elevado que o motor de gaiola, aplicação de motores de anéis, é necessária para partidas pesadas (elevada inércia), acionamento de velocidade ajustável ou quando é necessário limitar a corrente de partida mantendo um alto conjugado de partida.

Tipo	Motor de indução de gaiola	Motor de indução de anéis
Projeto	Rotor não bobinado	Rotor bobinado
Corrente de partida	Alta	Baixa
Conjugado de partida	Baixo	Alto
Corrente de partida/ Corrente nominal	Alta	Baixa
Conjugado máximo	> 160% do conjugado nominal	> 160% do conjugado nominal
Rendimento	Alto	Alto
Equipamento de partida	Simple para partida direta	Relativamente simples
Equipamento de proteção	Simple	Simple
Espaço requerido	Pequeno	Reostato requer um espaço grande
Manutenção	Pequena	Nos anéis - freqüente
Custo	Baixo	Alto

Tabela 1.10.1 – Comparação entre diferentes tipos de máquinas.

Na seleção correta dos motores, é importante considerar as características técnicas de aplicação e as características de carga, no que se refere a aspetos mecânicos para calcular:

**a) Conjugado de partida:**

Conjugado requerido para vencer a inércia estática da máquina e produzir movimento. Para que uma carga, partindo da velocidade zero, atinja a sua velocidade nominal é necessário que o conjugado do motor seja sempre superior ao conjugado da carga.

**b) Conjugado de aceleração:**

Conjugado necessário para acelerar a carga à velocidade nominal. O conjugado do motor deve ser sempre maior que o conjugado de carga, em todos os pontos entre zero e a rotação nominal. No ponto de interseção das duas curvas, o conjugado de aceleração é nulo, ou seja, é atingido o ponto de equilíbrio a partir do qual a velocidade permanece constante. Este ponto de interseção entre as duas curvas deve corresponder a velocidade nominal.

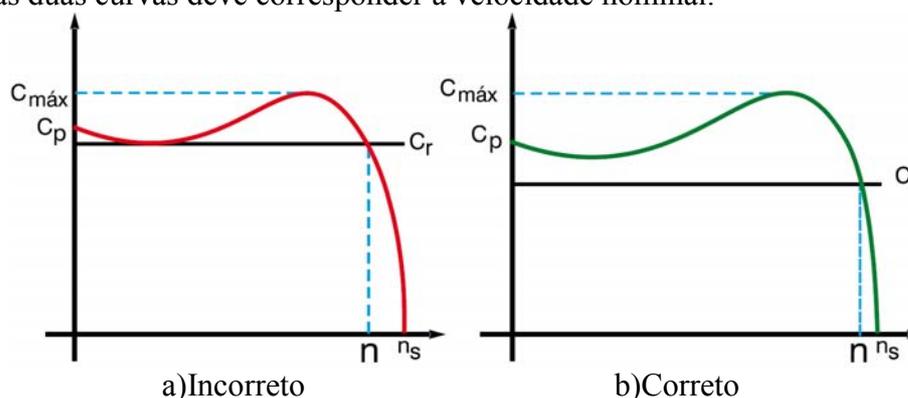


Figura 1.114 – Seleção de motor considerando o conjugado resistente da carga.

Onde:

- $C_{m\acute{a}x}$  – conjugado máximo;
- $C_p$  – conjugado de partida;
- $C_r$  – conjugado resistente;
- $n_s$  – rotação síncrona;
- $n$  – rotação nominal.

O conjugado de aceleração assume valores bastante diferentes na fase de partida. O conjugado médio de aceleração ( $C_a$ ) obtém-se a partir da diferença entre o conjugado do motor e o conjugado da carga.

**c) Conjugado Nominal:**

Conjugado nominal necessário para mover a carga em condições de funcionamento à velocidade específica.

O conjugado requerido para o funcionamento normal de uma máquina pode ser constante ou varia entre amplos limites. Para conjugados variáveis, o conjugado máximo deve ser suficiente para suportar picos momentâneos de carga. As características de funcionamento de uma máquina, quanto ao conjugado, podem dividir-se em três classes:

**Conjugado Constante**

Nas máquinas deste tipo, o conjugado permanece constante durante a variação da velocidade e a potência aumenta proporcionalmente com a velocidade.

\_\_\_\_\_ conjugado requerido pela máquina  
 ..... potência requerida pela máquina

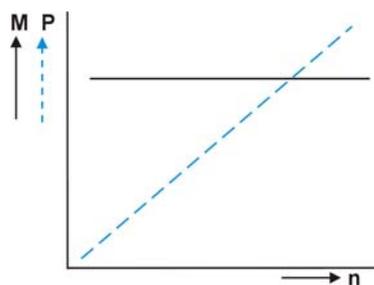


Figura 1.115

Onde: M – conjugado resistente: constante;  
 P – potência proporcional ao número de rotações (n).

**Conjugado Variável**

Encontram-se casos de conjugado variável nas bombas, nos ventiladores, em que o conjugado varia com o quadrado da velocidade.

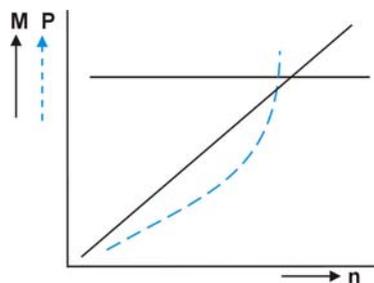


Figura 1.116

Onde: M – conjugado resistente: proporcional ao número de rotações (n);  
 P – potência proporcional ao número de rotações ao quadrado ( $n^2$ ).

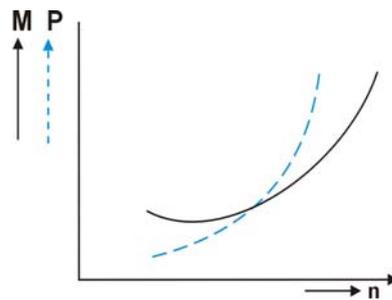


Figura 1.117

Onde: M – conjugado resistente: proporcional ao número de rotações ao quadrado ( $n^2$ );  
P – potência proporcional ao número de rotações ao cubo ( $n^3$ ).

### **Potência Constante**

As aplicações de potência constante requerem uma potência igual à nominal para qualquer velocidade.

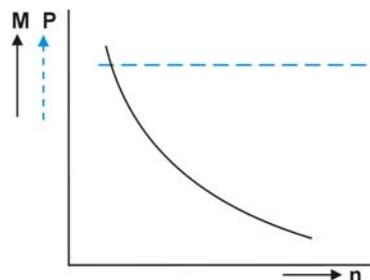


Figura 1.118

Onde: M – conjugado resistente: inversamente proporcional ao número de rotações ( $n$ );  
P – potência constante.

Para correta especificação do motor, são necessárias as seguintes informações na consulta:

#### **Características da rede de alimentação**

- a) Tensão de alimentação do motor (e dos aquecedores internos, quando necessários);
- b) Frequência nominal em Hz;
- c) Método de partida (quando esta informação não for fornecida, será considerado como partida direta).

#### **Características do ambiente**

- a) Altitude;
- b) Temperatura ambiente;
- c) Atmosfera ambiente.

***Características construtivas***

- a) Forma construtiva;
- b) Potência em kW, velocidade em rpm;
- c) Fator de serviço;
- d) Potência térmica;
- e) Sentido de rotação (horário ou anti-horário, olhando-se pelo lado do acionamento).

***Característica da carga***

- a) Momento de inércia da máquina acionada e a que rotação está referida;
- b) Curva de conjugado resistente;
- c) Dados de transmissão;
- d) Cargas axiais e seu sentido, quando existentes;
- e) Cargas radiais e seu sentido, quando existentes;
- f) Regime de funcionamento da carga (número de partidas/hora).

Em resumo, a correta seleção do motor implica que o mesmo satisfaça às exigências requeridas pela aplicação específica. Sob este aspecto o motor deve, basicamente, ser capaz de:

- Acelerar a carga em tempo suficientemente curto para que o aquecimento não venha a danificar as características físicas dos materiais isolantes;
- Funcionar no regime especificado sem que a temperatura de sua diversas partes ultrapasse a classe do isolante, ou que o ambiente possa vir a provocar a destruição do mesmo;
- Sob o ponto de vista econômico, funcionar com valores de rendimento e fator de potência dentro da faixa ótima para a qual foi projetado.

### 1.10.1 GUIA DE SELEÇÃO DO TIPO DE MOTOR PARA DIFERENTES CARGAS

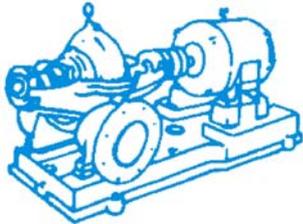
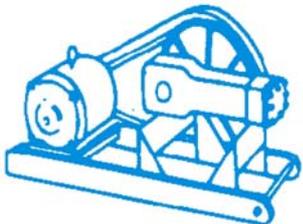
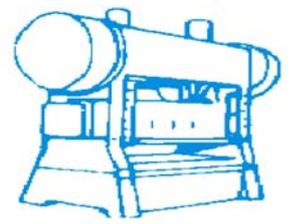
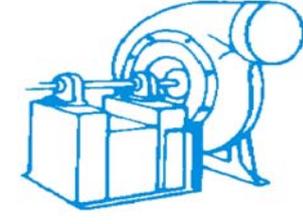
Tipo de carga	Conjugado requerido		Características da carga	Tipo de motor usado
	Partida	Máximo		
 <p>Bombas centrífugas; ventiladores; furadeiras; compressores; retificadoras; trituradoras.</p>	Entre 1 e 1,5 vezes o conjugado nominal	Valores máximos entre 220% e 250% do nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condições de partidas fáceis tais como: engrenagens intermediárias, baixa inércia ou uso de acoplamentos especiais, simplificam a partida.</li> <li>Máquinas centrífugas, tais como bombas onde o conjugado aumenta em função do quadrado da velocidade até um máximo, conseguindo na velocidade nominal.</li> <li>Na velocidade nominal pode estar sujeita a pequenas sobrecargas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conjugado normal</li> <li>Corrente de partida normal</li> <li>Categoria N</li> </ul>
 <p>Bombas alternativas; compressores; carregadores; alimentadores; laminadores de barras.</p>	Entre 2 e 3 vezes o conjugado nominal	Não maior que 2 vezes o conjugado nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conjugado de partida alto para vencer a elevada inércia, contra pressão, atrito de parada, rigidez nos processos de materiais ou condições mecânicas similares.</li> <li>Durante a aceleração, o conjugado exigido cai para o valor do conjugado nominal.</li> <li>É desaconselhável, sujeitar o motor à sobrecargas, durante a velocidade nominal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conjugado de partida alto</li> <li>Corrente de partida normal</li> <li>Categoria N</li> </ul>
 <p>Prensas puncionadoras; guindastes; pontes rolantes; elevadores de talha; tesouras mecânicas; bombas de óleo para poços</p>	3 vezes o conjugado nominal	Requer 2 a 3 vezes o conjugado nominal. São consideradas perdas durante os picos de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cargas intermitentes, as quais requerem conjugado de partida, alto ou baixo. Requerem partidas freqüentes, paradas e reversões.</li> <li>Máquinas acionadas, tais como: prensas puncionadoras, que podem usar volante para suportar os picos de potência.</li> <li>Pequena regulação é conveniente para amenizar os picos de potências e reduzir os esforços mecânicos no equipamento acionado.</li> <li>A alimentação precisa ser protegida dos picos de potências, resultantes das flutuações de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conjugado de partida alto</li> <li>Corrente de partida normal</li> <li>Alto escorregamento</li> <li>Categoria D</li> </ul>
 <p>Ventiladores; máquinas-ferramentas; misturadores; transportadores.</p>	Algumas vezes precisa-se somente de parte do conjugado nominal; e outras muitas vezes, o conjugado nominal.	1 ou 2 vezes o conjugado nominal em cada velocidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Duas, três ou quatro velocidades fixas são suficientes</li> <li>Não é necessário o ajuste de velocidade</li> <li>Conjugado de partida pode ser pequeno (ventiladores) ou alto (transportadores)</li> <li>As características de funcionamento em várias velocidades, podem variar entre potência constante, conjugado constante ou características de conjugado variável</li> <li>Máquinas de cortar metal tem potência constante; cargas de atrito são típicas de conjugado constante; ventiladores são de conjugado variável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conjugado normal ou alto (velocidades múltiplas)</li> </ul>

Tabela 1.10.1.1

## **1.11 ENSAIOS**

A finalidade deste capítulo é definir os ensaios que podem ser realizados por solicitação de clientes, com ou sem presença de inspetor.

São agrupados em Ensaio de Rotina, Tipo, Protótipo e Especial, conforme definidos pela norma NBR 7094. Para a realização destes ensaios, deve ser seguida a NBR 5383, que define os procedimentos a serem seguidos para a execução dos ensaios.

A seguir são listados os ensaios de rotina e tipo, protótipo e especial. Outros ensaios não citados, podem ser realizados pelo fabricante, desde que exista um acordo entre as partes interessadas.

### **1.11.1 ENSAIOS DE ROTINA**

- Ensaio de resistência elétrica, a frio;
- Ensaio em vazio. Medição da corrente e potência absorvida com tensão nominal;
- Ensaio com rotor bloqueado. Medição da corrente e potência consumida e, conjugado em tensão nominal ou reduzida (caso não seja possível com a nominal);
- Ensaio de tensão secundária para motores com rotor enrolado.
- Ensaio de tensão suportável.

### **1.11.2 ENSAIOS DE TIPO**

- Ensaio de resistência elétrica, a frio;
- Ensaio em vazio. Medição da corrente e potência absorvida com tensão nominal;
- Ensaio com rotor bloqueado. Medição da corrente e potência consumida e, conjugado em tensão nominal ou reduzida (caso não seja possível com a nominal);
- Ensaio de tensão secundária para motores com rotor enrolado;
- Ensaio de elevação de temperatura;
- Ensaio da resistência elétrica, a quente;
- Ensaio relativos a potência fornecida. Medição do rendimento, fator de potência, corrente e velocidade com 50%, 75% e 100% da potência nominal;
- Ensaio de conjugado máximo em tensão nominal ou reduzida (caso não seja possível com a nominal);
- Ensaio de tensão suportável.

### **1.11.3 ENSAIOS ESPECIAIS**

- Ensaio com rotor bloqueado. Levantamento das curvas características da corrente e potência consumida e, conjugado em função da tensão;
- Ensaio de partida. Levantamento das curvas características de conjugado e corrente em função da velocidade. A tensão deve ser nominal ou reduzida (caso não seja possível com a nominal);
- Ensaio de sobrevelocidade;
- Ensaio de nível de ruído;
- Ensaio de tensão no eixo;
- Ensaio de vibração.

### **1.11.4 LABORATÓRIO DE ENSAIOS DA WEG MÁQUINAS PARA MOTORES DE ALTA TENSÃO**

Segue listadas abaixo algumas características do laboratório de ensaios da WEG Máquinas para motores de alta tensão:

- Tensão de teste: 220V a 15kV;
- Frequência: 30 a 60Hz;
- Potência: 10.000 kW;
- Potência plena carga horizontal: 5000 kW;
- Potência plena carga vertical: 1500 kW;
- Rotação: 300 a 3600rpm;
- Emissão de relatórios de ensaios via computador, de forma rápida e precisa;
- Equipamentos de software de última geração;
- Regulador de fator de potência;
- Recuperação de energia (cerca de 75%).



Figura 1.118 – Parte de potência do laboratório de alta tensão



Figura 1.120 – Ensaio de um motor da linha “M” de alta tensão

## 2 ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

### 2.1 POTÊNCIA NOMINAL

Quando deseja-se escolher um motor para acionar uma determinada carga, é preciso conhecer o conjugado requerido pela carga e a rotação que esta carga deve ter em condições nominais. Conhecendo-se também o tipo de acoplamento é possível saber qual é a rotação nominal do motor.

Portanto a potência nominal do motor é dada por:

$$P_n = 2 \cdot \pi \cdot n_N \cdot C_n \quad (2.1.1)$$

Onde:  $P_n$  = Potência nominal do motor em Watt;  
 $C_n$  = Conjugado nominal do motor em Nm;  
 $n_N$  = Rotação nominal do motor em rps.

Na equação (2.1.1) considerou-se que o conjugado requerido pela carga é igual ao conjugado nominal do motor. Esta consideração só é verdadeira para acoplamento direto.

Quando o acoplamento for com redução de velocidade, o conjugado requerido pela carga deve ser referido ao eixo do motor, da seguinte maneira:

$$C_n = \frac{1}{\eta_{ac}} \times \frac{n_C}{n_N} \times C_{cn} \quad (2.1.2)$$

Onde:  $n_C$  = Rotação da carga em rps;  
 $C_{cn}$  = Conjugado de carga nominal, dado em Nm;  
 $\eta_{ac}$  = Rendimento do acoplamento;  
 $n_N$  = Rotação nominal do motor em rps.

O rendimento do acoplamento é definido por:

$$\eta_{ac} = \frac{P_c}{P_n} \quad (2.1.3)$$

Onde:  $P_c$  = Potência transmitida a carga em Watt;  
 $P_n$  = Potência nominal do motor em Watt.

Na tabela 2.1.1, pode-se observar o rendimento de alguns tipos de acoplamentos mais utilizados.

TIPO DE ACOPLAMENTO	FAIXA DE RENDIMENTO (%)
Direto	100
Embreagem Eletromagnética	87 - 98
Polia com Correia Plana	95 - 98
Polia com Correia em V	97 - 99
Engrenagem	96 - 99
Roda Dentada (Correia)	97 - 98
Cardã	25 - 100
Acoplamento Hidráulico	100

Tabela 2.1.1 - Rendimento de acoplamentos.

**Obs.:** Potência normalmente é expressa em kW, que é um múltiplo do Watt.

Portanto : 1 kW = 1000 W.

Uma outra unidade de potência muito utilizada na prática é o Cavalo Vapor (cv). A relação entre cv e kW é mostrado abaixo:

$$1 \text{ cv} = 0,736 \text{ kW}$$

**Exemplo:** Qual a potência que um motor de IV pólos 60 Hz deve ter para acionar uma carga com conjugado de 4 Nm, rotação de 1200 rpm e acoplamento por correia dentada ?

$$P_n = 2 \cdot \pi \cdot n_N \cdot C_n$$

$$C_n = \frac{1}{\eta_{ac}} \times \frac{n_C}{n_N} \times C_{cn}$$

$$1 \text{ rps} = \frac{1 \text{ rpm}}{60} ; C_{cn} = 4 \text{ Nm}; n_C = 1200 \text{ rpm}; n_N = 1800 \text{ rpm}; \eta_{ac} = 97 - 98\%$$

$$C_n = \frac{1}{0,97} \times \frac{1200}{1800} \times 4 \qquad C_n = 2,75 \text{ Nm}$$

$$P_n = 2\pi \times \frac{1800}{60} \times 2,75 \qquad P_n = 518,36 \text{ W} = 0,518 \text{ kW} \text{ ou } 0,70 \text{ cv}$$

## 2.2 CONJUGADO RESISTENTE DA CARGA

É o conjugado requerido pela carga, e portanto, depende do tipo de carga a ser acionada pelo motor. Porém todos podem ser representados pela expressão:

$$C_c = C_0 + k_c \cdot n^x \quad (2.2.1)$$

Onde :  
 $C_c$  = Conjugado resistente da carga em Nm;  
 $C_0$  = Conjugado da carga para rotação zero em Nm;  
 $k_c$  = Constante que depende da carga;  
 $x$  = Parâmetro dependente da carga, pode assumir os valores -1, 0, 1, 2.

De acordo com a equação (2.2.1) percebe-se que o conjugado da carga varia com a rotação  $n$ . Esta variação depende do parâmetro  $x$ , e assim as cargas podem ser classificadas em quatro grupos:

### 2.2.1 CONJUGADO CONSTANTE

Para este tipo de carga o parâmetro  $x$  é zero ( $x = 0$ ). Portanto:

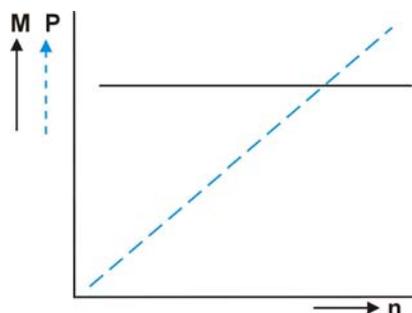
$$C_c = (C_0 + k_c) = \text{Constante} \quad (2.2.1.1)$$

Nas máquinas deste tipo, o conjugado permanece constante durante a variação de velocidade e a potência aumenta proporcionalmente com a velocidade. Logo:

$$P_c = (C_0 + k_c) \times n \quad (2.2.1.2)$$

Onde :  
 $k_c$  = Constante que depende da carga;  
 $P_c$  = Potência de carga.

Este caso é mostrado na figura 2.1.



$M$  = Conjugado resistente da carga – Constante  
 $P$  = Potência proporcional ao número de rotações

Figura 2.1

Exemplos de cargas com conjugados constantes:

- Compressores a pistão;
- Talhas;
- Guindastes;
- Bombas a pistão;
- Britadores;
- Transportadores contínuos.

### 2.2.2 CONJUGADO LINEAR

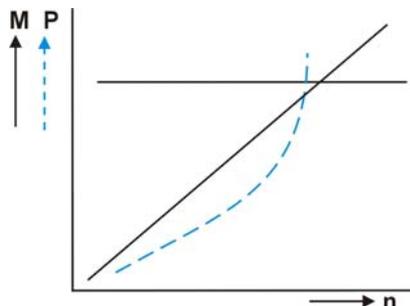
Neste grupo o parâmetro  $x$  é igual a 1 ( $x = 1$ ). Então:

$$C_c = C_0 + (k_c \times n) = \text{Linear} \quad (2.2.2.1)$$

Nestes tipos de máquinas o conjugado varia linearmente com a rotação; já a potência, varia com o quadrado da rotação. Portanto:

$$P_c = (C_0 \times n) + (k_c \times n^2) \quad (2.2.2.2)$$

A figura 2.2 mostra este caso.



M = Conjugado resistente de carga proporcional a n

P = Potência proporcional a  $n^2$

Figura 2.2

Exemplos de cargas com conjugado linear:

- Calandra com atrito viscoso (para calandrar papel).

*Obs.:* Aplicação muito rara.

### 2.2.3 CONJUGADO QUADRÁTICO

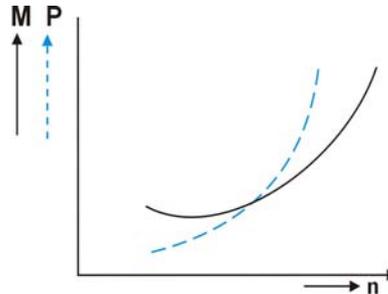
Neste caso tem-se  $x = 2$  e o conjugado é dado por:

$$C_c = C_0 + (k_c \times n^2) = \text{Parabólico} \quad (2.2.3.1)$$

Neste caso o conjugado varia com o quadrado da rotação e a potência com o cubo da rotação. Logo:

$$P_c = (C_0 \times n) + (k_c \times n^3) \quad (2.2.3.2)$$

A figura 2.3 mostra este caso.



M = Conjugado resistente de carga proporcional a  $n^2$   
P = Potência proporcional a  $n^3$

Figura 2.3

Exemplos de cargas com conjugado quadrático:

- Bombas centrífugas;
- Ventiladores;
- Misturadores centrífugos.

#### 2.2.4 CONJUGADO HIPERBÓLICO

Neste caso temos  $x = -1$ , e o conjugado é dado por:

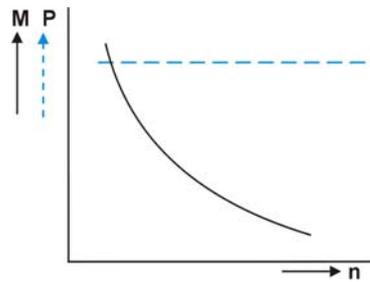
$$C_c = \frac{k_c}{n} = \text{Hiperbólico} \quad (2.2.4.1)$$

Neste tipo de carga a constante  $C_0$  pode ser considerado nulo. Pela expressão (2.2.4.1) percebe-se que para  $n = 0$ , o conjugado seria infinito, o que não tem sentido físico. Este fato na prática não acontece porque a rotação da máquina só pode variar entre um limite mínimo ( $n_1$ ) e máximo ( $n_2$ ).

A potência neste caso permanece constante, isto é, não varia com a rotação, ou seja:

$$P_c = k_c = \text{Constante} \quad (2.2.4.2)$$

A figura 2.4 mostra este caso.



$M$  = Conjugado resistente de carga proporcional a  $n^{-1}$

$P$  = Potência de carga constante

Figura 2.4

Exemplos de cargas com conjugado hiperbólico:

- Bobinadeira de papel (normalmente usa-se motor CC);
- Bobinadeira de pano (normalmente usa-se motor CC);
- Descascador de toras;
- Tornos (análise feita com conjugado constante com elevado número de manobras, em geral motores de dupla velocidade);
- Bobinadeira de fios.

### 2.2.5 CONJUGADOS NÃO DEFINIDOS

Neste caso não se aplica a equação (2.2.1), pois não pode-se determinar sua equação de maneira precisa, logo tem-se que determinar o seu conjugado utilizando técnicas de integração gráfica. Na prática, analisa-se como conjugado constante, pelo máximo valor de torque absorvido.

A figura 2.5 mostra este tipo:

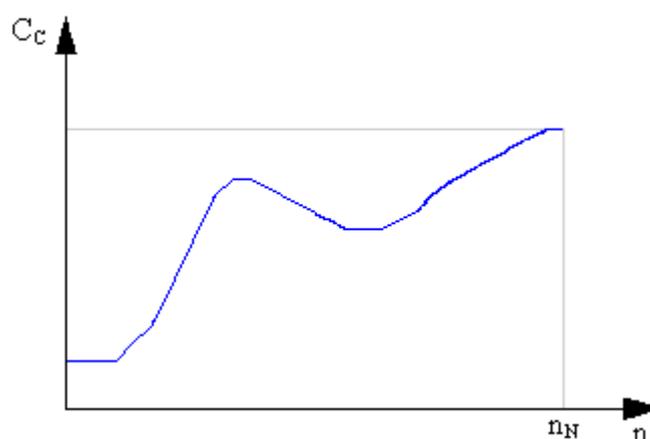


Figura 2.5

### 2.3 CONJUGADO RESISTENTE MÉDIO DA CARGA

Conhecendo-se a curva do conjugado da carga é possível determinar o conjugado médio. O conhecimento do conjugado médio é importante no cálculo do tempo de aceleração.

Na figura 2.6 está mostrado uma curva de conjugado e o conjugado médio da carga.

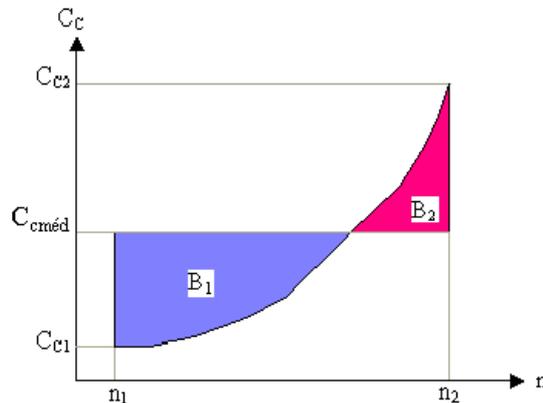


Figura 2.6 – Curva de Conjugados de Cargas

O conjugado médio da carga pode ser obtido graficamente, bastando que se observe que a área B<sub>1</sub> seja igual a área B<sub>2</sub>.

Analiticamente o conjugado médio da carga pode ser calculado como segue:

O conjugado da carga é dado pela expressão (2.2.1), ou seja:

$$C_c = C_0 + (k_c \times n^x) \quad (2.3.1)$$

Para  $x = 0, 1, 2$  o conjugado médio pode ser calculado como:

$$C_{cméd} = \frac{1}{n_2 - n_1} \int_{n_1}^{n_2} C_c \cdot dn$$

$$C_{cméd} = \frac{1}{n_2 - n_1} \int_{n_1}^{n_2} (C_0 + k_c \times n^x) \cdot dn$$

$$C_{cméd} = \frac{1}{n_2 - n_1} \left( (C_0 \times n) + \left( \frac{1}{x+1} \times k_c \times n^{x+1} \right) \right) \Bigg|_{n_1}^{n_2}$$

$$C_{cméd} = C_0 + \left( k_c \times \left( \frac{n_2^{x+1} - n_1^{x+1}}{n_2 - n_1} \right) \times \frac{1}{x+1} \right) \quad (2.3.2)$$

Quando a carga parte do REPOUSO, tem-se  $n_1 = 0$ , logo:

$$C_{cméd} = C_0 + \left( k_c \times \frac{n_2^x}{x+1} \right) \quad (2.3.3)$$

Portanto, tem-se:

1) Para cargas de conjugado constante ( $x = 0$ );

$$C_{cméd} = C_0 + k_c = \text{Constante} \quad (2.3.4)$$

2) Para cargas de conjugado linear ( $x = 1$ );

$$C_{cméd} = C_0 + \left( \frac{1}{2} \times k_c \times n_2 \right) \quad (2.3.5)$$

3) Para cargas de conjugado quadrático ( $x = 2$ );

$$C_{cméd} = C_0 + \left( \frac{1}{3} \times k_c \times n_2^2 \right) \quad (2.3.6)$$

4) Para cargas de conjugado hiperbólico ( $x = -1$ );

Neste caso o conjugado é dado pela expressão (2.3.8), ou seja:

$$C_c = \frac{k_c}{n} \quad (2.3.7)$$

Supondo que a rotação da carga varia entre  $n_1$  e  $n_2$ , figura 2.7, o conjugado médio de carga é dado por:

$$C_{cméd} = \frac{1}{n_2 - n_1} \int_{n_1}^{n_2} \frac{k_c}{n} .dn$$

$$C_{cméd} = \frac{k_c}{n_2 - n_1} \times \ln \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3.8)$$

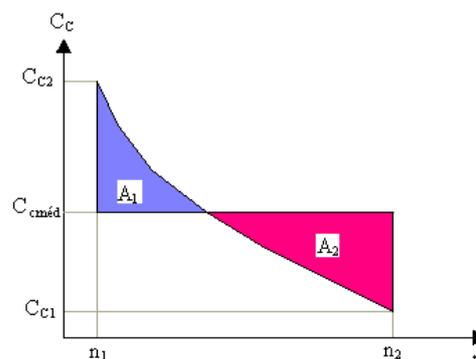


Figura 2.7 – Conjugado resistente médio para  $x = -1$

## 2.4 MOMENTO DE INÉRCIA DA CARGA

O momento de inércia da carga acionada é uma das características fundamentais para o estudo da aplicação do motor elétrico. Tanto o momento do motor como da carga afetam o tempo de aceleração do motor. O momento de inércia é a grandeza que mede a "resistência" que um corpo oferece à uma mudança em seu movimento de rotação em torno de um dado eixo. Depende do eixo de rotação, da forma do corpo e da maneira como sua massa é distribuída.

A unidade do momento de inércia no sistema SI é o  $\text{kgm}^2$ .

O momento de inércia de uma máquina, que tem rotação diferente da do motor (figura 2.8), deverá ser referido ao eixo do motor conforme expressão:

$$J_{ce} = J_c \times \left( \frac{n_c}{n_N} \right)^2 \quad (2.4.1)$$

Onde:  $J_{ce}$  = Momento de inércia da carga referida ao eixo do motor em  $\text{kgm}^2$ ;  
 $J_c$  = Momento de inércia da carga em  $\text{kgm}^2$ .

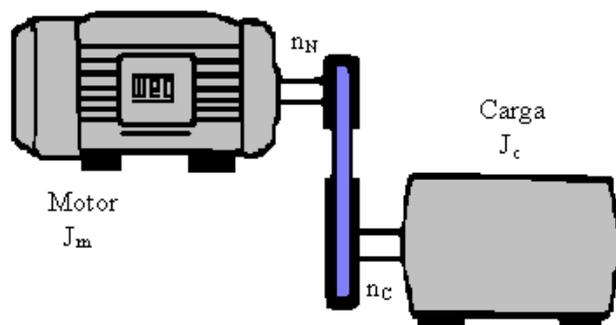


Figura 2.8 – Momento de inércia em rotações diferentes

A inércia total vista pelo motor será:

$$J_t = J_m + J_{ce} \quad (2.4.2)$$

**Obs.:** Uma grandeza muito usada para medir o momento de inércia é o "Momento de Impulsão", conhecido como  $GD^2$  da carga, expresso em  $\text{kgm}^2$ . Sua relação com o momento de inércia é dado por:

$$J = \frac{GD^2}{4} \quad (2.4.3)$$

## 2.5 CONJUGADO X VELOCIDADE DO MOTOR

O motor de indução tem conjugado igual a zero à velocidade síncrona. À medida que a carga vai aumentando, a rotação do motor vai caindo gradativamente, até um ponto em que o conjugado atinge o valor máximo que o motor é capaz de desenvolver. Se o conjugado da carga aumentar mais, a rotação do motor cai bruscamente, podendo chegar a travar o rotor.

Representando num gráfico a variação do conjugado com a velocidade para um motor, obtêm-se uma curva com o aspecto representado na figura 2.9.

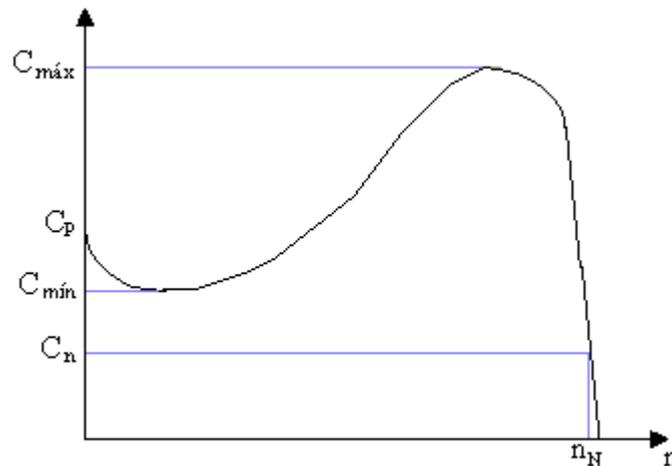


Figura 2.9 – Curva Conjugado x Velocidade

Nesta curva vamos destacar e definir alguns pontos importantes. Os valores dos conjugados relativos a estes pontos são especificados por norma (NBR 7094) e serão apresentados a seguir:

### 2.5.1 CONJUGADO BÁSICO

É o conjugado calculado em função da potência e velocidade síncrona.

$$C_b = \frac{P_n}{2 \cdot \pi \cdot n_s}$$

Onde:

- $C_b$  = Conjugado base em Nm;
- $n_s$  = Rotação síncrona em rps;
- $P_n$  = Potência nominal em W.

### 2.5.2 CONJUGADO NOMINAL OU DE PLENA CARGA

É o conjugado desenvolvido pelo motor à potência nominal, sob tensão e frequência nominais.

$$C_n = \frac{P_n}{2.\pi.n_N}$$

Onde:  $C_n$  = Conjugado Nominal em Nm;  
 $n_N$  = Rotação nominal em rps;  
 $P_n$  = Potência nominal em W.

### 2.5.3 CONJUGADO COM ROTOR BLOQUEADO

Também denominado "Conjugado de Partida" ou "Conjugado de Arranque". É o conjugado mínimo desenvolvido pelo motor com rotor bloqueado. O valor do conjugado de partida depende do projeto do motor e normalmente é encontrado no catálogo ou na folha de dados do motor.

O conjugado de partida pode ser expresso em Nm ou mais comumente em porcentagem do conjugado nominal, ou seja:

$$C_p(\%) = \frac{C_p(Nm)}{C_n(Nm)} \times 100$$

**Obs.:** Na prática, o conjugado de rotor bloqueado deve ser o mais alto possível para que o motor possa vencer a inércia inicial da carga e possa acelera-la rapidamente, principalmente quando a partida é com tensão reduzida.

### 2.5.4 CONJUGADO MÍNIMO

É o menor conjugado desenvolvido pelo motor ao acelerar desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo.

Na prática, este valor não deve ser muito baixo, isto é, a curva não deve apresentar uma depressão acentuada na aceleração, para que a partida não seja muito demorada, sobreaquecendo o motor, especialmente nos casos de alta inércia ou partida com tensão reduzida.

O conjugado mínimo também pode ser expresso em Nm ou em porcentagem do conjugado nominal.

### 2.5.5 CONJUGADO MÁXIMO

É o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e frequência nominais, sem queda brusca de velocidade.

Na prática, o conjugado máximo deve ser o mais alto possível, por duas razões principais:

- a) motor deve ser capaz de vencer eventuais picos de carga, como pode acontecer em certas aplicações, como por exemplo: britadores, misturadores, calandras e outras.
- b) motor não deve perder bruscamente a velocidade quando ocorrem momentaneamente quedas excessivas de tensão.

O conjugado máximo normalmente é expresso em porcentagem do conjugado nominal.

$$C_{m\acute{a}x(\%)} = \frac{C_{m\acute{a}x}(Nm)}{C_n(Nm)}$$

### 2.5.6 FATORES DE CORREÇÃO DOS CONJUGADOS EM FUNÇÃO DA TENSÃO

Quando a tensão aplicada ao motor for diferente da nominal, os conjugados e a corrente de partida deverão ser corrigidos. A correção deve ser feita através de fatores de multiplicação  $k_1$ , para a corrente de partida, e  $k_2$  para os conjugados  $C_p$  e  $C_{m\acute{a}x}$ , tiradas da figura 2.10.

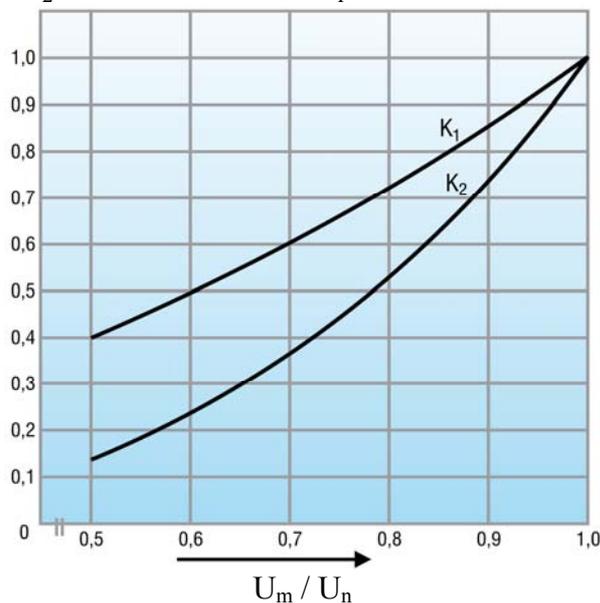


Figura 2.10 – Fatores de redução  $k_1$  e  $k_2$  em função das relações de tensão do motor e da rede  $U_m / U_n$

Portanto:

$$\left(\frac{I_p}{I_n}\right)_U = k_1 \times \left(\frac{I_p}{I_n}\right)_{U_n}$$

$$\left(\frac{C_p}{C_n}\right)_U = k_2 \times \left(\frac{C_p}{C_n}\right)_{U_n}$$

$$\left(\frac{C_{m\acute{a}x}}{C_n}\right)_U = k_2 \times \left(\frac{C_{m\acute{a}x}}{C_n}\right)_{U_n}$$

## 2.6 CONJUGADO MOTOR MÉDIO

O conjugado mecânico no eixo do motor é dado pela expressão abaixo:

$$C_M = \frac{3.R_2.I_2^2}{2.\pi.n_s.S} \quad (2.6.1)$$

Onde:  $R_2$  = Resistência de fase do rotor em Ohm;  
 $I_2$  = Corrente de fase do rotor em A;  
 $S$  = Escorregamento do motor em p.u.;  
 $n_s$  = Rotação síncrona.

A equação (2.6.1) representa a curva de conjugado do motor, que após algumas simplificações pode ser representado pela expressão:

$$C_M = \frac{A - (B \times n)}{(C \times n^2) - (D \times n) + E} \quad (2.6.2)$$

Onde:  $C_M$  = Conjugado motor em Nm.  
 $n$  = Rotação do motor em rps.  
 $A, B, C, D, E$  = Constantes positivas que dependem do projeto do motor.

O valor das constantes dependem do estado de saturação magnética do núcleo do motor.

Representando a equação (2.6.2) em um gráfico, obtem-se a curva característica do conjugado do motor, figura 2.11:

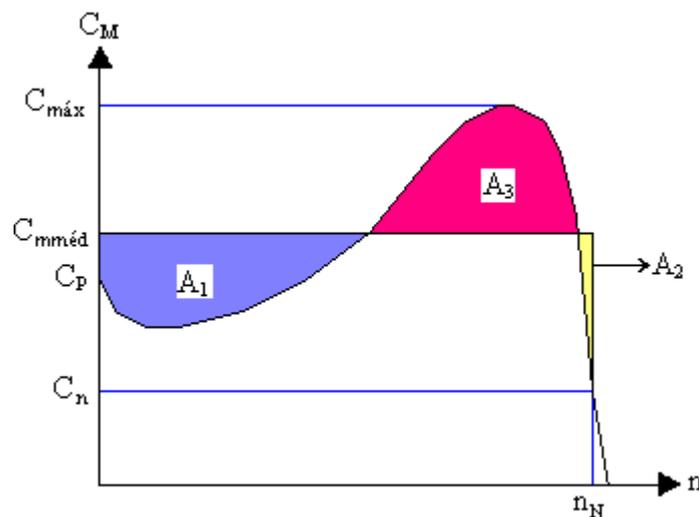


Figura 2.11 – Conjugado motor médio

Analicamente o conjugado motor médio pode ser calculado pela integral:

$$C_{mméd} = \frac{1}{n_2 - n_1} \int_{n_2}^{n_1} \left( \frac{A - (B \times n)}{(C \times n^2) - (D \times n) + E} \right) \quad (2.6.3)$$

Como esta integral é muito difícil de ser resolvida, na prática é feita a integração gráfica. Isto não é muito complicado, basta que se observe que a soma das áreas  $A_1$  e  $A_2$  seja igual a área  $A_3$  (ver figura 2.11).

Usualmente tem-se:

**a)** Para motores categorias N e H:

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left( \frac{C_P}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \quad (2.6.4)$$

**b)** Para motores categoria D:

$$C_{mméd} = 0,60 \times \frac{C_P}{C_n} \times C_n \quad (2.6.5)$$

Quando o conjugado nominal ( $C_n$ ) é dado em kgfm, basta multiplicar por 9,81 para obtermos em Nm.

## 2.7 TEMPO DE ROTOR BLOQUEADO ( $T_{RB}$ )

Tempo de rotor bloqueado é o tempo necessário para que o enrolamento da máquina, quando percorrido pela sua corrente de partida, atinja a sua temperatura limite, partindo da temperatura atingida em condições nominais de serviço e considerando a temperatura ambiente no seu valor máximo.

Este tempo é um parâmetro que depende do projeto da máquina. Encontra-se normalmente no catálogo ou na folha de dados do fabricante.

A tabela (2.7.1) mostra os valores limites da temperatura de rotor bloqueado, de acordo com as normas NEMA e IEC.

CLASSE TÉRMICA	$T_{MAX}$						$\Delta T_{MAX}$
	NEMA MG1.12.53			IEC 60079-7			
B F H	175	200	225	185	210	235	80 105 125

Tabela 2.7.1 – Temperatura limite de rotor bloqueado.

Para partidas com tensão reduzida o tempo de rotor bloqueado pode ser corrigido como segue:

$$t_{rb} = t_b \times \left( \frac{U_n}{U_r} \right)^2 \quad (2.7.1)$$

Onde:  $t_{rb}$  = Tempo de rotor bloqueado com tensão reduzida;  
 $t_b$  = Tempo de rotor bloqueado à tensão nominal;  
 $U_n$  = Tensão nominal;  
 $U_r$  = Tensão reduzida.

### 2.7.1 TEMPO DE ROTOR BLOQUEADO EM RELAÇÃO A CLASSE ISOLANTE

Os tempos de rotor bloqueado apresentados em catálogos estão referenciados ao isolante classe “B”. Ao trocar-se o isolante para uma classe superior, pode-se aumentar o tempo de rotor bloqueado ( $t_{rb}$ ), da seguinte maneira:

$$t_{rb} = \frac{T_{MAX} - T_{AMB} - \Delta T_{MOTOR}}{k}$$

Onde:  $k = 5,52 \times 10^{-4} \cdot [(I_p/I_n) \cdot J_1]^2$   
 $T_{MAX}$  = Temperatura máxima da classe para curta duração (picos de temperatura).  
 $T_{MOTOR}$  = Elevação de temperatura do motor.  
 $(I_p/I_n)$  = Relação da corrente de partida.

$J_1$  = Densidade de corrente do motor.  
 $T_{AMB}$  = Temperatura ambiente.

A tabela (2.7.1) apresenta os valores limites para  $T_{MÁX}$  e  $\Delta T_{MÁX}$ , para cada classe de isolante utilizada.

Pode-se notar que o tempo de rotor bloqueado é inversamente proporcional a  $(I_p/I_n)^2$  ou  $J_1^2$ . Exemplos:

Classe “F” em relação a classe “B”:

$$\frac{t_{rb(F)}}{t_{rb(B)}} = \frac{\frac{210 - 40 - 80}{k}}{\frac{185 - 40 - 80}{k}} = \frac{90}{65} = 1,3846$$

Portanto:  $t_{rb(F)} = 1,3846 \cdot t_{rb(B)}$

Classe “H” em relação a classe “B”:

$$\frac{t_{rb(H)}}{t_{rb(B)}} = \frac{\frac{235 - 40 - 80}{k}}{\frac{185 - 40 - 80}{k}} = \frac{115}{65} = 1,7692$$

Portanto:  $t_{rb(H)} = 1,7692 \cdot t_{rb(B)}$

Classe “H” em relação a classe “F”:

$$\frac{t_{rb(H)}}{t_{rb(B)}} = \frac{\frac{235 - 40 - 80}{k}}{\frac{210 - 40 - 80}{k}} = \frac{115}{90} = 1,2778$$

Portanto:  $t_{rb(H)} = 1,2778 \cdot t_{rb(F)}$

## 2.7.2 TEMPO DE ACELERAÇÃO

Tempo de aceleração é o tempo que o motor leva para acionar a carga desde a rotação zero até a rotação nominal.

O tempo de aceleração permite verificar se o motor consegue acionar a carga dentro das condições exigidas pela estabilidade térmica do material isolante. O tempo de aceleração também é um parâmetro útil para dimensionar o equipamento de partida e o sistema de proteção.

O ideal seria que o tempo de aceleração fosse bem menor que o tempo de rotor bloqueado. Quando não pode ser muito menor, pelo menos deve obedecer a relação abaixo:

$$t_a < t_{rb} \times 0.8 \quad (2.7.2.1)$$

Onde:  $t_{rb}$  = tempo máximo de rotor bloqueado.

Para um movimento de rotação é válida a relação:

$$CA = J \frac{dw}{dt} \quad (2.7.2.2)$$

Onde:  $J$  = momento de inércia do corpo em  $\text{kgm}^2$ ;  
 $C_A$  = conjugado acelerador em Nm;  
 $w$  = velocidade angular em rad/s.

A velocidade angular pode ser calculada por:

$$w = 2.\pi.n \quad (2.7.2.3)$$

Para o caso em que o motor deve acionar uma carga, tem-se:

$$J = J_t = J_m + J_{ce} \quad (2.7.2.4)$$

Onde:  $J_t$  = inércia total referida ao eixo do motor (2.4.2).

O conjugado acelerador pode ser substituído sem perda de precisão pelo conjugado acelerador médio dado por:

$$C_{AMÉD} = C_{mméd} - C_{rméd} \quad (2.7.2.5)$$

Onde:  $C_{rméd} = R \times C_{cméd}$

O gráfico da figura 2.12, mostra o conjugado acelerador médio.

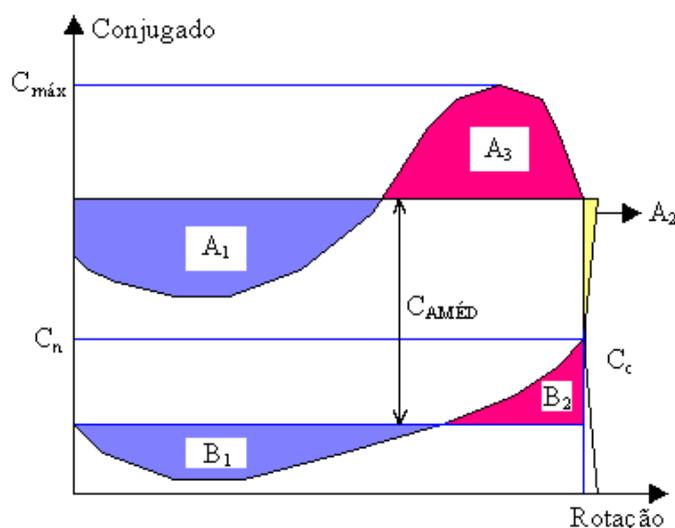


Figura 2.12 – Conjugado acelerador médio

Substituindo (2.7.2.3), (2.7.2.4) e (2.7.2.5) em (2.7.2.2), tem-se:

$$C_{mméd} - C_{rméd} = (J_m - J_{ce}) \times 2\pi \times \frac{dn}{dt} \quad (2.7.2.6)$$

Portanto:

$$dt = 2\pi \cdot \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \times dn \quad (2.7.2.7)$$

Integrando, tem-se:

$$\int_0^{t_a} dt = 2\pi \cdot \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \int_0^n dn$$

$$t_a = 2\pi \cdot n \times \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) \quad (2.7.2.8)$$

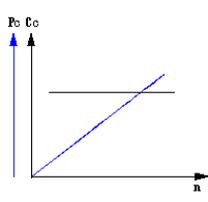
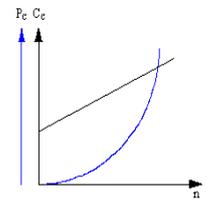
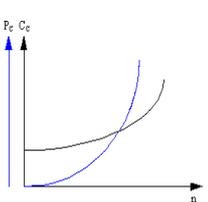
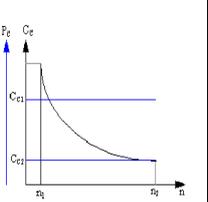
### 2.7.3 POTÊNCIA DINÂMICA OU DE ACELERAÇÃO

O tempo de aceleração sempre deve ser menor que o tempo de rotor bloqueado do motor.

A potência dinâmica é a potência necessária para acelerar a carga até a rotação nominal em um intervalo de tempo menor que o tempo de rotor bloqueado.

Esta potência, na medida do possível, deve ser igual à potência nominal do motor. Porém dependendo das características da carga (inércia e conjugado), a potência dinâmica pode assumir valores bem maiores que a potência nominal.

Nestes casos deverá ser feito um estudo TÉCNICO-ECONÔMICO, para ver se é possível utilizar um acoplamento especial tal como hidráulico, eletromagnético ou de fricção (embreagem). Dependendo do estudo técnico-econômico pode tornar-se evidente que a melhor solução seria um outro tipo de motor, por exemplo um motor de anéis ou motor de gaiola acionado por conversor de frequência.

TABELA 2.7.3.1 – TEMPO DE ACELERAÇÃO – MOTOR DE INDUÇÃO				
Conj. Resistente de carga	Constante	Linear	Parabólico	Hiperbólico
Curva:  Conjugado X Rotação				
Exemplos de Aplicação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compressores à pistão</li> <li>• Talhas</li> <li>• Bombas à pistão</li> <li>• Britadores</li> <li>• Transportadores contínuos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calandras</li> <li>• Bombas de vácuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bombas centrífugas</li> <li>• Ventiladores, Misturadores centrífugos</li> <li>• Compressor centrífugo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bobinadeira de fios, panos e papel</li> <li>• Descascador de toras</li> <li>• Tornos</li> </ul>
Categoria do motor acionador	N H	N H	N	Corrente Contínua
Conjugado de Carga médio ( $C_{cméd}$ )	$C_{cn}$ <b>OBS:</b> Compressor a parafuso 1,15. $C_{cn}$	$\frac{C_0 + C_{cn}}{2}$	$\frac{2C_0 + C_{cn}}{3}$	$\frac{C_{cn} \times n_N}{n_N - n_1} \cdot \ln\left(\frac{n_N}{n_1}\right)$
Momento de inércia da carga referida ao motor	$J_{ce} = J_c \times \left(\frac{n_c}{n_N}\right)^2$			
Relação de transmissão	$R = \frac{n_c}{n_N}$			
Conjugado resistente médio	$C_{rméd} = R \times C_{cméd}$			
Conjugado motor médio	N/H	$C_{mméd} = 0,45 \times \left(\frac{C_P}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n}\right) \times C_n \quad (\times 9,81)$		
	D	$C_{mméd} = 0,60 \times \left(\frac{C_P}{C_n}\right) \times C_n \quad (\times 9,81)$		
Tempo de aceleração	$t_a = 2 \cdot \pi \cdot n_N \times \left(\frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}}\right)$			
Unidades	J = momento de inércia ( $\text{kgm}^2$ ) C = Conjugado (Nm)		n = rotação (rps) t = tempo (s)	
Quando deseja-se mudar de classe de isolamento	De “B” para “F”	$t_{rb(F)} = 1,3846 \cdot t_{rb(B)}$		
	De “F” para “H”	$t_{rb(H)} = 1,2778 \cdot t_{rb(F)}$		
	De “B” para “H”	$t_{rb(H)} = 1,7692 \cdot t_{rb(B)}$		

## **2.8 ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES PARA VENTILADORES E BOMBAS**

### **2.8.1 DEFINIÇÕES**

#### **2.8.1.1 VENTILADORES**

São máquinas rotativas capazes de aumentar a energia de um fluido pelo aumento da pressão estática e cinética.

#### **2.8.1.2 BOMBAS**

São máquinas destinadas a fornecer energia ao líquido, a partir de uma fonte externa, no caso o motor, com o fim de promover o seu deslocamento.

### **2.8.2 CRITÉRIOS PARA SELECIONAR O MOTOR QUE IRÁ ACIONAR A CARGA**

As características do local onde o motor irá trabalhar são fatores importantes na seleção do motor, e portanto, devem ser conhecidas previamente. São elas:

#### **2.8.2.1 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE ALIMENTAÇÃO**

- Tensão de alimentação do motor (V);
- Frequência nominal (Hz);
- Método de partida (quando não fornecido, será considerado como partida direta).

#### **2.8.2.2 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE**

- Altitude;
- Temperatura ambiente;
- Atmosfera ambiente.

Quando não são informados valores de altitude e temperatura serão considerados valores de norma, ou seja, 1000m e 40°C (para motores elétricos).

#### **2.8.2.3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS**

- Forma construtiva;
- Potência (kW);
- Rotação n (rps);
- Proteção térmica;
- Sentido de rotação (olhando-se pelo lado do acionamento).

### 2.8.2.4 CARACTERÍSTICAS DO VENTILADOR

- Vazão  $Q$  ( $m^3/s$ );
- Pressão total  $p$  ( $N/m^2$ );
- Rotação  $n_C$  (rps);
- Momento de inércia do ventilador  $J_c$  ( $kgm^2$ );
- Curva de conjugado x rotação do ventilador;
- Dados do acoplamento;
- Esforços radiais e/ou axiais (se existirem).

### 2.8.2.5 CARACTERÍSTICAS DA BOMBA

- Vazão  $Q$  ( $m^3/s$ );
- Pressão total  $p$  ( $N/m^2$ );
- Altura manométrica  $h$  (m);
- Rotação  $n_C$  (rps);
- Rendimento da bomba;
- Momento de inércia da bomba  $J_c$  ( $kgm^2$ );
- Curva de conjugado x rotação da bomba;
- Dados do acoplamento;
- Esforços radiais e/ou axiais (se existirem);
- Massa específica do fluido ( $kg/m^3$ ).

## 2.8.3 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO MOTOR

Além do rendimento do acoplamento ( $\eta_{ac}$ ), já visto, o fator de redução ( $R$ ) é um fator muito importante que deve ser conhecido.

Este fator é definido como sendo a relação entre a rotação de saída e de entrada, ou seja:

$$R = \frac{n_C}{n_N} \quad (2.8.3.1)$$

Onde:  $n_C$  – representa a rotação de saída do redutor que é a rotação do ventilador ou da bomba;  
 $n_N$  – representa a rotação de entrada do redutor que é a rotação do motor.

**Exemplo:** Quando se diz que a redução é de 1:2 significa que  $R = 0,5$ , portanto :

$$n_N = 2.n_C$$

Então conhecendo-se a rotação ( $n_C$ ) do ventilador ou da bomba e o fator de redução do acoplamento é possível obter a rotação do motor.

$$n_N = \frac{n_C}{R} \quad (2.8.3.2)$$

A rotação síncrona ( $n_s$ ) em rps é dada por:

$$n_s = \frac{f}{2p} \quad (2.8.3.3)$$

Onde:  $f$  = frequência da rede (Hz);  
 $2p$  = pares de pólos.

Analisando (2.8.3.2) e (2.8.3.3) pode-se obter a polaridade do motor.

#### 2.8.4 POTÊNCIA NOMINAL OU DE SERVIÇO DA CARGA

Para se determinar a potência absorvida pela carga existem três maneiras:

##### 2.8.4.1 CONHECENDO A VAZÃO E A PRESSÃO TOTAL

Sendo a vazão dada em  $m^3/s$  e a pressão em  $N/m^2$  a potência requerida pela carga em kW é dada por:

$$P = 10^{-3} \times \frac{p \times Q}{\eta_c} \quad [\text{kW}]$$

Onde:  $\eta_c$  = rendimento da carga.

**Obs.:** a) Se a pressão total for dada em  $\text{mmH}_2\text{O}$ , tem-se:

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9,81 \text{ N/m}^2$$

b) Se a pressão total for dada em atmosferas, tem-se:

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ mmH}_2\text{O} = 76 \text{ cmHg} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

c) É mostrado a seguir algumas faixas de rendimentos de ventiladores ( $\eta_v$ ):

- $0,50 < \eta_v < 0,80 \rightarrow$  ventilador cuja pressão total seja maior que 400  $\text{mmH}_2\text{O}$ ;
- $0,35 < \eta_v < 0,50 \rightarrow$  ventilador cuja pressão total esteja entre 100 e 400  $\text{mmH}_2\text{O}$ ;
- $0,20 < \eta_v < 0,35 \rightarrow$  ventilador cuja pressão total seja menor que 100  $\text{mmH}_2\text{O}$ .

d) É mostrado a seguir algumas faixas de rendimentos de bombas ( $\eta_b$ ):

- $0,75 < \eta_b < 0,85 \rightarrow$  Para bombas de pistão;
- $0,45 < \eta_b < 0,75 \rightarrow$  Para bombas centrífugas.

#### 2.8.4.2 CONHECENDO-SE O CONJUGADO NOMINAL DA CARGA

Seja o conjugado de carga nominal ( $C_{cn}$ ) dado em Nm e a rotação ( $n_c$ ) da carga dado em rps, a potência requerida pela carga em kW é dada por:

$$P_c = 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot n_c \cdot C_{cn} \text{ [kW]} \quad (2.8.4.2.1)$$

Portanto a potência nominal do motor ( $P_n$ ) em kW é dada por:

$$P_n = \frac{P_c}{\eta_{ac}} \quad (2.8.4.2.2)$$

#### 2.8.4.3 CONHECENDO-SE A VAZÃO E A ALTURA MANOMÉTRICA DA BOMBA

Sendo a vazão  $Q$  dada em  $m^3/s$  e a altura manométrica  $h$  em metros, a potência requerida pela bomba em kW é dada por:

$$P_c = 10^{-3} \times \frac{Q \cdot \varphi \cdot g \cdot h}{\eta_b} \quad (2.8.4.3.1)$$

Onde:  $\varphi$  = massa específica do fluido ( $kg/m^3$ );  
 $g$  = aceleração da gravidade local ( $m/s^2$ );  
 $\eta_b$  = rendimento da bomba.

#### 2.8.5 TEMPO DE ACELERAÇÃO

Para o cálculo do tempo de aceleração é necessário que se conheça a curva de conjugado x rotação da carga.

Na figura 2.13 tem-se as curvas características de um ventilador.

Na condição A o ventilador parte com o registro aberto e na condição F o ventilador parte com o registro fechado.

A condição F é favorável ao motor na partida porque a curva de conjugado é mais baixa. Isto implica em um tempo de aceleração menor.

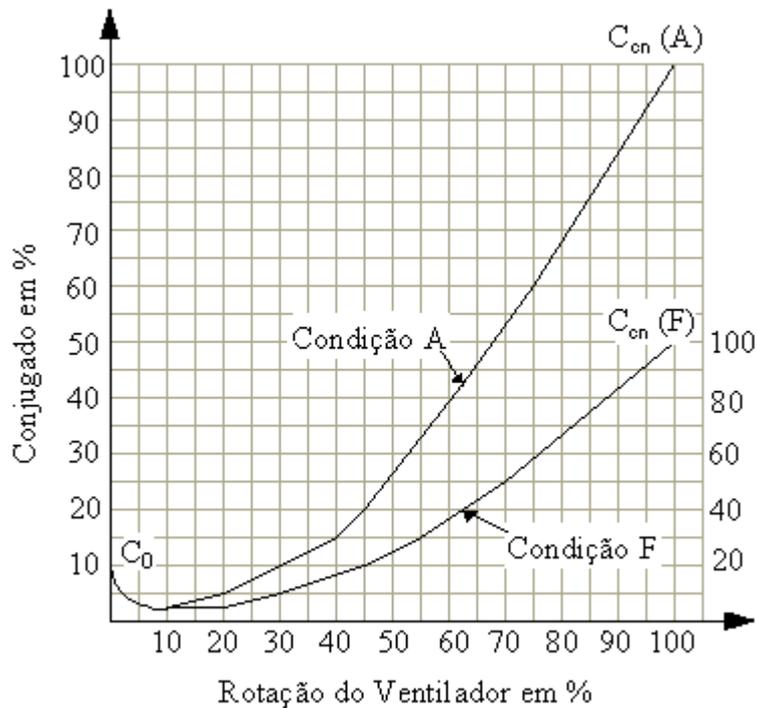


Figura 2.13 – Curva Conjugado x Velocidade - Ventilador

Na figura 2.14, tem-se a curva característica de uma bomba.

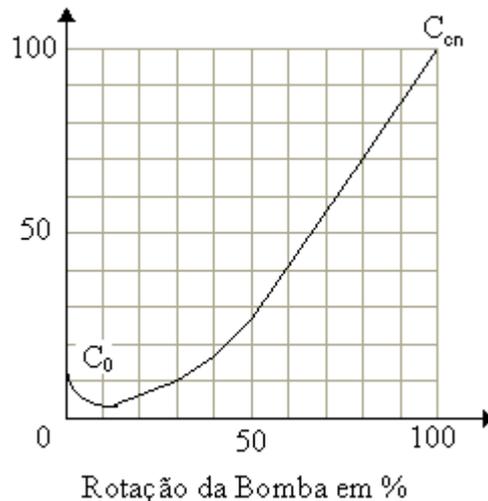


Figura 2.14 – Curva Conjugado x Velocidade - Bombas

Como ambos apresentam conjugado quadrático ou parabólico, este pode ser calculado pela expressão (2.2.3.1), ou seja:

$$C_c = C_0 + (k_c \times n_c^2) \quad (2.8.5.1)$$

O conjugado  $C_0$  é obtido diretamente da curva. Quando a curva não é conhecida pode-se tomar  $C_0$  como sendo um valor compreendido entre 10 a 20% do conjugado nominal.

O conjugado da carga média ( $C_{cméd}$ ) em Nm, é obtido por:

$$C_{cméd} = C_0 + \frac{1}{3} \cdot (k_c \times n_c^2) \quad (2.8.5.2)$$

Da equação (2.8.5.1) tem-se que:

$$k_c = \frac{C_c - C_0}{n_c^2}$$

Substituindo  $k_c$ , tem-se:

$$C_{cméd} = C_0 + \frac{1}{3} \cdot \left( \left( \frac{C_c - C_0}{n_c^2} \right) \times n_c^2 \right)$$

$$C_{cméd} = C_0 + \left( \frac{C_c - C_0}{3} \right)$$

$$C_{cméd} = \frac{2 \cdot C_0 + C_c}{3}$$

O conjugado resistente médio ( $C_{rméd}$ ) da carga, em Nm referido ao eixo do motor é dado por:

$$C_{rméd} = R \times C_{cméd} \quad (2.8.5.3)$$

Para acionar um ventilador ou uma bomba centrífuga em condições normais o motor pode ser categoria N, e o conjugado motor médio ( $C_{mméd}$ ) em Nm é obtido pela expressão:

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left( \frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \times 9,81 \quad (2.8.5.4)$$

O conjugado de partida ( $C_p/C_n$ ), o máximo ( $C_{máx}/C_n$ ) e o conjugado nominal ( $C_n$ ) são obtidos do catálogo de motores do fabricante (catálogo de motores WEG) ou da folha de dados do motor. O conjugado nominal é expresso em kgfm e o  $C_{cméd}$  é obtido em Nm.

Finalmente o tempo de aceleração em segundos é obtido a partir da expressão abaixo:

$$t_a = 2 \cdot \pi \cdot n \times \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) \quad (2.8.5.5)$$

Onde  $J_m$  é o momento de inércia do motor e  $J_{ce}$  é o momento de inércia da carga referida ao eixo do motor (expressão 2.4.1).

Se o tempo de aceleração for maior que o tempo de rotor bloqueado ( $t_a > t_{rb}$ ), deve-se escolher um motor de potência superior e repetir o cálculo de (2.8.5.4) e (2.8.5.5) até que o tempo de aceleração seja menor que 80% do tempo de rotor bloqueado.

$$t_a < 0,80 \times t_{rb}$$

### 2.8.6 EXEMPLOS

**OBS:** Todos os valores adotados, no caso do motor elétrico, provém de tabelas que encontram-se nos catálogos destes produtos. Para fins didáticos, na apostila, estamos adotando o catálogo de motores W21 modelo Mod.001.66/092004. É aconselhável, sempre que necessário, recorrer aos catálogos mais recentes ou, de uma maneira mais ágil, consultando nosso catálogo eletrônico no site da WEG ([www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)).

#### 2.8.6.1 VENTILADOR

Deseja-se saber que motor deve ser acoplado a um ventilador que possui as características apresentadas a seguir:

- 1) Características da rede de alimentação:
  - $U = 440 \text{ V}$ ;
  - $f = 60 \text{ Hz}$ ;
  - Partida direta.
- 2) Características do ambiente:
  - Atmosfera industrial.
- 3) Características construtivas:
  - Horizontal;
  - Proteção térmica classe B;
  - Sentido de rotação horário.
- 4) Características do ventilador:
  - $n_c = 1780 \text{ rpm}$ ;
  - $J_c = 20 \text{ kgm}^2$ ;
  - Acoplamento direto;
  - Curva conjugado x rotação - (visualizar no gráfico abaixo);
  - Conjugado nominal para condição A:  $C_{cn}(A) = 320 \text{ Nm}$ ;
  - Conjugado nominal para condição B:  $C_{cn}(B) = 270 \text{ Nm}$ .

**Obs.:** Dimensionar um motor para a condição (A) e outro para a condição (B).  
Utilizar motor WEG Alto rendimento plus.

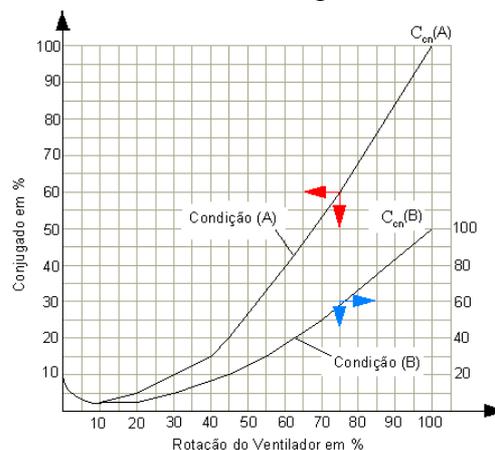


Figura 2.15

SOLUÇÃO:

**CONDIÇÃO (A).**

a) *Velocidade do motor - (n):*

Como o acoplamento é direto tem-se  $R = 1$ . Recordando a expressão (2.8.3.2), tem-se:

$$n = \frac{n_c}{R} = \frac{1780}{1} = 1780 \text{ rpm} \quad \text{ou,} \quad n = \frac{1780}{60} = 29,7 \text{ rps}$$

Sendo que a rede é de 60 Hz e de acordo com a equação (2.8.2.3), tem-se:

$$n_s = \frac{f}{p}; \quad \text{ou,} \quad p = \frac{f}{n_s} = \frac{60}{29,7} = 2 \text{ pares de pólos, ou seja, IV pólos}$$

(Um motor de IV pólos tem sua rotação síncrona de 30 rps ou 1800 rpm.)

***PORTANTO O MOTOR WEG QUE DEVERÁ SER ESCOLHIDO SERÁ UM MOTOR DE IV PÓLOS !***

b) *Potência nominal do motor ( $P_n$ ):*

A potência requerida pelo ventilador é obtida da expressão (2.8.4.2.1):

$$P_v = 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot n_c \cdot C_{en} \text{ [kW]}$$

$$P_v = 10^{-3} \cdot 2\pi \times 29,7 \times 320$$

$$P_v = 59,7 \text{ [kW]}$$

A potência nominal do motor é obtida de acordo com a expressão (2.8.4.2.2). Como o acoplamento é direto tem-se  $\eta_{ac} = 1$ , logo:

$$P_n = \frac{P_v}{\eta_{ac}} = \frac{59,7}{1} = 59,7 \text{ kW}$$

Em cv será:

$$P_n = \frac{59,7}{0,736} = 81,2 \text{ cv}$$

Como a potência normalizada imediatamente superior é de 100 cv, escolhe-se o motor WEG de 75 kW (ou 100 cv) de IV pólos.

**c) Conjugado resistente médio ( $C_{rméd}$ ):**

Do gráfico tem-se:

$$C_0 = 0,10 \times C_{cn} (A) = 0,10 \times 320; \quad \text{ou seja,} \quad C_0 = 32,0 \text{ Nm}$$

Como  $R = 1$ , e levando em consideração a expressão abaixo, obtêm-se o conjugado resistente médio:

$$C_{cméd} = \frac{2 \times C_0 + C_{cn}}{3} = \frac{64 + 320}{3} = 128 \text{ Nm}$$

$$C_{rméd} = R \times C_{cméd} = 1 \times 128; \quad \text{ou seja,} \quad C_{rméd} = 128 \text{ Nm}$$

**d) Conjugado motor médio ( $C_{MMÉD}$ ):**

Para o motor de 100 cv/ IV pólos, do catálogo, tem-se:

$$C_n = 40,1 \text{ kgfm} \quad \frac{C_p}{C_n} = 3,0 \quad \frac{C_{máx}}{C_n} = 3,3$$

O conjugado motor médio é dado por:

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left( \frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 0,45 \times (3,0 + 3,3) \times 40,1 \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 1115 \text{ Nm}$$

**e) Tempo de Aceleração ( $t_a$ ):**

Do catálogo obtêm-se o valor do momento de inércia do motor ( $J_m$ ) que é igual a  $1,15478 \text{ kgm}^2$ , e como o acoplamento é direto, tem-se:

$$J_{ce} = J_c \times R^2 = 20 \times (1)^2$$

$$J_{ce} = 20 \text{ kgm}^2$$

Portanto, o tempo de aceleração é dado por:

$$t_a = 2 \cdot \pi \cdot n \times \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) = 2 \cdot \pi \times 29,67 \times \left( \frac{1,15478 + 20}{1115 - 128} \right)$$

$$t_a = 3,99 \text{ segundos.}$$

Do catálogo obtêm-se o tempo de rotor bloqueado ( $t_{rb}$ ) que é de 12,0s.

$$t_a \leq 0,8 \times t_{rb}$$

$$t_a \leq 0,8 \times 10$$

$$t_a \leq 8,0s$$

O que é verificado. Portanto o motor está apto para acionar o ventilador na condição (A).

***Especificação do motor:***

- Motor trifásico de indução, rotor de gaiola, marca WEG Alto Rendimento Plus;
- Potência: 75 kW/100 cv;
- Polaridade: IV Pólos;
- Tensão: 440 volts;
- Frequência: 60 Hz;
- Carcaça: 250 S\M;
- Forma construtiva: B3D;
- Grau de Proteção: IP55;
- Classe de isolamento: F;
- Categoria: N;
- Regime de Serviço: S1;
- Outras condições:

**2.8.6.2 BOMBAS**

**OBS: Todos os valores adotados, no caso do motor elétrico, provém de tabelas que encontram-se nos catálogos destes produtos. Para fins didáticos, na apostila, estamos adotando o catálogo de motores W21 modelo Mod.001.66/092004. É aconselhável, sempre que necessário, recorrer aos catálogos mais recentes ou, de uma maneira mais ágil, consultando nosso catálogo eletrônico no site da WEG ([www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)).**

Deseja-se saber que motor deve ser acoplado a uma bomba que apresenta as seguintes características:

***a) Características da rede de alimentação:***

- $U = 440 \text{ V}$ ;
- $f = 60 \text{ Hz}$ ;
- Partida direta.

***b) Características do ambiente:***

- Atmosfera limpa (normal).

c) *Características construtivas:*

- Horizontal;
- Proteção térmica classe B;
- Sentido de rotação horário.

d) *Características da bomba:*

- $n_c = 1780$  rpm;
- $J_c = 6$  kgm<sup>2</sup>;
- Acoplamento direto;
- Curva conjugado x rotação - (visualizar no gráfico abaixo);
- Conjugado nominal:  $C_{cn} = 480$  Nm;

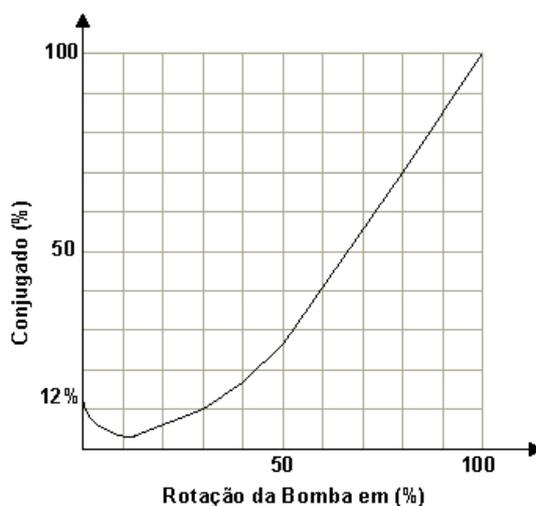


Figura 2.16

SOLUÇÃO:

a) *Velocidade do motor ( $n_N$ ):*

Como o acoplamento é direto tem-se  $R = 1$ , logo:

$$n_N = \frac{n_C}{R} = \frac{1780}{1} = 1780 \text{ rpm}$$

ou seja:

$$n_N = 29,7 \text{ rps}$$

Portanto, sendo  $n_s = \frac{f}{p}$ , o motor será de IV pólos.

**b) Potência nominal do motor ( $P_n$ ):**

A potência requerida pela bomba é obtida da expressão abaixo:

$$P_b = 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot n_c \cdot C_{cn} \text{ [kW]}$$

$$P_b = 10^{-3} \cdot 2\pi \times 29,7 \times 480$$

$$P_b = 89,6\text{kW}$$

$$P_b = 121,7 \text{ cv}$$

Escolhe-se, então, o motor de 90 kW / 125 cv / IV pólos, que é normalizado conforme catálogo de motores WEG Alto Rendimento Plus.

**c) Conjugado resistente médio ( $C_{rméd}$ ):**

O conjugado  $C_0$  é obtido diretamente da curva.

$$C_0 = 0,12 \times 480$$

$$C_0 = 57,6\text{Nm}$$

O conjugado da carga médio ( $C_{cméd}$ ) é dado por:

$$C_{cméd} = \frac{2 \times C_0 + C_{cn}}{3} \qquad C_{cméd} = \frac{2 \times 57,6 + 480}{3}$$

$$C_{cméd} = 198,4\text{Nm}$$

Como  $R = 1$ , tem-se que, o conjugado resistente médio ( $C_{rméd}$ ) é:

$$C_{rméd} = R \times C_{cméd}$$

$$C_{rméd} = 198,4\text{Nm}$$

**d) Conjugado motor médio ( $C_{mméd}$ ):**

Para um motor de 90 kW / 125 cv; do catálogo WEG tem-se:

$$C_n = 50,1\text{kgfm} \qquad \frac{C_p}{C_n} = 2,3 \qquad \frac{C_{máx}}{C_n} = 2,9$$

O conjugado motor médio é obtido a partir da equação:

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left( \frac{C_P}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \times 9,81 \quad (\text{Nm})$$

$$C_{mméd} = 0,45 \times (2,3 + 2,9) \times 50,1 \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 1150 \text{Nm}$$

**e) Tempo de aceleração ( $t_a$ ):**

O momento de inércia do motor é obtido do catálogo WEG:

$$J_m = 1,92710 \text{kgm}^2$$

Como o acoplamento é direto tem-se:

$$J_{cc} = J_C = 6 \text{kgm}^2$$

Logo, o tempo de aceleração é dado por:

$$t_a = 2\pi \cdot n \cdot \left( \frac{J_m + J_{cc}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right)$$

$$t_a = 2\pi \cdot 29,67 \cdot \left( \frac{1,92710 + 6}{1150 - 198,4} \right)$$

$$t_a = 1,55 \text{segundos}$$

Do catálogo tem-se:

$$t_{rb} = 26 \text{segundos}$$

Fazendo a comparação do  $t_a$  com o  $t_{rb}$ , tem-se:

$$t_a \leq 0,8 \times t_{rb}$$

$$t_a \leq 0,8 \times 26$$

$$t_a \leq 20,8s$$

**PORTANTO O MOTOR ESTÁ APTO A ACIONAR A BOMBA.**

***Especificação do motor:***

- Motor trifásico de indução, rotor de gaiola, marca WEG Alto Rendimento Plus;
- Potência: 90 kW 125 cv;
- Polaridade: IV Pólos;
- Tensão: 440 Volts;
- Frequência: 60 Hz;
- Carcaça: 280 S/M;
- Forma construtiva: B3D ;
- Grau de Proteção: IP 55;
- Classe de isolamento: F;
- Categoria: N ;
- Regime de Serviço: S1;
- Outras condições: \_\_\_\_\_.

## **2.9 ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES PARA COMPRESSORES**

### **2.9.1 COMPRESSOR**

#### **2.9.1.1 DEFINIÇÕES**

São máquinas destinadas a produzir a compressão de gases. Os compressores convertem trabalho mecânico em aquecimento.

A pressão de um gás ou vapor pode ser aumentada ou pela diminuição do volume (compressores de deslocamento positivo) ou pelo fornecimento de uma energia cinética que é convertida em forma de pressão em um difusor (compressores dinâmicos).

### **2.9.2 CRITÉRIOS PARA SELECIONAR O MOTOR QUE IRÁ ACIONAR O COMPRESSOR**

Vamos analisar os compressores a pistão e membranas que apresentam uma curva de conjugado constante com a rotação. Os compressores centrífugos e axiais apresentam curva de conjugado parabólico e portanto são análogos a bombas e ventiladores vistos anteriormente.

#### **2.9.2.1 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE ALIMENTAÇÃO**

- Tensão de alimentação do motor (V);
- Frequência nominal (Hz);
- Método de partida (quando não fornecido, será considerado como partida direta).

#### **2.9.2.2 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE**

- Altitude;
- Temperatura ambiente;
- Atmosfera ambiente.

Quando não são informados valores de altitude e temperatura serão considerados valores de norma, ou seja, 1000m e 40°C (para motores elétricos).

#### **2.9.2.3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS**

- Forma construtiva;
- Potência (kW);
- Rotação n (rps);
- Proteção térmica;
- Sentido de rotação (olhando-se pelo lado do acionamento).

### 2.9.2.4 CARACTERÍSTICAS DO COMPRESSOR

- Momento de inércia do compressor ( $J_c$ ) em  $\text{kgm}^2$ ;
- Conjugado de partida em Nm;
- Conjugado nominal em Nm;
- Velocidade nominal em rps;
- Dados do acoplamento;
- Esforços radiais e/ou axiais (se existirem).

### 2.9.3 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO MOTOR

A determinação da velocidade do motor é idêntica à aquela determinada anteriormente para ventiladores e bombas. Vamos apenas recordar as fórmulas, ou seja:

$$R = \frac{n_c}{n_N}$$

Onde:  $n_c$  \_ representa a rotação de saída do redutor que é a rotação do ventilador ou da bomba;  
 $n_N$  – representa a rotação de entrada do redutor que é a rotação do motor.

A rotação síncrona ( $n_s$ ) em rps é dada por:

$$n_s = \frac{f}{2p} \quad (2.9.3.3)$$

Onde:  $f$  = frequência da rede (Hz);  
 $2p$  = pares de pólos.

### 2.9.4 POTÊNCIA NOMINAL OU DE SERVIÇO DO MOTOR

Conhecendo-se o conjugado nominal do compressor ( $C_{cn}$ ) em Nm e a velocidade do compressor ( $n_c$ ) em rps, a potência requerida pelo compressor em kW é dada por:

$$P_c = 10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_c \cdot C_{cn} \quad (2.9.4.1)$$

Portanto, a potência nominal do motor em kW é dada por:

$$P_n = \frac{P_c}{\eta_{ac}} \quad (2.9.4.2)$$

### 2.9.5 TEMPO DE ACELERAÇÃO

Como o conjugado é constante com a velocidade, o conjugado médio da carga é dado por:

$$C_{cméd} = C_{cn} \quad (2.9.5.1)$$

**Obs.:** Esta é uma regra geral. O ideal é conhecer a curva conjugado X rotação do compressor.

Logo o conjugado resistente médio é dado por:

$$C_{rméd} = R \times C_{cméd} \quad (2.9.5.2)$$

Para compressores centrífugos e axiais, o motor pode ser categoria N. Para compressores de pistão ou membrana, o motor pode ser categoria H.

Para alguns casos, o motor pode ser categoria N desde que o conjugado de partida do motor não seja menor que o requerido pelo compressor na partida.

O conjugado motor médio tanto para categoria N como H é dado por:

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left( \frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \times 9,81 \quad (2.9.5.3)$$

O conjugado de partida ( $C_p/C_n$ ), máximo ( $C_{máx}/C_n$ ) e o conjugado nominal ( $C_n$ ) são obtidos no catálogo de motores WEG. O conjugado nominal é expresso em kgfm, o  $C_{mméd}$  é obtido em Nm.

O tempo de aceleração em segundos é dado por:

$$t_a = 2\pi \cdot n_N \cdot \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) \quad (2.9.5.4)$$

Onde  $J_m$  é o momento de inércia do motor e  $J_{ce}$  é o momento de inércia da carga referida ao eixo do motor.

Se  $t_a > 0,8 \cdot t_{rb}$  deve-se escolher um motor de potência superior e repetir a análise ou alterar a classe de isolamento, corrigindo o tempo de rotor bloqueado, conforme visto anteriormente.

**OBS:** Quando trata-se de um compressor a parafuso, tem-se que levar em consideração de que o seu conjugado de carga médio é cerca de 15% superior ao conjugado de carga nominal, conforme demonstrado no gráfico abaixo:

$$C_{\text{cméd}} = 1,15 \times C_{\text{cn}}$$

$$C_{\text{rméd}} = R \times C_{\text{cméd}}$$

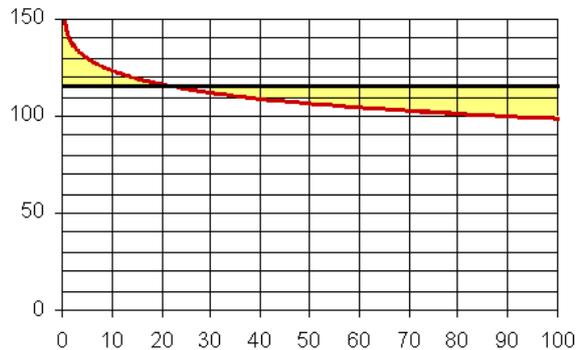


Figura 2.17 - Curva típica de um compressor a parafuso

### 2.9.6 EXEMPLOS

**OBS:** Todos os valores adotados, no caso do motor elétrico, provém de tabelas que encontram-se nos catálogos destes produtos. Para fins didáticos, na apostila, estamos adotando o catálogo de motores W21 modelo Mod.001.66/092004. É aconselhável, sempre que necessário, recorrer aos catálogos mais recentes ou, de uma maneira mais ágil, consultando nosso catálogo eletrônico no site da WEG ([www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)).

1. Determinar que motor, WEG Alto Rendimento Plus, que deve ser empregado para acionar um compressor a parafuso com as seguintes características:

*a)* Rede de alimentação:

- U = 440 V;
- f = 60 Hz;
- Partida direta.

*b)* Ambiente:

- Normal;

*c)* Formas Construtivas:

- Horizontal;
- Proteção térmica classe B;
- Sentido de rotação horário.

*d)* Compressor:

- Momento de inércia:  $J_c = 2,5 \text{ kgm}^2$ ;
- Conjugado de partida 37 Nm;

- Conjugado nominal  $C_{cn} = 24 \text{ Nm}$ ;
- Velocidade  $n_c = 1125 \text{ rpm}$ ;
- Redução do acoplamento  $R = 0,65$ ;
- Rendimento do acoplamento  $\eta_{ac} = 97\%$

**SOLUÇÃO:****a) Velocidade do motor ( $n_N$ ):**

Como o fator de redução do acoplamento é  $R = 0,65$ ; a rotação do motor é dada por:

$$n_N = \frac{n_c}{R} = \frac{1125}{0,65} = 1730 \text{ rpm}$$
$$n_N = \frac{1730}{60} = 28,83 \text{ rps}$$

Portanto o motor será de IV pólos.

**b) Potência nominal do motor:**

A potência requerida pelo compressor ( $P_c$ ) em kW será:

$$P_c = 10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_c \cdot C_{cn}$$
$$P_c = 10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1125}{60} \cdot 24$$
$$P_c = 2,82 \text{ kW}$$
$$P_n = \frac{P_c}{\eta_{ac}} = \frac{2,82}{0,97} = 2,91 \text{ kW}$$

De catálogo, com estes valores, encontra-se um motor WEG Alto Rendimento Plus de 4 cv/ 3 kW - IV pólos.

**c) Conjugado resistente médio ( $C_{rméd}$ ):**

O conjugado da carga média é dado por:

$$C_{cméd} = 1,15 \times C_{cn} = 1,15 \times 24 = 27,6 \text{ Nm}$$

O conjugado resistente médio é dado por:

$$C_{rméd} = R \times C_{cméd} = 0,65 \times 27,6 = 17,94 \text{ Nm}$$

**d) Conjugado motor médio ( $C_{mméd}$ ):**

Do catálogo de motores WEG obtêm-se:

$$C_n = 1,67 \text{ kgfm} \quad \frac{C_P}{C_n} = 2,9 \quad \frac{C_{máx}}{C_n} = 23,1$$

Logo:

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left( \frac{C_P}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 0,45 \times (2,9 + 23,1) \times 1,67 \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 44,23 \text{ Nm}$$

**e) Tempo de aceleração ( $t_a$ ):**

Do catálogo de motores WEG, tem-se:

$$J_m = 0,00918 \text{ kgm}^2$$

A inércia do compressor referida ao eixo do motor será:

$$J_{ce} = R^2 \times J_c$$

$$J_{ce} = (0,65)^2 \times 2,5 = 1,06 \text{ kgm}^2$$

Portanto, o tempo de aceleração é dado por:

$$t_a = 2\pi \cdot n_N \cdot \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right)$$

$$t_a = 2\pi \cdot 28,75 \cdot \left( \frac{0,00918 + 1,06}{44,23 - 17,94} \right) = 7,36 \text{ segundos}$$

Do catálogo tem-se que:

$$t_b = 8,0 \text{ segundos}$$

Como  $t_a > 0,8 t_b$ , deve-se escolher um motor de maior potência. Adota-se como base o de 3,7 kW / 5 cv, que é imediatamente superior ao motor anterior:

$$C_n = 2,09 \text{ kgf} ; \quad \frac{C_P}{C_n} = 3,0 ; \quad \frac{C_{máx}}{C_n} = 3,0$$

$$J_m = 0,01072 \text{ kgm}^2 ; \quad t_{rb} = 8,0 \text{ segundos} ; \quad n_N = 1730 \text{ rpm} = 28,83 \text{ rps}$$

Com base nestes dados, calcula-se  $t_a$ :

$$t_a = 2\pi \cdot 28,83 \cdot \left( \frac{0,01072 + 1,06}{55,09 - 17,94} \right) = 5,13 \text{ segundos}$$

Sabendo que  $t_{rb} = 8$  s, percebe-se que:

$$t_a \leq 0,8 \times t_{rb}$$

$$t_a \leq 0,8 \times 8$$

$$t_a \leq 6,4s$$

o que é verificado.

Outra opção seria a de trocar de classe de isolamento, de B para F (do motor anterior):

$$t_{rb(F)} = 1,3846 \times 8 = 11,07 \text{ segundos, utilizando isolamento F.}$$

Comprovando se a condição anterior foi satisfeita, tem-se:

$$t_a \leq 0,8 \times t_{rb} \qquad t_a \leq 0,8 \times 11,07$$

$$t_a \leq 8,86s$$

portanto, o motor anterior não conseguiria acionar a carga mesmo com outra isolação.

***Especificação do motor:***

- Motor trifásico de indução, rotor de gaiola, marca WEG Alto Rendimento Plus;
- Potência: 3,7 kW 5 cv;
- Polaridade: IV Pólos;
- Tensão: 440 Volts;
- Frequência: 60 Hz;
- Carcaça: 100 L;
- Forma construtiva: B3D ;
- Grau de Proteção: IP 55;
- Classe de isolamento: B;
- Categoria: N ;
- Regime de Serviço: S1;
- Outras condições: \_\_\_\_\_.

## 2.10 ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES PARA TALHAS

### 2.10.1 TALHAS

#### 2.10.1.1 DEFINIÇÕES

Talhas são máquinas mecânicas ou eletromecânicas que, pela utilização de uma relação força-velocidade, prestam-se ao levantamento e translação de cargas (vide figura 2.17).

#### 2.10.2 CRITÉRIOS PARA SELECIONAR O MOTOR QUE IRÁ ACIONAR A TALHA

As características do local e onde o motor irá trabalhar são fatores importantes na seleção do motor, e portanto, devem ser conhecidos previamente. São eles:

##### 2.10.2.1 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE ALIMENTAÇÃO

- Tensão de alimentação do motor;
- Frequência nominal;
- Método de partida (quando for suprimida, será considerada como partida direta).

##### 2.10.2.2 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

- Altitude;
- Temperatura ambiente;
- Atmosfera.

Quando não são informados os valores, serão considerados os de norma e atmosfera normal.

##### 2.10.2.3 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

- Forma construtiva;
- Potência;
- Rotação;
- Proteção térmica;
- Sentido de rotação;

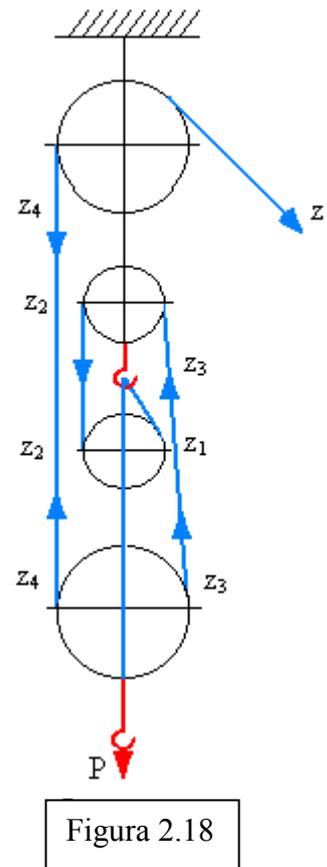


Figura 2.18

#### 2.10.2.4 CARACTERÍSTICAS DA TALHA

- Fator de redução da velocidade (R);
- Carga a ser levantada (m) em kg;
- Velocidade de levantamento da carga ( $V_c$ ) em m/s;
- Rendimento total do sistema (h);
- Momento de inércia do acoplamento e redutor ( $J_{ac}$ ) em  $\text{kgm}^2$ ;
- Diâmetro da polia ou tambor onde está suspensa a carga ( $D_c$ ) em m;
- Classe de operação de acordo com a norma NBR 9974 - Seleção de Motores Elétricos para Elevação ou, o número máximo de manobras por hora e o valor percentual da duração operacional do ciclo (ED).

#### 2.10.3 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO MOTOR

Conhecendo-se a velocidade de levantamento da carga ( $V_c$ ), determina-se a velocidade do tambor ( $n_c$ ) em rps por:

$$n_c = \frac{V_c}{\pi \cdot D_c} \quad (2.10.3.1)$$

Dividindo-se a velocidade do tambor pelo fator de redução, obtêm-se a velocidade requerida pelo motor.

$$n = \frac{n_c}{R} \quad (2.10.3.2)$$

Desta forma, determina-se qual a polaridade do motor a ser utilizado para o acionamento, porém ainda há necessidade de uma análise técnico-econômica para se determinar qual a melhor relação fator de redução e polaridade do motor (2p).

#### 2.10.4 DETERMINAÇÃO DO CONJUGADO NOMINAL REQUERIDO PELA TALHA ( $C_{CN}$ )

Em função da carga a ser levantada, do diâmetro do tambor ou polia, pode-se determinar o conjugado nominal ( $C_{cn}$ ) da talha da seguinte forma:

$$C_{cn} = \frac{m \cdot g \cdot D_c}{2} \quad (2.10.4.1)$$

*Obs.:* Esta expressão é válida em acionamento direto, sem polia móvel.

### 2.10.5 POTÊNCIA NOMINAL OU DE SERVIÇO DO MOTOR

Para se determinar a potência absorvida pela talha existem duas maneiras:

- a) *Conhecendo-se a carga a ser levantada (m) em kg e a velocidade de levantamento (V<sub>c</sub>) em m/s, a potência requerida pela talha em kW é dada por:*

$$P_t = 10^{-3} \cdot \frac{m \cdot g \cdot V_c}{\eta_t} \quad (2.10.5.1)$$

Onde:  $\eta_t$  representa o rendimento total da talha.

A seguir é mostrado os rendimentos isolados dos mecanismos das talhas. O rendimento total da talha ( $\eta_t$ ) é dado pelo produto dos rendimentos mostrados na tabela (2.10.5.1)

PEÇAS DA CONSTRUÇÃO	Com Mancais de...	
	Deslizamento	Rolamento
• Polias de corrente;	0,94	0,96
• Pinhão de corrente com rodas cabrestantes;	0,93	0,95
• Rodas de corrente para correntes de polias;	0,94	0,96
• Polias de cabo;	0,96	0,98
• Par de rodas frontais ou cônicas (lubrificação com graxa);	0,95	0,96
• Par de rodas frontais ou cônicas (lubrificação com óleo);	0,96	0,97
• Tambor para cabo;	0,96	0,98

Tabela 2.10.5.1 – Rendimentos Isolados dos Mecanismos de Talhas conforme catálogo do fabricante

- b) *Conhecendo-se o conjugado nominal da carga (C<sub>cn</sub>):*

Sendo o conjugado nominal da carga dado em Nm e a rotação (n<sub>c</sub>) dada em rps, a potência requerida pela talha em kW é dada por:

$$P_t = 10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_c \cdot C_{cn} \quad (2.10.5.2)$$

Portanto a potência nominal do motor (P<sub>n</sub>) em kW é dada por:

$$P_n = \frac{P_t}{\eta_{ac}} \quad (2.10.5.3)$$

### 2.10.6 REGIME DE TRABALHO DO MOTOR

O regime de trabalho de uma talha está mostrado na figura 2.18 e na tabela 2.10.6, é mostrada a relação de regimes básicos para talhas de acordo com a norma NBR 9974 - Seleção de Motores Elétricos para Elevação.

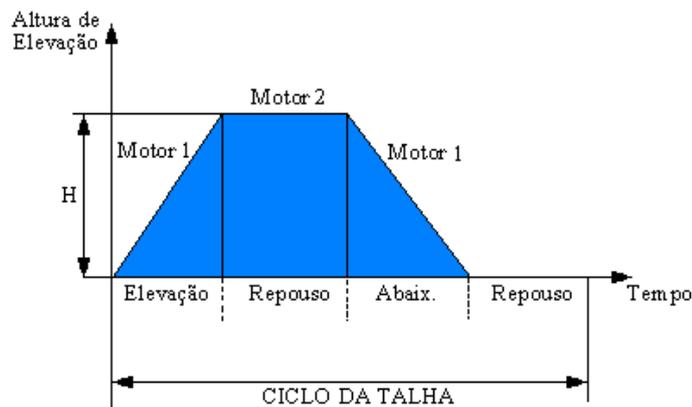


Figura 2.19

Classe	Regime...		
	...Intermitente Periódico		...de Tempo Limitado
	ED%	Manobras/h	Período de operação (min)
1 Dm	15	90	7,5
1 Cm	20	120	7,5
1 Bm	25	150	15,0
1 Am	30	180	15,0
2 m	40	240	30,0
3 m	50	300	30,0
4 m	60	360	60,0
5 m	60	360	> 60,0

Tabela 2.10.6.1 – Classes de Regimes de Trabalho de Talhas

**Exemplos:** S3-40% - 150 man./hora  
S4-60% - 150 man./hora

### 2.10.7 CATEGORIA DO MOTOR

Em função do regime de trabalho da talha, geralmente intermitente, o motor mais adequado é do tipo categoria D, cujas características normalizadas são:

- Conjugado de partida igual ou superior à 275% do nominal;
- Escorregamento nominal entre 5 e 8% ou entre 8 e 13%.

Entretanto, existem casos em que o motor categoria N satisfaz as exigências da aplicação.

### 2.10.8 TEMPO DE ACELERAÇÃO

Para o cálculo do tempo de aceleração é necessário que se conheça a curva de conjugado x rotação da carga.

No caso de talha, o conjugado permanece constante com a variação da rotação. Assim, tem-se:

$$C_c = C_0 + k_c = \text{Constante} \quad (2.10.8.1)$$

Considerando uma talha com conjugado nominal  $C_{cn}$ , tem-se:

$$C_{cn} = C_0 + k_c \quad (2.10.8.2)$$

Assim, o conjugado médio ( $C_{cméd}$ ) da talha é obtido pela expressão:

$$C_{cméd} = C_0 + k_c = C_{cn} \quad (2.10.8.3)$$

O conjugado resistente médio ( $C_{rméd}$ ) da talha em Nm referido ao eixo do motor é dado por:

$$C_{rméd} = R \times C_{cn} \quad (2.10.8.4)$$

Para acionar a talha, o motor deve ser categoria D ou dependendo do regime, poderá ser categoria N. Para motores categoria D, o conjugado motor médio ( $C_{mméd}$ ) em Nm é obtido pela expressão:

$$C_{mméd} = 0,60 \times \frac{C_P}{C_n} \times C_n \quad (2.10.8.5)$$

Para motores categoria N, o conjugado motor médio ( $C_{mméd}$ ) em Nm é obtido pela expressão:

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left( \frac{C_P}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \times 9,81 \quad (2.10.8.6)$$

Finalmente, o tempo de aceleração em segundos é obtido a partir da expressão:

$$t_a = 2 \cdot \pi \cdot n_N \cdot \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) \quad (2.10.8.7)$$

Onde:  $J_m$  = Momento de inércia do motor  
 $J_{ce}$  = Momento de inércia da talha referida ao eixo do motor

### 2.10.9 CORRENTE EQUIVALENTE

Para um regime intermitente é prático analisar-se a aplicação em termos de corrente eficaz ou equivalente.

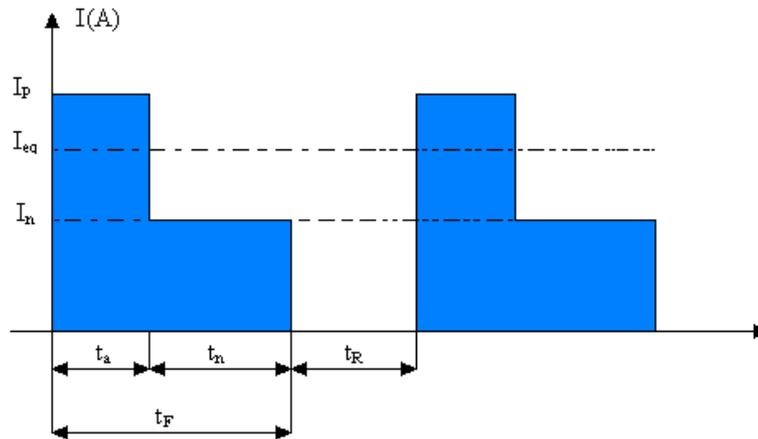


Figura 2.20

O valor da corrente equivalente será:

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n}\right)^2 = \frac{\left(\frac{I_p}{I_n}\right)^2 \times t_a + t_n}{t_F + \frac{t_R}{3}}$$

Para efetuar-se uma análise segura, deve-se considerar:

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n}\right)^2 < \frac{\Delta t_{classe}}{\Delta t_n}$$

Onde:  $\Delta t_n$  = Elevação de temperatura do motor quando está trabalhando em regime contínuo;  
 $\Delta t_{classe}$  = Máxima elevação de temperatura permitida pela classe de isolamento ( $\Delta T_{máx}$ ).

O fator  $(I_{eq}/I_n)^2$  é o fator de aquecimento do motor no regime calculado:

1) Se  $(I_{eq}/I_n)^2 \leq 1,0$ , o motor poderá ser utilizado no regime especificado.

2) Se  $(I_{eq}/I_n)^2 > 1,0$ , faz-se a seguinte análise:

- Considerando que os dados utilizados no cálculo da corrente equivalente foram obtidos do catálogo, onde os motores são classe B, tem-se:

*Se  $(I_{eq}/I_n)^2 \leq 1,25$  - Usar motor classe F;*

*Se  $(I_{eq}/I_n)^2 \leq 1,56$  - Usar motor classe H.*

### **2.10.10 ROTEIRO DE ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR**

- a) A partir dos dados da carga (talha) escolhe-se o motor que supõe-se irá satisfazer as condições de acionamento;
- b) A partir dos dados do motor calcula-se o tempo de aceleração;
- c) Calculado o tempo de aceleração do motor, é verificada se a condição de corrente equivalente é satisfeita. Caso isto não ocorra, deve-se escolher um motor maior e fazer nova verificação;

### **2.10.11 ROTEIRO DE ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR QUANDO NÃO SE CONHECE OS DADOS PARA O CÁLCULO DA CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL**

- a) A partir dos dados da talha escolhe-se o motor;
- b) Calcula-se a corrente equivalente caso o regime seja intermitente;
- c) A potência adequada ao regime será aquela cuja corrente nominal for semelhante à corrente equivalente calculada em *b*).

### **2.10.12 EXEMPLO**

**OBS:** Todos os valores adotados, no caso do motor elétrico, provém de tabelas que encontram-se nos catálogos destes produtos. Para fins didáticos, na apostila, estamos adotando o catálogo de motores W21 modelo Mod.001.66/092004. É aconselhável, sempre que necessário, recorrer aos catálogos mais recentes ou, de uma maneira mais ágil, consultando nosso catálogo eletrônico no site da WEG ([www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)).

- a) Dimensionar um motor que aciona uma talha com as características apresentadas a seguir:
  - I) Características da rede de alimentação:
    - $U = 220$  V;
    - $f = 60$  Hz;
    - Partida direta.

2) Características do ambiente:

- Temperatura < 40°C;
- Altitude < 1000 m;
- Normal.

3) Características construtivas:

- Horizontal;
- Sentido de rotação – Ambos;
- Proteção térmica classe B;

4) Características da talha:

- Carga a ser levantada:  $m = 400\text{kg}$ ;
- Velocidade de levantamento:  $V_c = 0,8\text{m/s}$ ;
- Redução:  $R = 0,041$ ;
- Rendimento total do sistema:  $\eta_t = 0,9600$ ;
- Diâmetro da polia:  $D_c = 0,22\text{m}$ ;
- Inércia da polia referida a sua própria velocidade:  $J_p = 0,03 \text{ kgm}^2$ ;
- Inércia do redutor referida à velocidade do motor:  $J_r = 0,0001 \text{ kgm}^2$ ;
- Inércia do acoplamento referida a velocidade do motor:  $J_{ac} = 0,0002 \text{ kgm}^2$ ;
- Aceleração da gravidade:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;
- Classe de operação: 1Cm (120man/h - 20% de ED).

SOLUÇÃO:

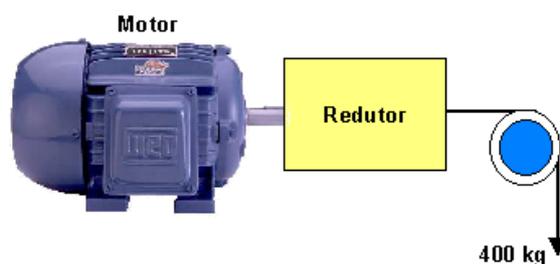


Figura 2.21 – Esquema de acoplamento

Pela equação (2.10.5.1), determina-se a potência nominal do motor em kW:

$$P_t = 10^{-3} \cdot \frac{m \cdot g \cdot V_c}{\eta_t} = \frac{10^{-3} \times 400 \times 9,81 \times 0,8}{0,96} = 3,27 \text{ kW}$$

Pela equação (2.10.3.1) determina-se a velocidade da polia em rps:

$$n_c = \frac{V_c}{\pi \cdot D_c} = \frac{0,8}{\pi \times 0,22} = 1,16 \text{ rps}$$

Pela equação (2.10.3.2) determina-se a velocidade do motor em rps:

$$n = \frac{n_c}{R} = \frac{1,16}{0,041} = 28,3 \text{ rps}$$

Como  $n_{\text{rpm}} = 28,3 \cdot 60 = 1698$ , conclui-se ser um motor de IV pólos.

Do catálogo de motores WEG Alto Rendimento Plus vê-se, que a potência normalizada é de 3,7 kW / 5,0 cv, que apresenta reserva em relação a potência nominal calculada.

⇒ **CÁLCULOS DA INÉRCIA TOTAL A SER TRACIONADA PELO MOTOR.**

a) Inércia da massa a ser levantada:

$$J_c = m \cdot \left( \frac{V_c}{2 \cdot \pi \cdot n_c} \right)^2 \cong \text{massa} \cdot (\text{raio})^2$$

$$J_c = 400 \cdot \left( \frac{0,8}{2 \cdot \pi \cdot 1,16} \right)^2 = 4,82 \text{ kgm}^2$$

referida ao eixo do motor, será:

$$J_e = J_c \times R^2 = 0,0081 \text{ kgm}^2$$

b) Inércia da polia referida ao eixo do motor:

$$J_{pe} = J_p \times R^2 = 0,03 \times (0,041)^2 = 5,04 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

c) Inércia total da carga referido ao eixo do motor:

$$J_{ce} = J_e + J_{pe} + J_{re} + J_{ae}$$

$$J_{ce} = 0,0081 + 0,0000504 + 0,0001 + 0,0002$$

$$J_{ce} = 8,45 \times 10^{-3} = 0,00845 \text{ kgm}^2$$

⇒ **DADOS DO MOTOR A SER ANALISADO (CATÁLOGO) 3,7 kW, IV pólos**

- $I_n = 13,8 \text{ A}$ ;
- $J_m = 0,01072 \text{ kgm}^2$ ;
- $C_n = 2,08 \text{ kgfm}$ ;

- $n_N = 1720$ ;
- Classe B;
- $\frac{C_P}{C_n} = 3,0$ ;
- $\frac{I_P}{I_n} = 8,0$ ;
- $\frac{C_{m\acute{a}x}}{C_n} = 3,0$ .

### ⇒ CÁLCULO DO TEMPO DE ACELERAÇÃO

A velocidade do motor em rps é calculada por:

$$n_N = \frac{1720}{60} = 28,67 \text{ rps}$$

Conjugado motor médio ( $C_{mméd}$ ), é dado por:

$$C_{mméd} = 0,45 \cdot \left( \frac{C_P}{C_n} + \frac{C_{m\acute{a}x}}{C_n} \right) \cdot C_n \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 0,45 \times (3,0 + 3,0) \times 2,08 \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 55,09 \text{ Nm}$$

O conjugado da carga é calculado por:

$$C_c = \frac{P_t}{10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_c} \quad \Leftrightarrow \quad C_c = \frac{3,27}{10^{-3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,16} = 448,65 \text{ Nm}$$

O conjugado resistente médio é dado por:

$$C_{rméd} = C_c \times R = 448,7 \times 0,041 = 18,4 \text{ Nm}$$

O tempo de aceleração pode ser dado por:

$$t_a = 2 \cdot \pi \cdot n_N \cdot \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right)$$

$$t_a = 2 \cdot \pi \cdot 28,67 \cdot \left( \frac{0,01072 + 0,00845}{55,09 - 18,4} \right)$$

$$t_a = 0,094 \text{ segundos}$$

### ⇒ CÁLCULO DA CORRENTE EQUIVALENTE

Procede-se agora a análise para o regime intermitente, assim, adota-se os dados de um motor categoria N.

De acordo com a figura 2.21, que representa o ciclo de trabalho de uma talha, tem-se:

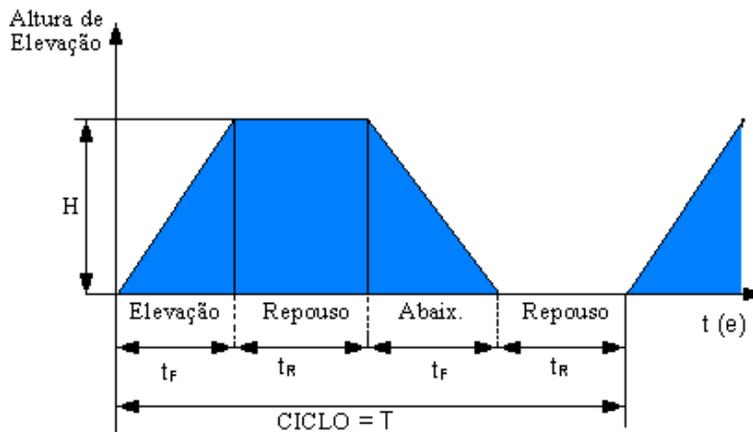


Figura 2.22 – Ciclo de Trabalho de uma Talha

Lembrando que o ciclo da talha é 120 man/h e 20%ED. Como o motor opera duas vezes em um ciclo de operação da talha temos que o ciclo do motor corresponde a 240 partidas/hora, 20% ED. Logo:

$$\%ED = \frac{2 \cdot t_F}{2 \cdot (t_F + t_R)} = \frac{t_F}{t_F + t_R}$$

e o período de funcionamento do motor é dado por:

$$T = \frac{3600}{2 \times 120} = 15 \text{ segundos}$$

Sendo o ED de 20%, tem-se:

$$t_F = \%ED \times T = 0,2 \times 15, \text{ portanto, } t_F = 3,0 \text{ segundos.}$$

$$t_R = 15 - 3 = 12 \text{ segundos.}$$

Cálculo da corrente equivalente:

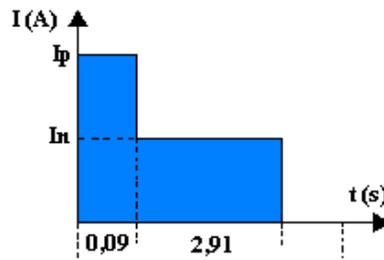


Figura 2.23

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n}\right)^2 = \frac{(8,0)^2 \times 0,09 + 2,91}{3 + \frac{12}{3}}$$

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n}\right)^2 = 1,275$$

Com esta corrente equivalente significa que o motor terá uma solicitação térmica maior do que com regime contínuo, logo deve-se especificar um motor com isolamento F.

Observa-se também que nestas aplicações, a inércia da carga sempre é pequena e o número de partidas é elevado e que na maioria dos casos um motor categoria N satisfaz as exigências do regime.

#### **Especificação do Motor**

- Motor trifásico de indução, rotor de gaiola, marca WEG Alto Rendimento Plus;
- Potência: 3,7 kW 5 cv;
- Polaridade: IV Pólos;
- Tensão: 220 Volts;
- Frequência: 60 Hz;
- Carcaça: 100 L;
- Forma construtiva: B3D ;
- Grau de Proteção: IP 55;
- Classe de isolamento: F;
- Categoria: N ;
- Regime de Serviço: S4 – 20%, 240 part/h;
- Outras condições: \_\_\_\_\_.

### 3 *MANUTENÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS*

#### 3.1 *INTRODUÇÃO*

Este capítulo abrange todos os motores assíncronos de indução com rotor de gaiola WEG, isto é, motores trifásicos das carcaças 63 à 355, e monofásicos.

Os motores referenciados neste manual estão em constante aperfeiçoamento, por isso as informações estão sujeitas à modificações sem aviso prévio.

Para maiores informações consulte a **WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A., DIVISÃO MOTORES, SEÇÃO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA.**

#### 3.2 *INSTRUÇÕES BÁSICAS*

##### 3.2.1 *INSTRUÇÕES GERAIS*

Todos os profissionais que realizam serviços em equipamentos elétricos, seja na instalação, operação ou manutenção, deverão ser permanentemente informados e atualizados sobre as Normas e prescrições de segurança que regem o serviço, e aconselhados a segui-las. Cabe ao responsável certificar-se antes do início do trabalho, de que tudo foi devidamente observado, e alertar seu pessoal para os perigos inerentes à tarefa proposta.

Recomenda-se que este serviço seja efetuado por pessoal qualificado.

Como medida de segurança, os equipamentos para combate a incêndios e avisos sobre primeiros socorros não deverão faltar no local de trabalho, devendo estar sempre em locais bem visíveis e de fácil acesso.

##### 3.2.2 *FORNECIMENTO*

Os motores antes de serem expedidos, são balanceados dinamicamente com meia chaveta e testados na fábrica, garantindo o seu perfeito funcionamento.

Ao recebê-los, recomenda-se cuidado e inspeção, verificando a existência de eventuais danos provocados pelo transporte.

Caso eles tenham ocorrido, notificar imediatamente a empresa transportadora e o representante WEG mais próximo.

##### 3.2.3 *ARMAZENAGEM*

Os motores não devem ser erguidos pelo eixo, mas sim pelo olhal de suspensão localizados na carcaça.

O levantamento ou depósito deve ser suave, sem choques, caso contrário, os rolamentos podem ser danificados.

Se os motores não forem imediatamente instalados, devem ser armazenados em local seco, isento de poeira, gases, agentes corrosivos, dotados de temperatura uniforme, colocando-os em posição normal e sem encostar neles outros objetos.

Motores armazenados por um período prolongado, poderão sofrer queda da resistência de isolamento e oxidação nos rolamentos.

Os mancais e o lubrificante merecem importantes cuidados durante o período de armazenagem. Permanecendo o motor inativo, o peso do eixo do rotor tende a expulsar a graxa para fora da área entre as superfícies deslizantes do rolamento, removendo a película que evita o contato metal-com-metal.

Como prevenção contra a formação de corrosão por contato nos rolamentos, os motores não deverão permanecer nas proximidades de máquinas que provoquem vibrações, e os eixos deverão ser girados manualmente pelo menos uma vez por mês.

#### **Recomenda-se na armazenagem de rolamentos:**

- Ambiente deverá ser seco, umidade relativa não superior a 60 %;
- Local limpo, com temperatura entre 10°C e 30°C;
- Empilhamento máximo de 5 caixas;
- Longe de produtos químicos e canalização de vapor, água ou ar comprimido;
- Não depositá-los sobre estrados de madeira verde, encostá-los em parede ou chão de pedra;
- Fazer rodízio de estoque, fazendo com que os rolamentos mais antigos sejam utilizados primeiro;
- Rolamento de dupla blindagem não podem permanecer por mais de dois anos em estoque;

#### **Com relação a armazenagem de motores:**

- Para motores montados e em estoque, devem ter seus eixos periodicamente girados pelo menos uma vez por mês para renovar a graxa na pista do rolamento;
- Com relação a resistência de isolamento, é difícil prescrever regras fixas para seu valor real uma vez que ela varia com o tipo, tamanho, tensão nominal, qualidade e condições do material isolante usado, método de construção e os antecedentes da construção da máquina.

Recomenda-se que sejam feitos registros periódicos que serão úteis como referência para se tirar conclusões quanto ao estado em que a máquina se encontra.

A seguir são indicados os valores que podem ser esperados de uma máquina limpa e seca, a 40°C, quando a tensão de ensaio é aplicada durante um minuto.

A resistência  $R_m$  do isolamento é dada pela fórmula:

$$R_m = U_n + 1$$

Onde:  $R_m$  = resistência do isolamento mínima, recomendada em M $\Omega$ , com o enrolamento a temperatura de 40°C;  
 $U_n$  = tensão nominal da máquina em kV.

Se o ensaio for feito em temperatura diferente, será necessário corrigir a temperatura para 40°C, utilizando-se uma curva de variação da resistência do isolamento em função da temperatura, levantada com a própria máquina.

Se não se dispõe desta curva, pode-se empregar a correção aproximada fornecida pela curva da Figura 3.1; nota-se que a resistência praticamente dobra a cada 10°C em que se reduz a temperatura de isolamento.

Em máquinas novas, muitas vezes podem ser obtidos valores inferiores, devido a presença de solvente nos vernizes isolantes que posteriormente se volatilizam durante a operação normal. Isto não significa necessariamente que a máquina está sem condições para a operação, uma vez que a resistência de isolamento se elevará depois de um período em serviço.

Em máquinas velhas, em serviço, podem ser obtidos freqüentemente valores muito maiores. A comparação com valores obtidos em ensaios anteriores na mesma máquina, em condições similares de carga, temperatura e umidade servem como uma melhor indicação das condições da isolamento do que o valor obtido num único ensaio, sendo considerada suspeita qualquer redução grande ou brusca.

Geralmente a resistência do isolamento é medida com um MEGGER.

Se a resistência de isolamento for menor que os valores obtidos pela fórmula acima, os motores terão que ser submetidos a um processo de secagem.

Recomenda-se o uso de uma estufa como fonte externa para a desumidificação, onde a taxa de incremento de temperatura não deve exceder 5°C por hora e atingir a temperatura final de 110°C.

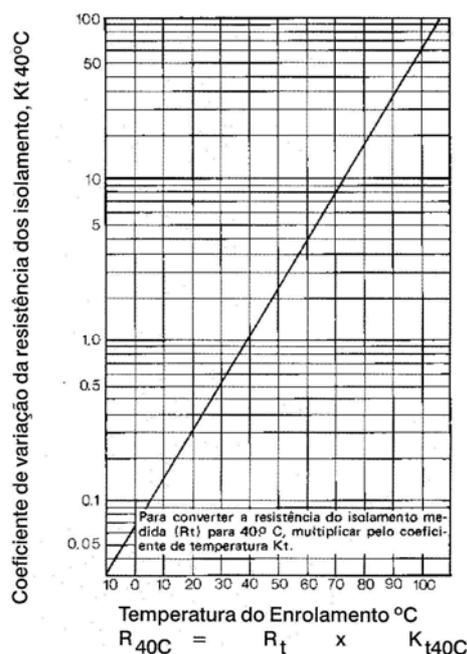


Figura 3.1 – Curva de cálculo aproximado da resistência de isolamento

### 3.3 INSTALAÇÃO

Máquinas elétricas devem ser instaladas em locais de fácil acesso para inspeção e manutenção.

Se a atmosfera ambiente for úmida, corrosiva ou contiver substâncias ou partículas inflamáveis é importante assegurar o correto grau de proteção

A instalação de motores onde existam vapores, gases ou poeiras inflamáveis ou combustíveis, oferecendo possibilidade de fogo ou explosão deve ser feita de acordo com as Normas ABNT / IEC 7914, NBR 5418, VDE 0165, NEC - Art. 500, UL-674.

Em nenhuma circunstância os motores poderão ser cobertos por caixas ou outras coberturas que possam impedir ou diminuir o sistema de ventilação e/ou a livre circulação do ar durante seu funcionamento.

A distância recomendada entre a entrada de ar do motor (para motores com ventilação externa) e a parede deve ficar em torno de  $\frac{1}{4}$  do diâmetro da abertura da entrada de ar.

O ambiente no local de instalação deverá ter condições de renovação do ar da ordem de 20 m<sup>3</sup> por minuto para cada 100 kW de potência da máquina, considerando temperatura ambiente de até 40°C e altitude de até 1000 m.

#### 3.3.1 ASPECTOS MECÂNICOS

##### 3.3.1.1 FUNDAÇÕES

A fundação onde será colocado o motor deverá ser plana e isenta de vibrações. Recomenda-se portanto, uma fundação de concreto para motores acima de 100 cv.

O tipo de fundação dependerá da natureza do solo no local da montagem, ou da resistência dos pisos em edifícios.

No dimensionamento da fundação do motor, deverá ser considerado o fato de que o motor pode, ocasionalmente, ser submetido a um torque maior que o torque nominal.

Baseado na figura 3.2, os esforços sobre a fundação podem ser calculados pelas equações:

$$F_1 = 0,5 \times g \times G - \left( 4 \times \frac{C_{m\acute{a}x}}{A} \right)$$

$$F_2 = 0,5 \times g \times G + \left( 4 \times \frac{C_{m\acute{a}x}}{A} \right)$$

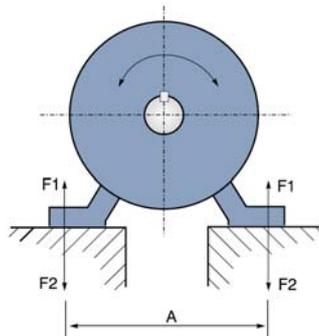


Figura 3.2 – Esforços sobre a base

Onde :	$F_1$ e $F_2$	- Esforços de um lado;
	$g$	- Aceleração da gravidade ( $9.8 \text{ m/s}^2$ );
	$G$	- Peso do motor (Kg);
	$C_{\text{máx}}$	- Torque máximo (Nm);
	$A$	- Obtido do desenho dimensional do motor (m);

Chumbadores ou bases metálicas devem ser usadas para fixar o motor na fundação.

### 3.3.1.2 TIPOS DE BASES

#### a) Bases Deslizantes:

Em acionamento por polias, o motor deve estar montado sobre bases deslizantes (trilhos), de modo a garantir que as tensões sobre as correias sejam apenas o suficiente para evitar o deslizamento durante o funcionamento e também para não permitir que trabalhem enviesadas, o que provocaria danos aos encostos do mancal.

O trilho mais próximo da polia motora é colocado de forma que o parafuso de posicionamento fique entre o motor e a máquina acionada.

O outro trilho deve ser colocado com o parafuso na posição oposta como mostra a Figura 3.3.

O motor é aparafusado nos trilhos e posicionado na fundação. A polia motora é então alinhada de forma que seu centro esteja no mesmo plano da polia a ser movida, e os eixos do motor e da máquina estejam paralelos.

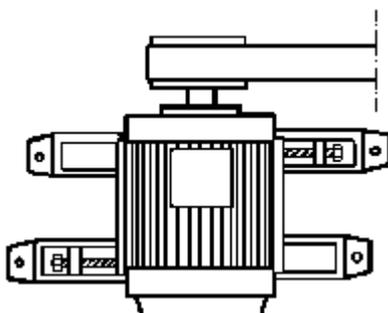


Figura 3.3 – Posicionamento dos trilhos para alinhamento do motor

#### b) Chumbadores:

Dispositivos para a fixação de motores diretamente na fundação quando os mesmos requerem acoplamento elástico.

Este tipo de acoplamento é caracterizado pela ausência de esforços sobre os rolamentos e de custos reduzidos.

Os chumbadores não devem ser pintados nem estar enferrujados pois isto seria prejudicial à aderência do concreto e provocaria o afrouxamento dos mesmos.

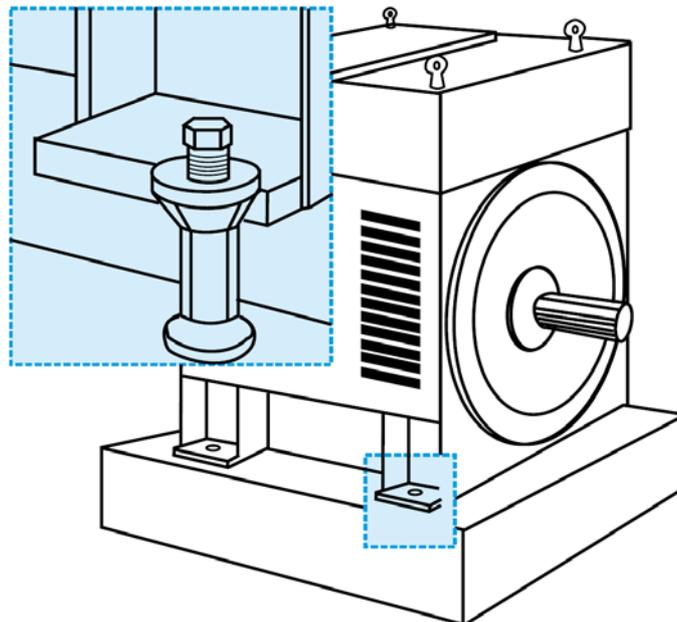


Figura 3.4 – Motor montado em base de concreto com chumbadores

**c) Base Metálica:**

Conjunto moto-geradores são montados e testados na fábrica antes do envio.

Contudo, antes de entrar em serviço no local definitivo, o alinhamento dos acoplamentos deve ser cuidadosamente verificado pois a configuração da base pode ter se alterado durante o transporte em decorrência de tensões internas do material.

A base pode se deformar ao ser rigidamente fixada a uma fundação não adequadamente plana.

As máquinas não devem ser removidas da base comum para alinhamento; a base deve ser nivelada na própria fundação, usando níveis de bolha (ou outros instrumentos niveladores).

Quando uma base metálica é utilizada para ajustar a altura da ponta do eixo do motor com a ponta de eixo da máquina, esta deve ser nivelada na base de concreto.

Após a base ter sido nivelada, os chumbadores apertados e os acoplamentos verificados, a base metálica e os chumbadores são concretados.

### 3.3.1.3 ALINHAMENTO

A máquina elétrica deve estar perfeitamente alinhada com a máquina acionada, especialmente nos casos de acoplamento direto.

Um alinhamento incorreto pode causar defeito nos rolamentos, vibração e mesmo, ruptura do eixo.

A melhor forma de se conseguir um alinhamento correto é usar relógios comparadores, colocados um em cada semi-luva, um apontando radialmente e outro axialmente.

Assim é possível verificar simultaneamente o desvio de paralelismo (figura 3.5 – a) e o desvio de concentricidade (figura 3.5 – b), ao dar-se uma volta completa nos eixos. Os mostradores não devem ultrapassar a leitura de 0,05 mm.

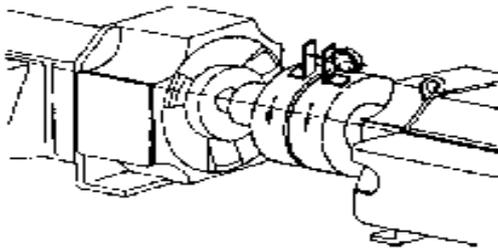


Figura 3.5a – Desvio de paralelismo

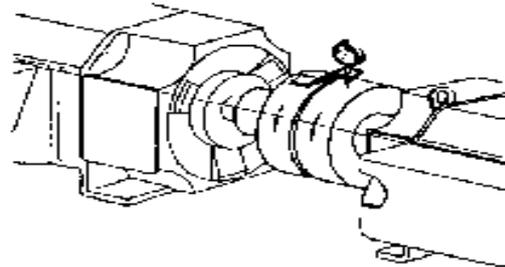


Figura 3.5b – Desvio de concentricidade

### 3.3.1.4 ACOPLAMENTO

#### a) *Acoplamento Direto:*

Deve-se sempre preferir o acoplamento direto, devido ao menor custo, reduzido espaço ocupado, ausência de deslizamento (correias) e maior segurança contra acidentes.

No caso de transmissão com redução de velocidade, é usual também o acoplamento direto através de redutores.

**CUIDADOS:** Alinhar cuidadosamente as pontas de eixos, usando acoplamento flexível, sempre que possível, deixando folga mínima de 3 mm entre os acoplamentos (GAP).

#### b) *Acoplamento por Engrenagens:*

Acoplamento por engrenagens mal alinhadas dão origem a solavancos que provocam vibrações na própria transmissão e no motor.

É imprescindível, portanto, que os eixos fiquem em alinhamento perfeito, rigorosamente paralelos no caso de engrenagens retas e, em ângulo certo em caso de engrenagens cônicas ou helicoidais.

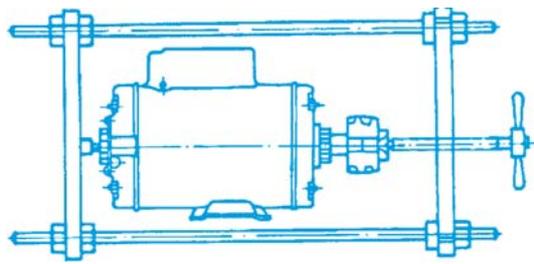
O engrenamento perfeito poderá ser controlado com inserção de uma tira de papel, na qual apareça após uma volta, o decalque de todos os dentes.

#### c) *Acoplamento por Polias e Correias:*

Quando uma relação de velocidade é necessária, a transmissão por correia é a mais freqüentemente usada.

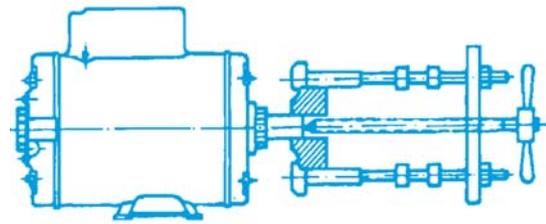
**Montagem de Polias:** para a montagem de polias em pontas de eixo com rasgo de chaveta e furo roscado na ponta, a polia deve ser encaixada até na metade do rasgo da chaveta apenas com esforço manual do montador.

Para eixos sem furo roscado, recomenda-se aquecer a polia cerca de 80°C ou o uso de dispositivos como mostrado na figura 3.6.



(a)

Dispositivo para montagem de polias



(b)

Dispositivo para a remoção de polias

Figura 3.6

Deve ser evitado o uso de martelos na montagem de polias e rolamentos para evitar marcas nas pistas dos rolamentos. Estas marcas, inicialmente são pequenas, crescem durante o funcionamento e podem evoluir até danificar totalmente.

O posicionamento correto da polia é mostrado na figura 3.7.

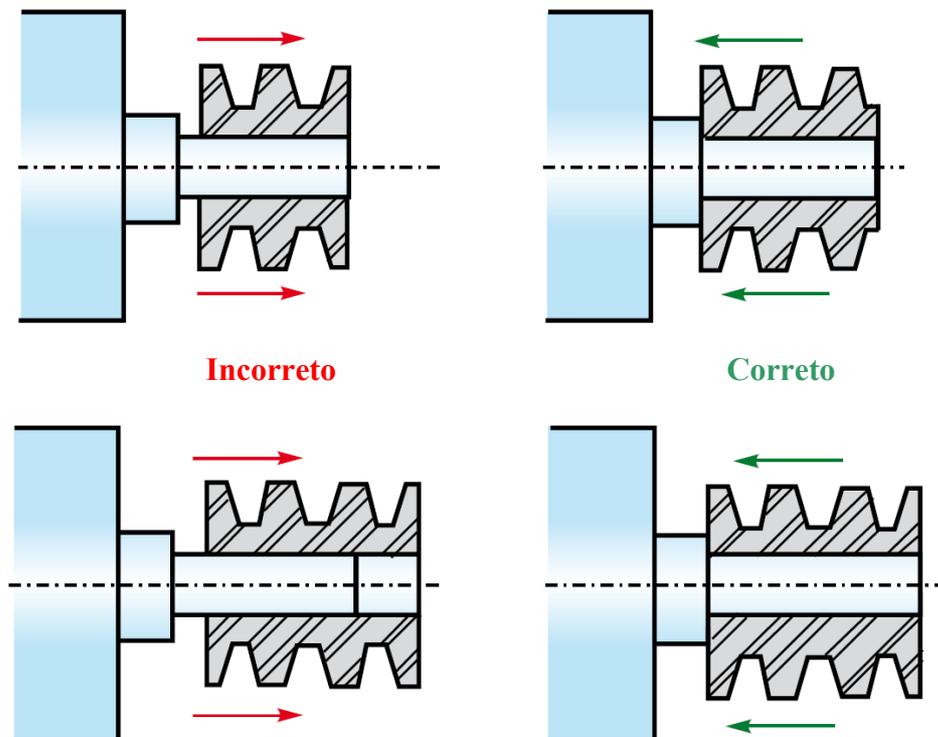


Figura 3.7 – Posicionamento correto da polia no eixo

**Funcionamento:** Devem-se evitar esforços radiais desnecessários nos mancais, situando os eixos paralelos entre si e as polias perfeitamente alinhadas. (figura 3.8).

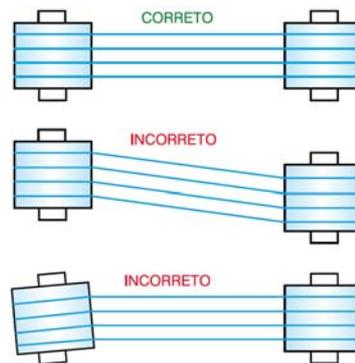


Figura 3.8 – Correto alinhamento das polias

Deve ser evitado o uso de polias demasiadamente pequenas porque estas provocam flexões no eixo do motor, devido ao fato de que a tração na correia aumenta a medida que diminui o diâmetro da polia. A tabela 3.3.1.4.1 determina o diâmetro mínimo das polias, e as tabelas 2 e 3 fazem referência aos esforços máximos admitidos sobre os mancais dos motores até a carcaça 355.

DIÂMETRO PRIMITIVO MÍNIMO DE POLIAS							
Carcaça	ROLAMENTO DE ESFERAS						
	Rolamento	MEDIDA X ( mm )					
		20	40	60	80	100	120
63	6201-ZZ	40	---	---	---	---	---
71	6203-ZZ	40	40	---	---	---	---
80	6204-ZZ	40	40	---	---	---	---
90	6205-ZZ	63	71	80	---	---	---
100	6206-ZZ	71	80	90	---	---	---
112	6307-ZZ	71	80	90	---	---	---
132	6308-ZZ	---	100	112	125	---	---
160	6309	---	140	160	180	200	---
180	6311	---	---	160	180	200	224
200	6312	---	---	200	224	250	280

Tabela 3.3.1.4.1

Carcaça	Pólos	ROLAMENTO DE ESFERAS				
		Rolamento	MEDIDA X ( mm )			
			50	80	110	140
225	II	6314	190	200	212	224
	IV-VI-VIII	6314	250	265	280	300
250	II	6314	224	233	250	265
	IV-VI-VIII	6314	375	400	425	450
280	II	6314	300	315	335	355
	IV-VI-VIII	6316	500	530	560	600
315	II	6314	-----	-----	-----	-----
	IV-VI-VIII	6319	-----	-----	-----	-----
355	II	6314	310	300	290	285
	IV-VI-VIII	6322	-----	-----	-----	-----

Tabela 3.3.1.4.2

**Obs.:** Para motores de II pólos, consultar a fábrica.

Correias que trabalham lateralmente enviesadas, transmitem batidas de sentido alternante ao rotor, e poderão danificar os encostos do mancal.

O escorregamento da correia poderá ser evitado com aplicação de um material resinoso, como o breu, por exemplo.

A tensão na correia deverá ser apenas suficiente para evitar o escorregamento no funcionamento.

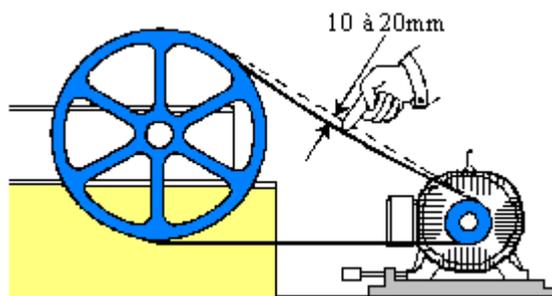


Figura 3.9 – Tensões na correia

Carcaça	Pólos	ROLAMENTO DE ROLOS						
		Rolamento	MEDIDA X ( mm )					
			50	80	110	140	170	210
225	II	NU 314	50	50	65	80	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 314	77	80	110	136	-----	-----
250	II	NU 314	63	66	69	84	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 314	105	115	145	175	-----	-----
280	II	NU 314	95	100	105	110	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 316	135	140	170	210	-----	-----
315	II	NU 314	170	175	180	185	-----	-----
	IV-VI-VIII	NU 319	-----	170	185	225	285	-----
355	II	NU 314	-----	-----	225	295	340	390
	IV-VI-VIII	NU 322	-----	-----	345	410	455	565

Tabela 3.3.1.4.3

CARGA MÁXIMA RADIAL ADMISSÍVEL (kgf) - MOTORES IP 55 - f=60 Hz – ROLAMENTO DE ESFERAS				
CARÇAÇA	POLARIDADE			
	II	IV	VI	VIII
63	25	30	-----	-----
71	30	40	-----	-----
90	40	55	60	70
100	60	80	90	100
112	106	130	150	170
132	130	160	190	200
160	160	200	230	260
180	210	270	310	350
200	240	320	370	420
225	310	420	450	510
250	290	380	440	490
280	360	460	520	580
315	340	500	580	660
355	----	1570	1570	1570

Tabela 3.3.1.4.4

CARGA MÁXIMA RADIAL (kgf) - f = 60 Hz				
MOTORES NEMA 56				
CARCAÇA	FORÇA RADIAL (Kgf)			
	POLARIDADE			
	II	IV	VI	VIII
56 A	25	35	-----	-----
56 B	30	35	-----	-----
56 D	35	45	-----	-----
MOTO – SERRA				
80 S - MS	100	-----	-----	-----
80 H - MS	100	-----	-----	-----
80 L - MS	100	-----	-----	-----
90 L - MS	130	160	-----	-----

Tabela 3.3.1.4.5

CARGA MÁXIMA RADIAL ADMISSÍVEL (kgf) - MOTORES IP 55 - f=60 Hz – ROLAMENTO DE ROLOS				
CARCAÇA	POLARIDADE			
	II	IV	VI	VIII
160	-----	387	386	385
180	-----	616	612	611
200	-----	868	865	864
225	-----	863	862	860
250	-----	1036	1034	1030
280	-----	1589	1570	1569
315	-----	1781	1754	1750

Tabela 3.3.1.4.6

Com relação aos motores fracionários abertos NEMA 48 e 56, os mesmos apresentam as seguintes características mecânicas:

- Rotor de gaiola;
- Tipo: aberto à prova de pingos;
- Isolamento: classe “B” (130°C) ABNT -NBR 7094;
- Ventilação: interna;
- Mancais: rolamentos de esfera;
- Normas: NEMA MG – 1;
- Tensão: monofásico - 110 / 220 V  
trifásico - 220 / 380 V;
- Frequência: 60 Hz; 50 Hz sob consulta.

Demais características que não estejam sido citadas poderão ser obtidas diretamente com a Seção de Assistência Técnica, WEG Equipamentos Elétricos S.A.

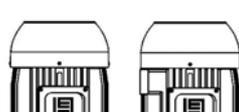
CARGA MÁXIMA AXIAL ADMISSÍVEL (kgf) - f = 60 Hz																
MOTORES TOTALMENTE FECHADOS IP 55																
Carcaça	POSIÇÃO / FORMA CONSTRUTIVA															
																
	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII
63	28	37	43	----	28	37	43	----	27	35	42	----	27	35	42	----
71	30	41	48	54	37	50	59	66	29	39	46	53	36	49	57	65
80	36	49	57	65	48	66	77	86	34	46	54	62	47	63	74	84
90	46	63	76	85	50	68	84	94	43	58	72	80	47	64	79	89
100	49	67	81	92	70	95	115	130	44	60	74	85	65	89	109	123
112	69	93	113	130	122	166	201	227	62	84	104	121	116	157	191	218
132	85	118	141	160	145	202	241	271	72	103	123	139	133	186	222	250
160	122	168	192	221	208	280	324	369	97	141	159	192	183	253	291	340
180	----	222	254	287	----	379	439	494	----	186	203	236	----	344	388	445
200	170	225	271	310	319	421	499	566	122	161	208	252	271	355	436	508
225	406	538	632	712	406	538	632	712	340	454	540	620	340	454	540	620
250	397	528	617	696	397	528	617	696	319	425	497	576	319	425	497	576
280	382	608	721	814	382	608	721	814	259	451	541	636	259	451	541	636
315	349	567	675	766	349	567	675	766	161	327	400	493	161	327	400	493
355	318	638	748	846	318	638	748	846	46	215	249	271	46	215	249	271

Tabela 3.3.1.4.7

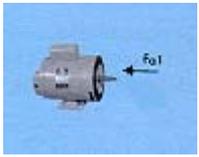
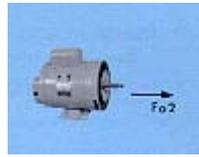
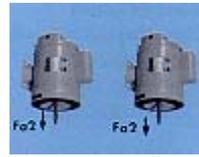
CARGA MÁXIMA AXIAL ADMISSÍVEL (kgf) - f = 60 Hz								
Carcaça	POSIÇÃO / FORMA CONSTRUTIVA							
								
	II	IV	II	IV	II	IV	II	IV
56 A	30	40	37	50	28	38	35	48
56 B	30	40	36	49	28	37	35	47
56 D	28	39	47	65	26	36	45	62

Tabela 3.3.1.4.8

### 3.3.2 ASPECTOS ELÉTRICOS

#### 3.3.2.1 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO

É muito importante que se observe a correta alimentação de energia elétrica. A seleção dos condutores, sejam os dos circuitos de alimentação dos motores, sejam os dos circuitos terminais ou dos de distribuição, deve ser baseada na corrente nominal dos motores, conforme Norma ABNT - NBR 5410:2004.

As tabelas 3.3.2.1.1, 3.3.2.1.2 e 3.3.2.1.3 indicam as bitolas mínimas dos condutores, dimensionados pelos critérios da máxima capacidade de corrente e pela máxima queda de tensão, em função da distância do centro de distribuição ao motor e do tipo de instalação (aérea ou em eletrodutos).

**BITOLA DE FIOS E CABOS PARA INSTALAÇÃO DE MOTORES MONOFÁSICOS  
INSTALADOS EM ELETRODUTOS NÃO METÁLICOS  
(QUEDA DE TENSÃO < 2%)**

(Tensão (V))	DISTÂNCIA DO MOTOR AO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO (metros)													
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
110	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
220	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300
380	35	50	70	80	100	140	170	200	240	280	310	350	430	520
440	40	60	80	100	120	160	200	240	280	320	360	400	500	600
Corrente (A)	BITOLA DO CONDUTOR (condutor em mm <sup>2</sup> )													
	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16	25
7	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16	25
9	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	16	16	16	25	25
11	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	16	25	25	35
14,5	2,5	4	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	35	35
19,5	4	6	10	10	10	16	16	25	25	25	35	35	50	50
26	6	10	10	16	16	25	25	25	35	35	50	50	70	70
34	6	10	16	16	16	25	35	35	50	50	50	70	70	95
46	10	16	16	25	25	35	50	50	70	70	70	95	95	120
61	16	16	25	25	35	50	50	70	70	95	95	120	120	150
80	25	25	35	35	50	70	70	95	95	120	120	150	185	240
99	35	35	35	50	50	70	95	95	120	150	150	185	240	240
119	50	50	50	50	70	95	95	120	150	150	185	240	240	300
151	70	70	70	70	95	95	120	150	185	240	240	240	300	400
182	95	95	95	95	95	120	150	185	240	240	300	300	400	500
210	120	120	120	120	120	150	185	240	240	300	300	400	500	500
240	150	150	150	150	150	185	240	240	300	400	400	400	500	630
273	185	185	185	185	185	185	240	300	300	400	400	500	630	800
321	240	240	240	240	240	240	300	400	400	500	500	630	630	800
367	300	300	300	300	300	300	300	400	500	500	630	630	800	1000
438	400	400	400	400	400	400	400	500	500	630	630	800	1000	-
502	500	500	500	500	500	500	500	500	630	630	800	800	1000	-
578	630	630	630	630	630	630	630	630	800	800	1000	1000	-	-
669	800	800	800	800	800	800	800	800	800	1000	1000	-	-	-
767	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-	-

Tabela 3.3.2.1.1

**BITOLA DE FIOS E CABOS PARA INSTALAÇÃO DE MOTORES TRIFÁSICOS  
INSTALADOS EM ELETRODUTOS AÉREOS  
(QUEDA DE TENSÃO < 2%)**

Tensão (V)	DISTÂNCIA DO MOTOR AO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO (metros)													
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
110	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
220	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300
380	35	50	70	80	100	140	170	200	240	280	310	350	430	520
440	40	60	80	100	120	160	200	240	280	320	360	400	500	600
Corrente (A)	BITOLA DO CONDUTOR (condutor em mm <sup>2</sup> )													
	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16	25
8	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16	25
11	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	16	25	25
13	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	16	25	25	35
17	2,5	4	6	6	10	10	16	16	25	25	25	25	35	35
24	4	6	10	10	10	16	25	25	25	35	35	35	50	50
33	6	10	10	16	16	25	25	35	35	50	50	50	70	70
43	6	10	16	16	25	25	35	50	50	50	70	70	95	95
60	10	16	25	25	25	35	50	50	70	70	95	95	120	150
82	16	25	25	35	35	50	70	70	95	95	120	120	150	185
110	25	25	35	50	50	70	95	95	120	120	150	150	240	240
137	35	35	50	50	70	95	95	120	150	150	185	240	240	300
167	50	50	50	70	70	95	120	150	185	185	240	240	300	400
216	70	70	70	95	95	120	150	185	240	240	300	300	400	500
264	95	95	95	95	120	150	185	240	300	300	400	400	500	630
308	120	120	120	120	150	185	240	300	300	400	400	500	630	630
356	150	150	150	150	150	240	300	300	400	400	500	500	630	800
409	185	185	185	185	185	240	300	400	400	500	500	630	800	1000
485	240	240	240	240	240	300	400	400	500	630	630	800	1000	1000
561	300	300	300	300	300	400	400	500	630	630	800	800	1000	-
656	400	400	400	400	400	400	500	630	630	800	1000	1000	-	-
749	500	500	500	500	500	500	630	630	800	1000	1000	-	-	-
855	630	630	630	630	630	630	630	800	1000	1000	-	-	-	-
971	800	800	800	800	800	800	800	800	1000	-	-	-	-	-
1079	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-	-	-

Tabela 3.3.2.1.2

**BITOLA DE FIOS E CABOS PARA INSTALAÇÃO DE MOTORES TRIFÁSICOS  
INSTALADOS EM ELETRODUTOS NÃO METÁLICOS  
(QUEDA DE TENSÃO < 2%)**

Tensão (V)	DISTÂNCIA DO MOTOR AO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO (metros)													
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
110	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
220	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300
380	35	50	70	80	100	140	170	200	240	280	310	350	430	520
440	40	60	80	100	120	160	200	240	280	320	360	400	500	600
Corrente (A)	BITOLA DO CONDUTOR (condutor em mm <sup>2</sup> )													
	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16
7	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16
9	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	10	10	10	16	16	16	25
10	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	16	16	16	25	25
13,5	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	35
18	2,5	4	6	10	10	10	16	16	25	25	25	25	35	50
24	4	6	10	10	10	16	25	25	25	35	35	35	50	50
31	6	10	10	16	16	25	25	35	35	35	50	50	70	70
42	10	10	16	16	25	25	35	35	50	50	70	70	95	95
56	16	16	16	25	25	35	50	50	70	70	70	95	120	120
73	25	25	25	25	35	50	50	70	70	95	95	120	150	150
89	35	35	35	35	50	50	70	95	95	120	120	150	185	185
108	50	50	50	50	50	70	95	95	120	120	150	150	185	240
136	70	70	70	70	70	95	95	120	150	150	185	185	240	300
164	95	95	95	95	95	95	120	150	185	185	240	240	300	400
188	120	120	120	120	120	120	150	185	185	240	240	300	400	400
216	150	150	150	150	150	150	150	185	240	240	300	300	400	500
245	185	185	185	185	185	185	185	240	240	300	300	400	500	500
286	240	240	240	240	240	240	240	240	300	400	400	400	500	630
328	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	500	500	630	800
390	400	400	400	400	400	400	400	400	400	500	500	630	800	800
447	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	630	630	800	1000
514	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	800	1000	-
593	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	1000	-	-
679	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-	-

Tabela 3.3.2.1.3

Procede-se da seguinte maneira para determinar a seção do cabo de alimentação:

Determinar a corrente conforme Norma ABNT NBR - 5410, multiplicando a corrente da placa do motor por 1,25 e, localizar o valor resultante na tabela correspondente.

- Se o condutor alimentar mais de um motor, o valor a ser localizado na Tabela deve ser igual a 1,25 vezes a corrente do maior motor somada com a corrente nominal de todos os demais motores.

**Obs.:** Caso o valor calculado de corrente não se encontrar nas Tabelas 3.3.2.1.1, 3.3.2.1.2 e 3.3.2.1.3, o valor a ser usado deverá ser o primeiro logo acima do calculado.

- No caso de motores com várias velocidades deve ser considerado o valor mais alto dentre as correntes nominais dos motores.

Quando o regime de utilização do motor não for contínuo, os condutores devem ter uma capacidade de condução igual ou superior ao produto de sua corrente nominal pelo fator de ciclo de serviço na Tabela 3.3.2.1.4.

FATOR DE CICLO DE SERVIÇO				
Tempo de serviço nominal do motor	5 minutos	15 minutos	30 à 60 minutos	Contínuo
Classificação				
Curto (operação de válvulas, atuação de contatos, etc.)	1,10	1,20	1,50	---
Intermitente (elevadores de passageiros ou carga, ferramentas, bombas, pontes-rolantes, etc.)	0,85	0,85	0,90	1,40
Periódico (laminadores, máquinas de mineração, etc.)	0,85	0,90	0,95	1,40
Variável	1,10	1,20	1,50	2,00

Tabela 3.3.2.1.4

**Exemplos:**

Localizar na parte superior da Tabela correspondente, a tensão nominal do motor e a coluna da distância do mesmo à rede de alimentação.

- 1) Dimensionar os condutores para um motor de 15 cv, IV pólos, trifásico, 220 V, corrente nominal de 40 A, localizado a 50 m da rede de alimentação, com instalação dos cabos em eletrodutos.

**SOLUÇÃO:**

- a) Corrente a ser localizada:  $1.25 \times 40 \text{ A} = 50\text{A}$   
 b) Valor mais próximo na Tabela 3.3.2.1.3: 55 A  
 c) Bitola mínima: 6 AWG

Com estes valores da distância de 50 m, e corrente de 40 A, levados na Tabela 3.3.2.1.3, encontra-se como bitola do condutor o valor 6 AWG.

- 2) Tem-se três motores trifásicos, quatro pólos, com frequência 60 Hz, de 10 cv, 30 cv e 50 cv, que apresentam corrente nominal em 220V de 27A, 74A e 123A respectivamente. Estes motores serão instalados a 20 m, 45 m e 60 m do ramal. Qual deve ser a bitola do condutor a ser usado para alimentar ambos os motores para o caso de instalação aérea.

**SOLUÇÃO:**

Localizar na Tabela 3.3.2.1.2 o valor correspondente a 1.25 vezes a corrente do maior motor somada com a corrente nominal dos demais motores.

A distância a ser considerada deve ser a maior entre as citadas, ou seja, 60 m.

Portanto para a tensão de 220 V,  $I = 275 \text{ A}$  e distância de 60 m, fazendo-se a intercessão de tensão/distância com a linha correspondente de  $I = 275 \text{ A}$ , encontra-se a bitola mínima de 4/0 AWG.

- 3) Um elevador apresenta tempo de serviço normal de 15 minutos e utiliza um motor de 15 cv, 220 V, IV pólos, com corrente nominal de 38 A. A distância deste motor ao quadro de comando é de 50 m. Qual o condutor a ser utilizado, considerando condutor em eletroduto?

**SOLUÇÃO:**

O serviço é do tipo intermitente, com tempo de serviço de 15 minutos. Deve-se então multiplicar o valor da corrente nominal pelo fator 0,85 da Tabela 3.3.5.1.4.

$$\begin{aligned}I &= I_n \times 0,85 \\I &= 38 \times 0,85 \\I &= 32,3 \text{ A}\end{aligned}$$

Portanto para a tensão de 220 V, regime intermitente, a corrente equivalente será  $I=32,3\text{A}$  e distância de 50 m, fazendo-se a intercessão de tensão/distância com a linha correspondente de  $I=40\text{A}$ , encontra-se a bitola mínima de 8 AWG.

- 4) Tem-se um motor trifásico, 60 cv, VIII pólos, 220/380 V, com corrente nominal de 156A, instalado a 80 m do ponto de tomada de energia da rede. Qual deverá ser o cabo a ser usado para alimentar este motor sabendo-se que a instalação será feita por condutores aéreos.

**SOLUÇÃO:**

$$I = 1,25 \times 156 = 195 \text{ A}$$

Assim tem-se então:  $I = 195 \text{ A}$ ,  $d = 80 \text{ m}$ , deve-se então, ir até a Tabela 3.3.2.1.2 localizando primeiro o ponto da tensão e distância, em seguida localizar o valor de corrente mais próximo do calculado que neste caso é 225 A. Indo para a direita e cruzando com a coluna distância e tensão chegaremos ao fio/cabo que é de 3/0 AWG.

**3.3.3 ENTRADA EM SERVIÇO****3.3.3.1 EXAME PRELIMINAR**

Antes de ser dada a partida inicial a um motor, será necessário:

- a) Verificar se o mesmo poderá rodar livremente, removendo-se todos os dispositivos de bloqueio e calços usados durante o transporte.
- b) Verificar se o motor está corretamente fixado e se os elementos de acoplamento estão corretamente montados e alinhados.
- c) Certificar-se de que a tensão e a frequência estão de acordo com o indicado na placa de identificação. O motor operará satisfatoriamente caso a tensão e frequência estejam dentro da faixa estipulada pela Norma NBR 7094.
- d) Observar se as ligações estão de acordo com esquema de ligação impresso na placa de identificação e verificar se todos os parafusos e porcas dos terminais estão devidamente apertados.
- e) Verificar se o motor está devidamente aterrado. Desde que não haja especificações exigindo montagem isolada do motor, será necessário aterrará-lo, obedecendo às normas vigentes para ligação de máquinas elétricas à terra. Para isso deverá ser

usado o parafuso identificado pelo símbolo (  $\perp$  ) geralmente existente na caixa de ligação ou no pé da carcaça.

- f) Verificar se os cabos de ligação à rede, bem como as fiações dos controles, a proteção contra sobrecarga estão de acordo com as normas técnicas da ABNT.
- g) Se o motor estiver estocado em local úmido, ou estiver parado por muito tempo, medir a resistência de isolamento, conforme indicado nas instruções de armazenagem.
- h) Acionar o motor desacoplado para verificar se está girando livremente e no sentido desejado.

Para inverter a rotação do motor trifásico, basta inverter as ligações à rede de dois terminais quaisquer.

Os motores de média tensão que possuem uma seta na carcaça assinalando o sentido de rotação podem girar somente na direção indicada.

### 3.3.3.2 PARTIDA INICIAL

#### ⇒ **MOTOR TRIFÁSICO COM ROTOR EM CURTO CIRCUITO**

Depois de examinar o motor cuidadosamente, dar a partida inicial obedecendo-se a ordem da seqüência regular das operações de acionamento que se encontra no item Entrada em Serviço.

### 3.3.3.3 FUNCIONAMENTO

Acionar o motor acoplado à carga por um período de uma hora no mínimo, para observar se aparecem ruídos anormais ou aquecimento excessivo.

Comparar a corrente de linha absorvida com o valor indicado na placa de identificação.

Em regime contínuo, sem oscilação de carga, a corrente absorvida não deve exceder a corrente nominal vezes o fator de serviço indicado na placa.

Todos os instrumentos e aparelhos de medição e controle, deverão ficar sob observação permanente a fim de que eventuais alterações possam ser constatadas e sanadas as suas causas.

### 3.3.3.4 DESLIGAMENTO

Cabe aqui, antes de qualquer indicação, uma advertência muito séria: ***enquanto um motor estiver rodando, mesmo depois de desligado, constitui perigo de vida tocar em qualquer uma de suas partes ativas.***

Em motores trifásicos com rotor em curto-circuito:

Bastará abrir a chave do circuito estatórico e uma vez parado o motor, recolocar o auto-transformador, se houver, na posição de partida.

### 3.4 MANUTENÇÃO

A manutenção dos motores elétricos, adequadamente aplicados, resume-se numa inspeção periódica quanto a níveis de isolamento, elevação de temperatura, desgastes excessivos, correta lubrificação dos rolamentos e eventuais exames no ventilador, para verificar o correto fluxo de ar.

A frequência com que devem ser feitas as inspeções, depende do tipo de motor e das condições do local de aplicação do motor.

#### 3.4.1 LIMPEZA

Os motores devem ser mantidos limpos, isentos de poeira, detritos e óleos. Para limpá-los, deve-se utilizar escovas ou panos limpos de algodão. Se a poeira não for abrasiva, deve-se utilizar o jateamento de ar comprimido, soprando a poeira da tampa defletora e eliminando toda acumulação de pó contida nas pás do ventilador e nas aletas de refrigeração.

Em motores com proteção IP 55, recomenda-se uma limpeza na caixa de ligação. Esta deve apresentar os bornes limpos, sem oxidação, em perfeitas condições mecânicas e sem depósitos de pó nos espaços vazios.

Em ambiente agressivo, recomenda-se utilizar motores com grau de proteção IPW 55.

#### 3.4.2 LUBRIFICAÇÃO

Os motores até a carcaça 160 não possuem graxeira, enquanto que para motores da carcaça 160 até a carcaça 200 o pino graxeira é opcional. Acima desta carcaça (225 à 355) é normal de linha a presença do pino graxeira. A finalidade de manutenção, neste caso, é prolongar o máximo possível, a vida útil do sistema de mancais.

A manutenção abrange :

- a) Observação do estado geral em que se encontram os mancais;
- b) Lubrificação e limpeza;
- c) Exame minucioso dos rolamentos.

O controle de temperatura num mancal também faz parte da manutenção de rotina. Sendo o mancal lubrificado com graxas apropriadas, conforme recomendado no item 3.4.2.2, a temperatura de trabalho não deverá ultrapassar 70°C.

A temperatura poderá ser controlada permanentemente com termômetros, colocados do lado de fora do mancal, ou com termoelementos embutidos.

Os motores WEG são normalmente equipados com rolamentos de esfera ou de rolos, lubrificados com graxa.

Os rolamentos devem ser lubrificados para evitar o contato metálico entre os corpos rolantes e também para proteger os mesmos contra a corrosão e desgaste.

As propriedades dos lubrificantes deterioram-se em virtude de envelhecimento e trabalho mecânico, além disso, todos os lubrificantes sofrem contaminação em serviço, razão pela qual devem ser completados ou trocados periodicamente.

### 3.4.2.1 INTERVALOS DE LUBRIFICAÇÃO

A quantidade de graxa correta é sem dúvida, um aspecto importante para uma boa lubrificação.

A relubrificação deve ser feita conforme a Tabela de intervalos de relubrificação, porém se o motor possuir placa adicional com instruções de lubrificação, deverá ser efetuada conforme as especificações de placa.

Para uma lubrificação inicial eficiente, em um rolamento é preciso observar o Manual de Instruções do motor ou pela Tabela de Lubrificação. Na ausência destas informações, o rolamento deve ser preenchido com a graxa até a metade de seu espaço vazio (somente espaço vazio entre os corpos girantes).

Na execução destas operações, recomenda-se o máximo de cuidado e limpeza, com o objetivo de evitar qualquer penetração de sujeira que possa causar danos no rolamento.

### 3.4.2.2 QUALIDADE E QUANTIDADE DE GRAXA

É importante que seja feita uma lubrificação correta, isto é, aplicar a graxa correta e em quantidade adequada, pois uma lubrificação deficiente quanto uma lubrificação excessiva, trazem defeitos prejudiciais.

A lubrificação em excesso acarreta elevação de temperatura, devido à grande resistência que oferece ao movimento das partes rotativas e acaba por perder completamente suas características de lubrificação.

Isto pode provocar vazamento, penetrando a graxa no interior do motor e depositando-se sobre as bobinas ou outras partes do motor.

Para a lubrificação dos rolamentos em máquinas elétricas, vem sendo empregado de modo generalizado, graxa à base de Lítio, por apresentar estabilidade mecânica e insolubilidade em água. A graxa nunca deverá ser misturada com outras que tenham base diferente.

#### Graxas para utilização em motores normais:

<i>Tipo</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Temperatura</i>
Polyrex EM	Mobil	63 - 355	-30 a 170°

Tabela 3.4.2.2.1

#### Graxas para utilização em motores com características especiais:

<i>Tipo</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
STABURAGS N12MF	(- 35 à 150)
CENTOPLEX 2 dl	(-55 à 80)
MOLYKOTE TTF 52	(-52 à 100)
MOBILTEMP SHC 32	(-54 à 177)
DOW CORNING 44	(-40 à 200)
ISOFLEX NBU 15	(-30 à 130)
STABURAGS NBU 12	(-35 à 150)
UNISOLKON L 50/2	(-50 à 200)
BG 20	(-45 à 180)

Tabela 3.4.2.2.2

Para maiores detalhes referentes às graxas citadas acima poderão ser adquiridas junto a um Assistente Técnico Autorizado ou mediante contato diretamente com a Assistência Técnica da Weg Equipamentos Elétricos S.A., Divisão Motores.

### 3.4.2.3 INSTRUÇÕES PARA LUBRIFICAÇÃO

- Injeta-se aproximadamente metade da quantidade total estimada da graxa e coloca-se o motor a girar durante aproximadamente 1 minuto a plena rotação, em seguida desliga-se o motor e coloca-se o restante da graxa.

A injeção de toda a graxa com o motor parado pode levar a penetração de parte do lubrificante no interior do motor.

É importante manter as graxas limpas antes da introdução da graxa a fim de evitar a entrada de materiais estranhos no rolamento.

Para lubrificação use exclusivamente pistola engraxadeira manual.

#### ⇒ ETAPAS DE LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS

- 1) Limpar com pano de algodão as proximidades do orifício da graxeira.
- 2) Com o motor em funcionamento, adicionar a graxa por meio de uma pistola engraxadeira até ter sido introduzida a quantidade de graxa recomendada nas Tabelas 3.4.2.3.1 e 3.4.3.2.2.
- 3) Deixar o motor funcionando durante o tempo suficiente para que se escoe todo o excesso de graxa.

ROLAMENTOS FIXOS DE UMA CARREIRA DE ESFERAS														
Rolamento		Intervalo Relubrificação (Horas de Funcionamento)												Graxa (g)
		II PÓLOS		IV PÓLOS		VI PÓLOS		VIII PÓLOS		X PÓLOS		XII PÓLOS		
		60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	
Série 62	6209	18400	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	9
	6211	14200	16500	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	11
	6212	12100	14400	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	13
Série 63	6309	15700	18100	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	13
	6311	11500	13700	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	18
	6312	9800	11900	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	21
	6314	3600	4500	9700	11600	14200	16400	17300	19700	19700	20000	20000	20000	27
	6316	-	-	8500	10400	12800	14900	15900	18700	18700	20000	20000	20000	34
	6319	-	-	7000	9000	11000	13000	14000	17400	17400	18600	18600	20000	45
	6322	-	-	5100	7200	9200	10800	11800	15100	15100	15500	15500	19300	60

Tabela 3.4.2.3.1

**Obs.:** A tabela acima se destina ao período de relubrificação para temperatura do mancal de 70°C. Para 15°C acima de 70°C o período de relubrificação se reduz à metade. Os períodos citados na tabela acima não servem para aplicações especiais e/ou uso de graxas especiais.

ROLAMENTOS FIXOS DE ROLOS														
Rolamento	Intervalo Relubrificação (Horas de Funcionamento)												Graxa (g)	
	II PÓLOS		IV PÓLOS		VI PÓLOS		VIII PÓLOS		X PÓLOS		XII PÓLOS			
	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz		
Série NU3	NU 309	9800	13300	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	13
	NU 311	6400	9200	19100	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	18
	NU 312	5100	7600	17200	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	21
	NU 314	1600	2500	7100	8900	11000	13100	15100	16900	16900	19300	19300	20000	27
	NU 316	-	-	6000	7600	9500	11600	13800	15500	15500	17800	17800	20000	34
	NU 319	-	-	4700	6000	7600	9800	12200	13700	13700	15700	15700	2000	45
	NU 322	-	-	3300	4400	5900	7800	10700	11500	11500	13400	13400	17300	60
	NU 324	-	-	2400	3500	5000	6600	10000	10200	10200	12100	12100	15000	72

Tabela 3.4.2.3.2

### 3.4.2.4 SUBSTITUIÇÃO DE ROLAMENTOS

A desmontagem de um motor para trocar um rolamento somente deverá ser feita por pessoal qualificado.

A fim de evitar danos aos núcleos, será necessário após a retirada da tampa do mancal, calçar o entreferro entre o rotor e o estator, com cartolina de espessura correspondente.

A desmontagem dos rolamentos não é difícil, desde que sejam usadas ferramentas adequadas (extrator de rolamentos).

As garras do extrator deverão ser aplicadas sobre a face lateral do anel interno a ser desmontado, ou sobre uma peça adjacente.

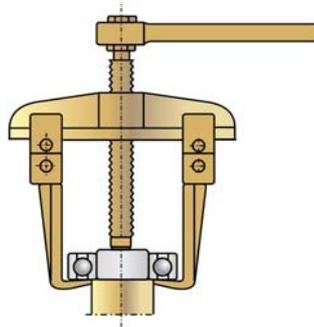


Figura 3.10 – Extrator de rolamentos

É essencial que a montagem dos rolamentos seja efetuada em condições de rigorosa limpeza e por pessoal qualificado, para assegurar um bom funcionamento e evitar danificações.

Rolamentos novos somente deverão ser retirados da embalagem no momento de serem montados.

Antes da colocação do rolamento novo, será necessário verificar se o encaixe no eixo não apresenta sinais de rebarba ou sinais de pancadas.

Os rolamentos não podem receber golpes diretos durante a montagem. O apoio para prensar ou bater o rolamento deve ser aplicado sobre o anel interno.

Após a limpeza, proteger as peças aplicando fina camada de vaselina ou óleo nas partes usinadas a fim de evitar a oxidação.

### 3.4.2.4.1 ESPECIFICAÇÃO DE ROLAMENTOS POR TIPO DE MOTOR

Carcaças	Forma Construtiva	Rolamentos	
		Dianteiro	Traseiro
<b>Motores Totalmente fechados com Ventilador Externo</b>			
63	<b>Todas</b>	6201 ZZ	6201 ZZ
71		6203 ZZ	6202 ZZ
80		6204 ZZ	6203 ZZ
90 S		6205 ZZ	6204-ZZ
90 L		6205 ZZ	6204 ZZ
100 L		6206 ZZ	6205 ZZ
112 M		6307 ZZ	6206 ZZ
132 S		6308 ZZ	6207 ZZ
132 M		6308 ZZ	6207 ZZ
160 M		6309-C3	6209 Z-C3
160 L		6309-C3	6209 Z-C3
180 M		6311-C3	6211 Z-C3
180 L		6311-C3	6211 Z-C3
200 L		6312-C3	6212 Z-C3
200 M		6312-C3	6212 Z-C3
225 S/M		6314-C3	6314-C3
250 S/M		6314-C3	6314-C3
280 S/M		6314-C3**	6314-C3
315 S/M		6316-C3	6316-C3
		6314-C3**	6314-C3
355 M/L		6319-C3	6316-C3
		6314-C3**	6314-C3
		NU 322-C3	6319-C3

Tabela 3.4.2.4.1.1

\*\* Somente para motores II pólos.

**Nota:** Motores acoplados diretamente à carga devem utilizar preferencialmente rolamentos de esferas.

Carcaças	Forma Construtiva	Rolamentos	
		Dianteiro	Traseiro
<b>Motores Totalmente Fechados com Ventilador Externo</b>			
143 T	<b>Todas</b>	6205-ZZ	6204-ZZ
145 T		6209-ZZ	
W182/4T		6209-ZZ	
182 T		6307-ZZ	6206-ZZ
184 T		6308-ZZ	6207-ZZ
W213/5T			
213 T		6309-C3	6209-Z-C3
215 T			
W254/6T		6311-C3	6211-Z-C3
254 T			
256 T		6312-C3	6212-Z-C3
284 T			
284 T		6314-C3	6314-C3
286 T			
286 TS		6314-C3	
324 T		NU316-C3	6314-C3
324 TS			
326 T		6314-C3	
326 TS		NU319-C3	6316-C3
364 T		6314-C3	
364 TS		NU319-C3	6316-C3
404/5T		6314-C3	
404/5TS		NU319-C3	6316-C3
444/5T		6314-C3	
444/5TS		NU322-C3	6319-C3
447T		6314-C3	
447TS		NU319-C3	6316-C3
449T		6314-C3	
449TS		NU319-C3	6316-C3
504/5T		6314-C3	
504/5TS		NU 322-C3	6319-C3
586/7T		6314-C3	
586/7TS	NU 322-C3	6319-C3	
5008T	6314-C3		
5008TS	NU 322-C3	6319-C3	

Tabela 3.4.2.4.1.2

**Rolamentos Para Motosserra**

Motosserra	Forma Construtiva	Rolamentos	
		Dianteiro	Traseiro
80 S MS	B 3	6207 ZZ	6207 ZZ
80 M MS		6307 ZZ	6207 ZZ
80 L MS		6307 ZZ	6207 ZZ
90 L MS		6308 ZZ	6208 ZZ

Tabela 3.4.2.4.1.3

**Motores Carcaça NEMA**

Carcaças NEMA	Formas Construtivas	Rolamentos	
		Dianteiro	Traseiro
<b>Motores Abertos à Prova de Pingo</b>			
48B	<b>Todas</b>	6203 ZZ	6202 ZZ
56 A		6204 ZZ	6204 ZZ
56 B		6204 ZZ	6203 ZZ
56 D		6204 ZZ	6203 ZZ
56 H		6204 ZZ	6203 ZZ

Tabela 3.4.2.4.1.4

⇒ **CORTE DE FIOS E BOBINAGEM:**

Nesta fase deve-se tomar o cuidado quanto as batidas e/ou amassamento dos encaixes das tampas na carcaça e na retirada da caixa de ligação evitando quebras ou rachaduras na carcaça.

⇒ **IMPREGNAÇÃO:**

Proteger as roscas da carcaça colocando parafusos apropriados e os encaixes de apoio da Caixa de Ligação, cobrindo com esmalte anti-aderente (ISO 287 - ISOLASIL).

O esmalte de proteção das partes usinadas deve ser retirado logo após a cura do verniz de impregnação. Esta operação deve ser feita com a mão, sem uso de ferramentas cortantes.

⇒ **MONTAGEM:**

Fazer inspeção de todas as peças visando detectar problemas como: trincas nas peças, partes encaixadas com incrustações, roscas danificadas, etc.

Montar fazendo uso de martelo de borracha e bucha de bronze, certificando-se de que as partes encaixam entre si perfeitamente.

Os parafusos devem ser montados com as respectivas arruelas de pressão, sendo apertadas uniformemente.

⇒ **TESTES:**

Girar o eixo com a mão, observando problemas de arraste nas tampas e anéis de fixação.

⇒ **MONTAGEM DA CAIXA DE LIGAÇÃO:**

Antes da montagem da caixa de ligação, deve-se proceder a vedação das janelas de passagem de cabos na carcaça utilizando espuma auto-extinguível (1ª camada), e em motores à prova de explosão existe ainda uma segunda camada composta de mistura de resina Epoxi ISO 340 com pó de quartzo.

O tempo de secagem da referida mistura é de 2 (duas) horas, período durante o qual a carcaça não deve ser movimentada, devendo permanecer com as janelas (saída dos cabos) virada para cima.

Após a secagem, observar se houve uma perfeita vedação das janelas, inclusive na passagem dos cabos.

Montar a caixa de ligação e pintar o motor.

### **3.4.3 RECOMENDAÇÕES GERAIS**

- Qualquer peça danificada (trincas, amassamento de partes usinadas, roscas defeituosas) deve ser substituída, não devendo em hipótese alguma ser recuperada.
- Quando se tratar de reparos em motores à prova de explosão IPW 55, os retentores deverão obrigatoriamente ser trocados na montagem do mesmo.

### 3.5 FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS

#### 3.5.1 ANÁLISE DE CAUSAS E DEFEITOS DE FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS

DEFEITOS	POSSÍVEIS CAUSAS
<b>Motor não Conseguir Partir</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excessivo esforço axial ou radial da correia;</li> <li>• Eixo Torto;</li> <li>• Conexão errada;</li> <li>• Numeração dos cabos trocada;</li> <li>• Carga excessiva;</li> <li>• Platinado aberto;</li> <li>• Capacitor danificado;</li> <li>• Bobina auxiliar interrompida.</li> </ul>
<b>Baixo Torque de Partida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligação interna errada;</li> <li>• Rotor falhado;</li> <li>• Rotor descentralizado;</li> <li>• Tensão abaixo da nominal;</li> <li>• Frequência abaixo da nominal;</li> <li>• Frequência acima da nominal;</li> <li>• Capacitância abaixo da especificada;</li> <li>• Capacitores ligados em série ao invés de paralelo.</li> </ul>
<b>Conjugado Máximo Baixo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotor falhado;</li> <li>• Rotor com inclinação de barras acima do especificado;</li> <li>• Rotor descentralizado;</li> <li>• Tensão abaixo da nominal;</li> <li>• Capacitor permanente abaixo do especificado.</li> </ul>
<b>Corrente Alta à Vazio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entreferro acima do especificado;</li> <li>• Tensão acima do especificado;</li> <li>• Frequência abaixo do especificado;</li> <li>• Ligação interna errada;</li> <li>• Rotor descentralizado;</li> <li>• Rotor arrastando;</li> <li>• Rolamentos com defeito;</li> <li>• Tampas com muita pressão ou mal encaixadas;</li> <li>• Chapas magnéticas sem tratamento;</li> <li>• Capacitor permanente fora do especificado;</li> <li>• Platinado/centrífugo não abrem.</li> </ul>
<b>Corrente Alta em Carga</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensão fora da nominal;</li> <li>• Sobrecarga;</li> <li>• Frequência fora da nominal;</li> <li>• Correias muito esticadas;</li> <li>• Rotor arrastando no estator.</li> </ul>
<b>Resistência de Isolamento Baixa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolantes de ranhura danificados;</li> <li>• Cabos cortados;</li> <li>• Cabeça de bobina encostando na carcaça;</li> <li>• Presença de umidade ou agentes químicos;</li> <li>• Presença de pó sobre o bobinado.</li> </ul>

<b>Aquecimento dos Mancais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graxa em excesso;</li> <li>• Excessivo esforço axial ou radial da correia;</li> <li>• Eixo torto;</li> <li>• Tampas frouxas ou descentralizadas;</li> <li>• Falta de graxa;</li> <li>• Matéria estranha na graxa.</li> </ul>
<b>Sobreaquecimento do Motor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilação obstruída;</li> <li>• Ventilador menor;</li> <li>• Tensão ou frequência fora do especificado;</li> <li>• Rotor arrastando;</li> <li>• Rotor falhado;</li> <li>• Estator sem impregnação;</li> <li>• Sobrecarga ;</li> <li>• Rolamento com defeito;</li> <li>• Partidas consecutivas;</li> <li>• Entreferro abaixo do especificado;</li> <li>• Capacitor permanente inadequado;</li> <li>• Ligações erradas.</li> </ul>
<b>Alto Nível de Ruído</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbalanceamento;</li> <li>• Eixo torto;</li> <li>• Alinhamento incorreto;</li> <li>• Rotor fora de centro;</li> <li>• Ligações erradas;</li> <li>• Corpos estranhos no entreferro;</li> <li>• Objetos presos entre o ventilador e defletora;</li> <li>• Rolamentos gastos/danificados;</li> <li>• Aerodinâmica inadequada.</li> </ul>
<b>Vibração Excessiva</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotor fora de centro;</li> <li>• Desbalanceamento na tensão da rede;</li> <li>• Rolamentos desalinhados, gastos ou sem graxa;</li> <li>• Rotor falhado;</li> <li>• Ligações erradas;</li> <li>• Rotor desbalanceado;</li> <li>• Mancais com folga;</li> <li>• Rotor arrastando;</li> <li>• Eixo torto;</li> <li>• Folga nas chapas do estator;</li> <li>• Uso de grupos fracionários em bobinagem de motor monofásico de capacitor permanente.</li> </ul>

Tabela 3.5.1.1

### 3.6 DANOS EM ENROLAMENTOS DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO

A vida útil do enrolamento de um motor elétrico pode ser menor, se for exposto à condições de operação desfavoráveis, sejam elétricas, mecânicas ou de meio ambiente.

As fotos abaixo ilustram o que pode acontecer nestas circunstâncias, auxiliando a identificação das causas para que se possa tomar providências preventivas.

#### 3.6.1 MOTORES TRIFÁSICOS



Figura 3.11

## CARACTERÍSTICAS DA QUEIMA

Curto entre espiras ou bobina curto-circuitada

Curto-circuito entre fases

Curto-circuito na conexão

Curto-circuito na saída da ranhura ou curto-circuito no interior da ranhura

Pico de Tensão

Desbalanceamento de tensão

Rotor Travado

Sobreaquecimento

## POSSÍVEIS CAUSAS

- Falha do esmalte de isolamento do fio;
  - Falha do verniz de impregnação;
  - Contaminação interna do motor;
  - Rápidas oscilações na tensão de alimentação.
- 
- Falha do material isolante;
  - Contaminação interna do motor;
  - Degradação do material isolante por ressecamento devido o motor operar com alta temperatura.
- 
- Falha do material isolante;
  - Contaminação interna do motor;
  - Superaquecimento da conexão devido a mau contato.
- 
- Falha do esmalte de isolamento do fio;
  - Falha do verniz de impregnação;
  - Falha do material isolante;
  - Contaminação interna do motor;
  - Rápidas oscilações na tensão de alimentação;
  - Degradação do material isolante por ressecamento devido o motor operar com alta temperatura.
- 
- Oscilação violenta da tensão de alimentação devido, a por exemplo, descargas atmosféricas;
  - Surtos de manobras de banco de capacitores;
  - Motor acionado por inversor de frequência com parâmetros incorretos (amplitude do pulso de tensão, rise time, dV/dt. Distância entre pulsos, frequência de chaveamento).
- 
- Desequilíbrio de tensão e/ou de correntes entre fases;
  - Oscilação de tensão nas três fases;
  - Falha em banco de capacitores;
  - Maus contatos em conexões, chaves, contatores, disjuntores, etc.;
- 
- Travamento do eixo da carga;
  - Excessiva dificuldade na partida do motor, devido a elevada queda de tensão, inércia e torque de carga muito elevados.
- 
- Excesso de carga na ponta de eixo (permanente ou eventual/periódica);
  - Sobretenção ou subtensão na rede de alimentação (permanente ou eventual/periódica);
  - Cabos de alimentação muito longos e/ou muito finos;
  - Excessivo número de partidas em tempo curto;
  - Conexão incorreta dos cabos de ligação do motor;
  - Ventilação deficiente (tampa defletora danificada ou obstruída, sujeira na carcaça, temperatura ambiente

---

	elevada, etc.).
Falta de fase – motor ligado em estrela (queima de duas fases) ou triângulo (queima de uma fase)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Queima de um fusível;</li><li>• Rompimento de um cabo alimentador;</li><li>• Queima de uma fase do transformador;</li><li>• Mau contato em conexões;</li><li>• Mau contato em chave, contator ou disjuntor.</li></ul>

Tabela 3.6.1.1 – Característica da queima e possíveis causas para motores trifásicos

### 3.6.2 MOTORES MONOFÁSICOS

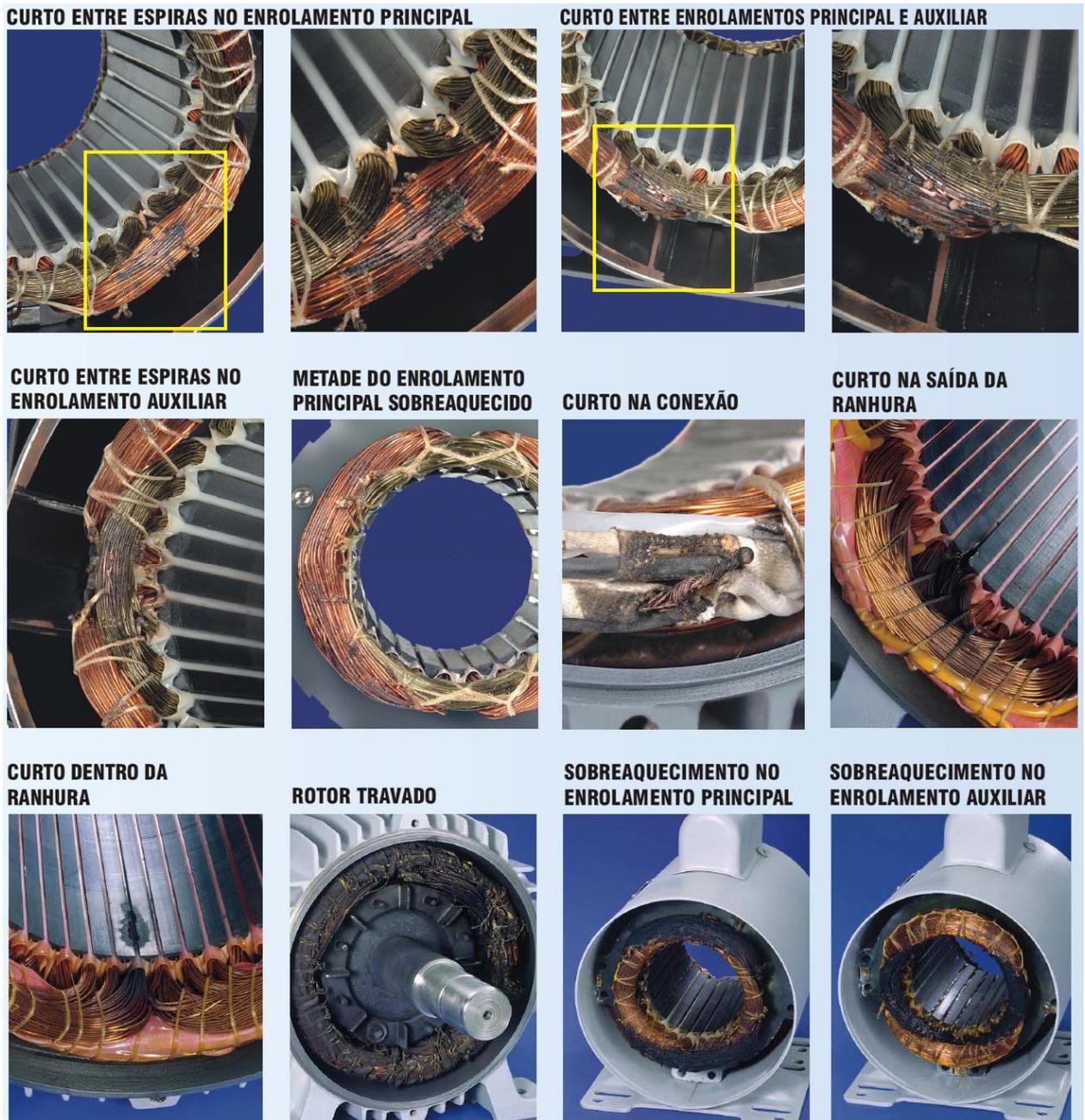


Figura 3.12

## CARACTERÍSTICAS DA QUEIMA

Curto entre espiras no enrolamento principal

Curto entre espiras no enrolamento auxiliar

Metade do enrolamento principal  
sobreaquecido

Curto entre enrolamentos principal e auxiliar  
em motor capacitor de partida ou split-phase  
(motor sem capacitor)

Curto entre enrolamentos principal e auxiliar  
em motor capacitor permanente

Curto-circuito na conexão

Curto-circuito na saída da ranhura ou curto-  
circuito no interior da ranhura

Rotor Travado

Sobreaquecimento do enrolamento principal em  
motor IP21

## POSSÍVEIS CAUSAS

- Falha do esmalte de isolamento do fio;
  - Falha do verniz de impregnação;
  - Contaminação interna do motor;
  - Rápidas oscilações na tensão de alimentação.
- 
- Falha do esmalte de isolamento do fio;
  - Falha do verniz de impregnação;
  - Contaminação interna do motor;
- 
- Falha da chave comutadora de tensão quando posicionada para alimentação na menor tensão;
  - Picos de sobrecarga que provocam o fechamento do centrífugo e do platinado, com o motor alimentado na maior tensão. A metade do enrolamento que queima é aquela que não está em paralelo com enrolamento auxiliar.
- 
- Falha do esmalte de isolamento do fio;
  - Falha do verniz de impregnação;
  - Contaminação interna do motor;
- 
- Falha do material isolante;
  - Contaminação interna do motor;
- 
- Degradação do material isolante por ressecamento devido ao motor operar com alta temperatura.
- 
- Falha do material isolante;
  - Contaminação interna do motor;
  - Superaquecimento da conexão devido a mau contato.
- 
- Falha do esmalte de isolamento do fio;
  - Falha do verniz de impregnação;
  - Falha do material isolante;
  - Contaminação interna do motor;
  - Rápidas oscilações na tensão de alimentação;
  - Degradação do material isolante por ressecamento devido o motor operar com alta temperatura.
- 
- Travamento do eixo da carga;
  - Excessiva dificuldade na partida do motor, devido a elevada queda de tensão, inércia e torque de carga muito elevados.
- 
- Excesso de carga na ponta de eixo (permanente ou eventual/periódica);
  - Sobretenção ou subtensão na rede de alimentação (permanente ou eventual/periódica);
  - Cabos de alimentação muito longos e/ou muito finos;
  - Conexão incorreta dos cabos de ligação do motor;

<p>Sobreaquecimento do enrolamento principal em motor IP55</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilação deficiente (tampa defletora danificada ou obstruída, sujeira na carcaça, temperatura ambiente elevada, etc.).</li> <li>• Circuito auxiliar aberto:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motor de capacitor de partida: problema no capacitor, no platinado ou no centrífugo;</li> <li>- Motor de capacitor permanente: problema no capacitor;</li> <li>- Motor split-phase: problema no platinado ou no centrífugo</li> </ul> </li> <li>• Excesso de carga na ponta de eixo (permanente ou eventual/periódica);</li> <li>• Sobretenção ou subtensão na rede de alimentação (permanente ou eventual/periódica);</li> <li>• Cabos de alimentação muito longos e/ou muito finos;</li> <li>• Conexão incorreta dos cabos de ligação do motor;</li> </ul>
<p>Sobreaquecimento do enrolamento auxiliar de motor capacitor de partida ou split-phase (motor sem capacitor)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilação deficiente (tampa defletora danificada ou obstruída, sujeira na carcaça, temperatura ambiente elevada, etc.).</li> <li>• Circuito auxiliar aberto: problema em capacitor, platinado ou centrífugo.</li> <li>• Excessivo número de partida em tempo curto;</li> <li>• Dificuldade na partida do motor (queda de tensão excessiva, inércia ou torque da carga muito elevado), não permitido a rápida abertura do conjunto centrífugo/platinado, deixando a bobina auxiliar energizada por muito tempo;</li> <li>• Em motores IP21, a penetração de objetos estranhos no motor pode também causar a não abertura do conjunto centrífugo platinado;</li> <li>• Conexão incorreta dos cabos de ligação do motor.</li> </ul>
<p>Sobreaquecimento do enrolamento auxiliar de motor capacitor permanente</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excessivo número de partida em tempo curto;</li> <li>• Dificuldade na partida do motor (queda de tensão excessiva, inércia ou torque da carga muito elevado);</li> <li>• Conexão incorreta dos cabos de ligação do motor;</li> <li>• Motor operando em vazio ou com carga muito baixa.</li> </ul>

Tabela 3.6.2.1 – Característica da queima e possíveis causas para motores monofásicos

#### 4 ANÁLISE DOS DISPOSITIVOS ELÉTRICOS UTILIZADOS EM BAIXA TENSÃO

Os dispositivos utilizados normalmente em baixa tensão podem ser classificados, conforme esquema abaixo:

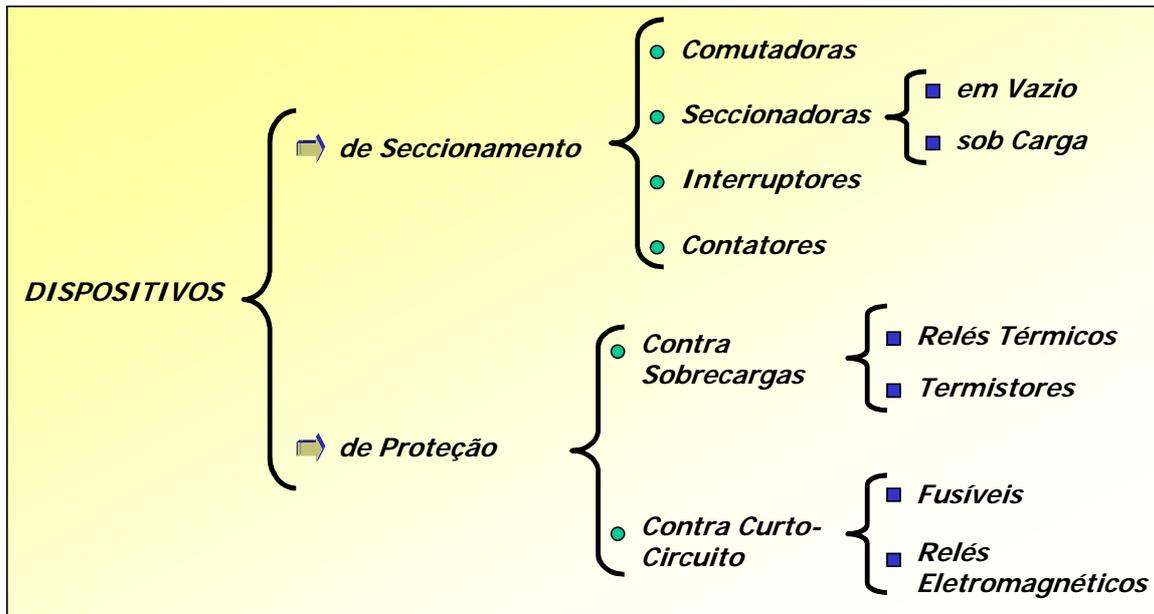


Figura 4.1

Além dos dispositivos mencionados acima, cita-se também os disjuntores, como sendo o mais completo de todos, visto que este integra em um só componente as funções de seccionamento e proteção contra sobrecargas e curto-circuitos.

De maneira simplificada:

$$\text{Disjuntor} = \text{Interruptor} + \text{Relé Térmico} + \text{Relé Eletromagnético}$$



Figura 4.2

#### 4.1 DISPOSITIVOS DE SECCIONAMENTO

Após o desenvolvimento das primeiras fontes de energia, foram também desenvolvidos circuitos de aproveitamento da energia e, por conseqüência, os dispositivos que ligassem e interrompessem a alimentação dos consumidores.

O mais antigo dispositivo de seccionamento contínua é a chave faca, a qual evoluiu muito pouco, limitando seu uso, com certa segurança, somente às cargas simples e pequenas.

Quando a eletricidade foi inventada, as potências geradas eram pequenas, portanto, não havendo grandes problemas no ligar e desligar circuitos. A partir do momento em que se começou a trabalhar com maiores potências, surgiram os problemas negativos da corrente elétrica, dos quais o que mais afeta negativamente é a destruição gradativa das superfícies de contato dos dispositivos de seccionamento.

Tendo como base estas informações, teve início o desenvolvimento de novos dispositivos mais aperfeiçoados para promover o seccionamento das cargas com extinção simultânea do arco voltaico chamando isto de capacidade de interrupção, que atualmente é dado em kA eficaz, que significa a máxima corrente que um dispositivo pode interromper com segurança.

Quanto a sua função no circuito, estes dispositivos podem ser classificados em quatro tipos básicos:

- Comutadoras;
- Seccionadoras (a vazio, ou sob carga);
- Interruptores;
- Contatores.

## ***4.2 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO***

O universo de proteção de baixa tensão, é composto de fusíveis, relés térmicos, relés eletromagnéticos e termistores, que podem ter aplicações isoladamente ou em conjunto, merecendo estudos detalhados em cada aplicação.

Dentro deste universo de proteção, o disjuntor é um dispositivo que tem incorporados relés térmicos e eletromagnéticos. Sua presença em série com outros disjuntores ou fusíveis, como sucede nos sistemas com diversas subdistribuições, obriga o projetista a observar cuidados especiais de coordenação para manter a atuação da proteção dentro de critérios de seletividade. Estes critérios serão abordados no final da análise do funcionamento de dispositivos de proteção.

## 5 CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DAS CHAVES DE PARTIDA WEG

### 5.1 FUSÍVEIS

São os elementos mais tradicionais para proteção contra curto-circuito de sistemas elétricos. Sua operação é baseada na fusão do “elemento fusível”, contido no seu interior. O “elemento fusível” é um condutor de pequena seção transversal, que sofre, devido a sua alta resistência, um aquecimento maior que o dos outros condutores, à passagem da corrente.

O “elemento fusível” é um fio ou uma lâmina, geralmente de cobre, prata, estanho, chumbo ou liga, colocado no interior de um corpo, em geral de porcelana ou esteatita, hermeticamente fechado. Possuem um indicador, que permite verificar se operou ou não; ele é um fio ligado em paralelo com o elemento fusível e que libera uma mola que atua sobre uma plaqueta ou botão, ou mesmo um parafuso, preso na tampa do corpo. Os fusíveis contém em seu interior, envolvendo por completo o elemento, material granulado extintor; para isso utiliza-se, em geral, areia de quartzo de granulometria conveniente. A figura 5.1 mostra a composição de um fusível (no caso mais geral).

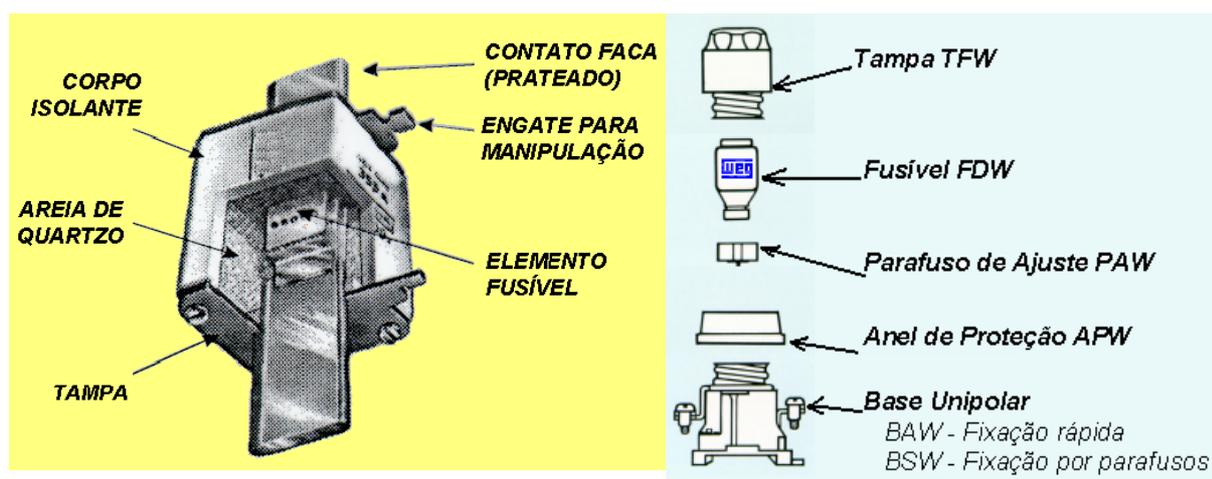


Figura 5.1– Componentes de um fusível WEG

O elemento fusível pode ter diversas formas. Em função da corrente nominal do fusível, ele compõe-se de um ou mais fios ou lâminas em paralelo, com trecho(s) de seção reduzida. Nele existe ainda um ponto de solda, cuja temperatura de fusão é bem menor que a do elemento e que atua por sobrecargas de longa duração.

#### 5.1.1 FUSÍVEIS DE FORÇA (D OU NH)

São dispositivos de proteção que quando usados em circuitos alimentadores de motores protegem-nos contra correntes de curto-circuito e de forma seletiva (em combinação com relés) contra sobrecargas de longa duração.

### 5.1.1.1 CLASSIFICAÇÃO

Os fusíveis podem ser classificados de acordo com diversos critérios. Destes critérios os mais usados são:

- a) Tensão de alimentação: alta tensão ou baixa tensão;
- b) Características de interrupção: ultra-rápidos ou retardados.

Os fusíveis usados na proteção de circuitos de motores são da classe funcional (gL), indicando que são fusíveis com função de “proteção geral”. A característica de interrupção destes fusíveis é de efeito retardado (gG), pois os motores (cargas indutivas) no instante de partida, solicitam uma corrente diversas vezes superior à nominal e que dever ser “tolerada”.

Caso fossem utilizados fusíveis com características de interrupção “ultra-rápida” estes fundiriam (queimariam), em função da corrente de partida do motor, o que não estaria de acordo com a função do fusível, pois a corrente de partida não representa nenhuma condição anormal.

- c) Forma construtiva dos fusíveis retardados WEG:

Classificam-se basicamente em fusíveis tipo “D” e do tipo “NH”.

Os fusíveis do tipo “D” (diametral – ver figura 5.2 (a)), são recomendados para uso tanto residencial quanto industrial. São construídos para correntes normalizadas de 2 a 63A, capacidade de ruptura de 50kA e tensão máxima 500V.

Os fusíveis do tipo “NH” (alta capacidade, baixa tensão – ver figura 5.1.2 (b)), são recomendados para uso industrial e devem ser manuseados apenas por pessoal qualificado. São fabricados para correntes normalizadas de 4 a 630A, capacidade de ruptura de 120kA e tensão máxima de 500V.

Na prática (por questões econômicas), costuma-se utilizar fusíveis do tipo “D” até 63A e acima deste valor fusíveis do tipo “NH”.



(a)



(b)

Figura 5.2 – Fusíveis tipo “D” e tipo “NH”

5.1.1.2 CURVAS TEMPO X CORRENTE DE FUSÍVEIS WEG

FUSÍVEIS TIPO “D”

Curva Tempo (s) x Corrente (A)

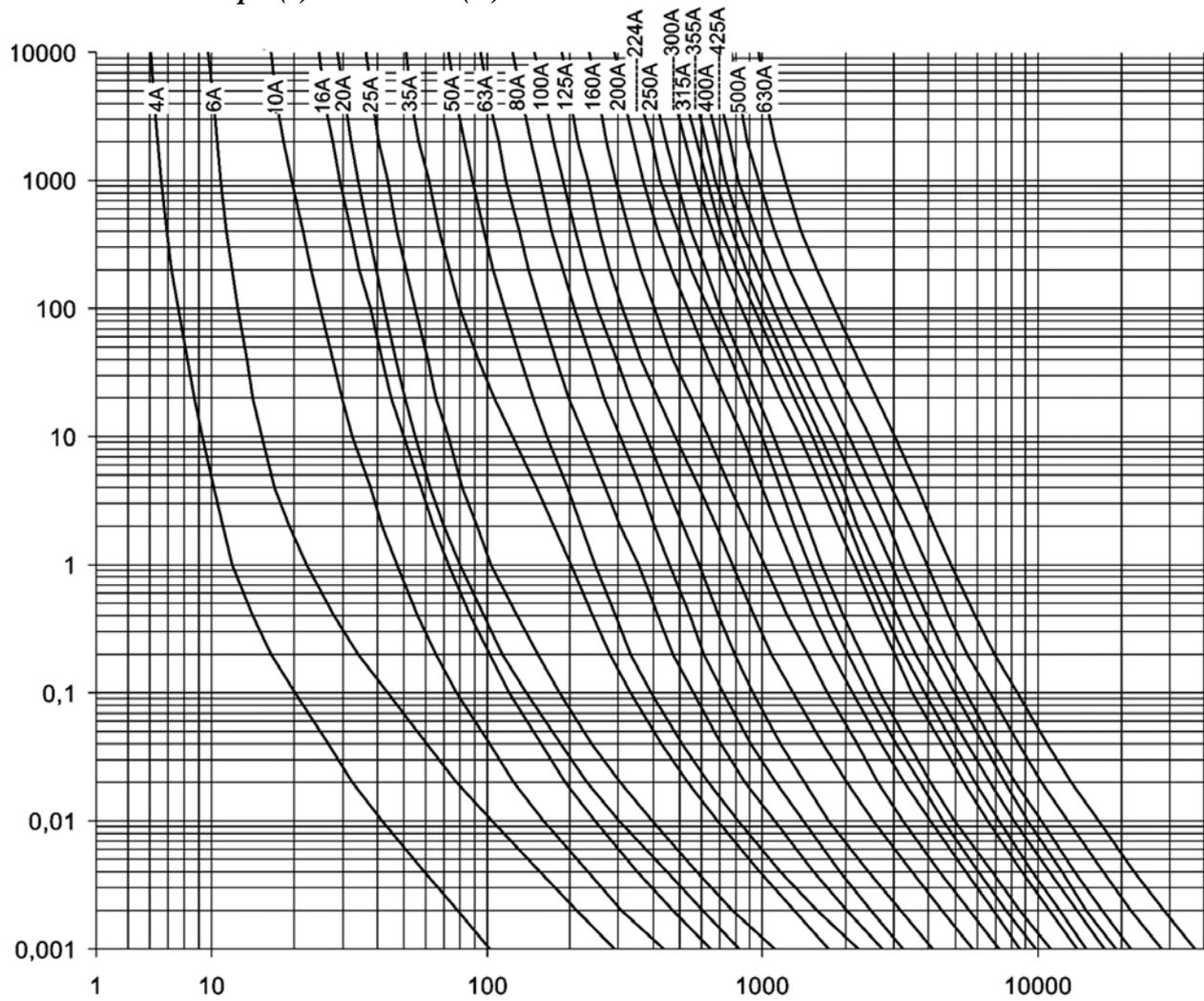
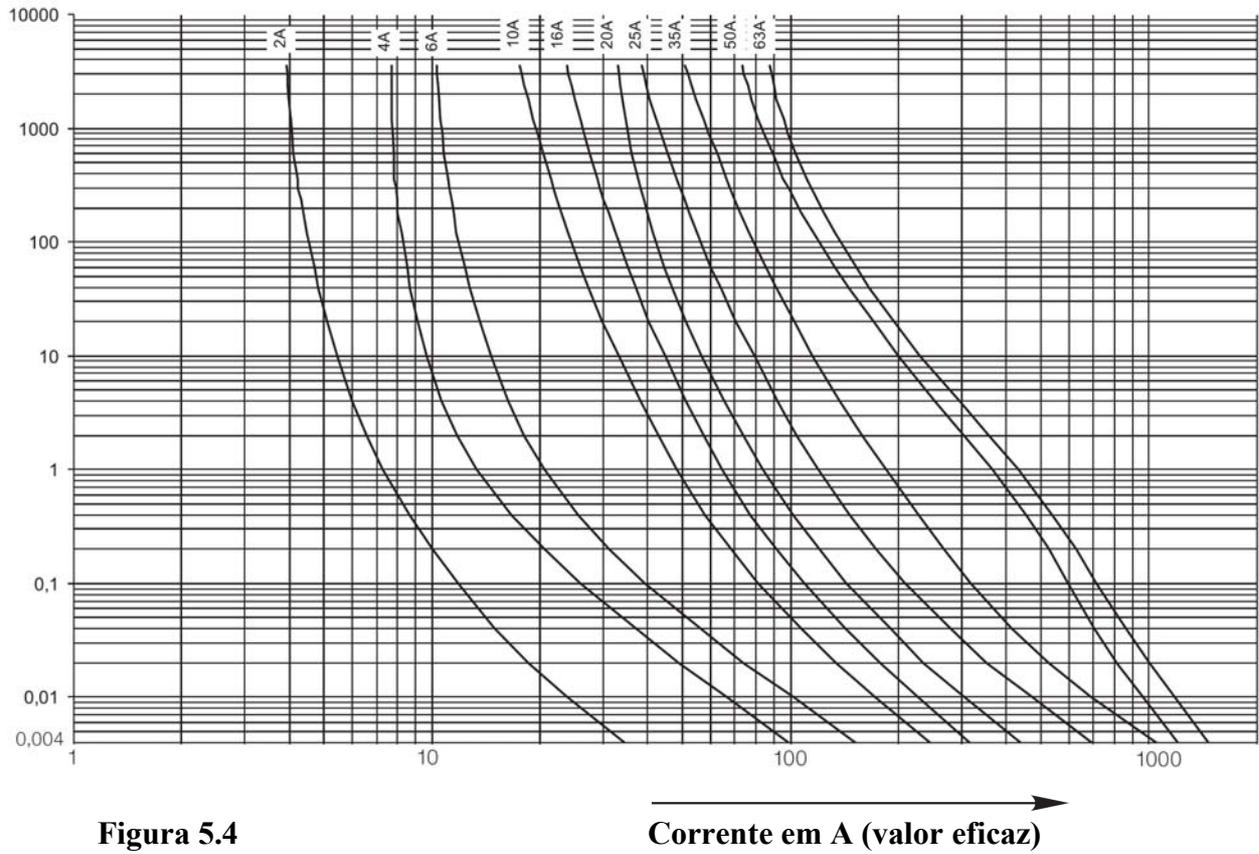


Figura 5.3

Corrente em A (valor eficaz)

**FUSÍVEIS TIPO “NH”**

**Curva Tempo (s) x Corrente (A)**



**Figura 5.4**

### 5.1.1.3 DIMENSIONAMENTO

No dimensionamento de fusíveis retardados, recomenda-se que sejam observados, no mínimo, os seguintes pontos:

- a) Devem suportar, sem fundir, o pico de corrente ( $I_p$ ), dos motores durante o tempo de partida ( $T_p$ ). Com  $I_p$  e  $T_p$  entra-se nas curvas características;
- b) Devem ser dimensionados para uma corrente ( $I_F$ ), no mínimo 20% superior à nominal ( $I_n$ ) do motor que irá proteger. Este critério permite preservar o fusível do “envelhecimento” prematuro, fazendo com que sua vida útil, em condições normais, seja mantida:

$$I_F \geq 1,2 \times I_n$$

- c) Os fusíveis de um circuito de alimentação de motores devem também proteger os contatores e relés de sobrecarga.

$$I_F \leq I_{Fm\acute{a}x} \quad (\text{Tabelas 5.1.1.3.1, 5.1.1.3.2 e 5.1.1.3.3})$$

Contator	CWM09	CWM9	CWM12	CWM18	CWM25	CWM32	CWM40	CWM50	CWM65
Fusível Máx. (A)	25	25	25	35	50	63	63	100	125

Tabela 5.1.1.3.1

Contator	CWM80	CWM95	CWM105	CWM112	CWM180	CWM250	CW297	CW330	CW334
Fusível Máx. (A)	125	200	200	225	250	355	425	630	630

Tabela 5.1.1.3.2

Contator	CWM112E	CWM150E	CWM180E	CWM250E	CWM300E	CWME400	CWME630	CWME800
Fusível Máx. (A)	225	250	250	355	500	630	800	1000

Tabela 5.1.1.3 .3

RELÉ	FAIXA DE AJUSTE	FUSÍVEL MÁXIMO ( $I_F$ máx)
RW 17D	0,28...0,40	2
	0,40...0,63	2
	0,56...0,80	2
	0,80...1,20	4
	1,20...1,80	6
	1,80...2,80	6
	2,80...4,00	10
	4,00...6,30	16
	5,60...8,00	20
	7,00...10,0	25
	8,0...12,5	25
RW 27D	10,0...15,0	35
	11,0...17,0	35
	0,28...0,40	2
	0,40...0,63	2
	0,56...0,80	2
	0,80...1,20	4
	1,20...1,80	6
	1,80...2,80	6
	2,80...4,00	10
	4,00...6,30	16
	5,60...8,00	20
RW 67.1D	7,00...10,0	25
	8,00...12,5	25
RW 67.2D	10,0...15,0	35
	11,0...17,0	35
RW 117.1D	15,0...23,0	50
	22,0...32,0	63
RW 117.2D	25,0...40,0	80
	32,0...50,0	100
RW 317D	40,0...57,0	100
	50,0...63,0	100
RW 407D	57,0...70,0	125
	63,0...80,0	125
RW 407D	63,0...80,0	200
	75,0...97,0	225
RW 407D	90,0...115,0	250
	63,0...80	200
RW 407D	75,0...97,0	225
	90,0...112,0	250
RW 407D	100,0...150,0	315
	140,0...215,0	355
RW 407D	200,0...310,0	500
	275,0...420,0	710
RW 407D	400,0...600,0	1000
	560,0...840,0	1250

Tabela 5.1.1.3.4 – Fusível máximo dos Relés de SobreCarga WEG

**5.1.1.4 EXEMPLO DE CÁLCULO:**

Dimensionar os fusíveis para proteger o motor WEG, de 5 cv, 220V / 60Hz, IV pólos, supondo o seu tempo de partida ( $T_p$ ) seja 5 segundos (partida direta):

a) Resolvendo pelo primeiro critério, tem-se:

Do catálogo de motores WEG:

$$\frac{I_p}{I_n} = 8,2 \quad , \text{ Logo } I_p = 8,2 \times I_n ;$$

Sendo  $I_n = 13,8A;$

Tem-se que,  $I_p = 113,16A.$

**Curva Tempo (s) x Corrente(A)**

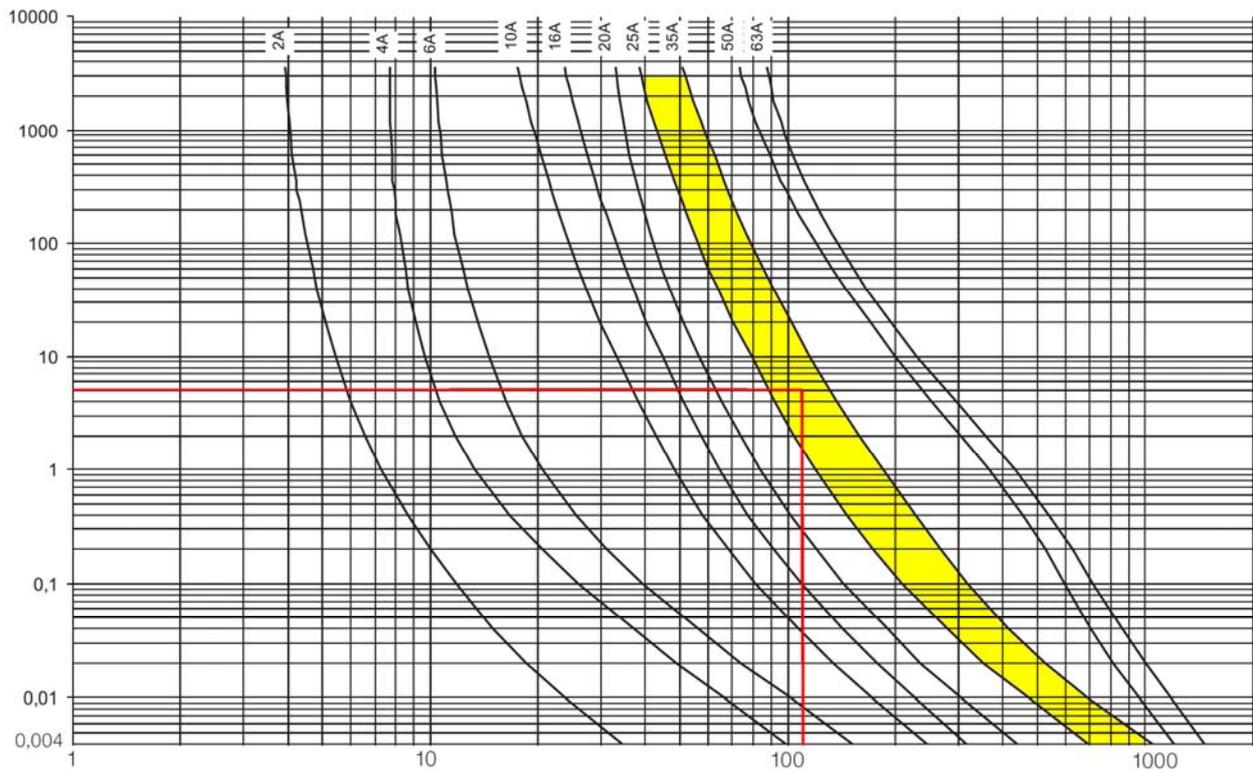


Figura 5.4

→  
**Corrente em A (valor eficaz)**

Com o valor de 113,16A e o tempo de partida de 5 segundos, observa-se na curva acima, que os possíveis fusíveis são os de 25 e 35A.

b) Levando em consideração o segundo critério, tem-se:

$$I_F \geq 1,2 \times I_n \quad , \text{ logo,} \quad I_F \geq 16,56A$$

Logo, nota-se que o fusível de 35A satisfaz a condição descrita acima.

c) O terceiro critério é o de coordenação, ou seja, verificar se o contator e o relé admitem (“aceitam”) este fusível como fusível máximo. Portanto:

$$I_F \leq I_{Fm\acute{a}x}$$

Observando no catálogo de contatores e relés de sobrecarga WEG, o contator e o relé que acionariam este motor, em partida direta, são: CWM 18 e o RW 27D, com faixa de ajuste de 11...17A. Levando em consideração estes componentes, nota-se que ambos admitem o fusível de 35A como fusível máximo. Portanto a definição completa do fusível será:

- **03 FDW 35;** (fusível)
- **03 APW 63;** (anel de proteção ou CPF 63 – capa)
- **03 TFW 63;** (tampa)
- **03 PAW 35;** (parafuso de ajuste)
- **03 BAW 63.** (base com adaptador para fixação rápida em trilho ou BSW – sem adaptador para trilho)

### 5.1.2 FUSÍVEIS DE COMANDO

Para proteção dos circuitos de comando normalmente se utilizam fusíveis com características de interrupção retardada e forma construtiva tipo D.

#### 5.1.2.1 DIMENSIONAMENTO

As potências de regime e de pico dos circuitos de comando variam conforme seqüência de operação dos componentes, sendo assim, deve-se dimensionar os fusíveis para o instante de maior potência de consumo.

Basicamente existem duas situações para o dimensionamento dos fusíveis de comando:

##### a) Circuito de comando sem transformador de comando.

Neste caso para o dimensionamento de fusíveis é necessário que se observe no mínimo duas condições:

- Deve-se escolher um fusível com corrente nominal ( $I_F$ ) superior à corrente em regime ( $I_R$ ) do circuito de comando.

$$I_F > I_R$$

sendo:  $I_R = \frac{S_R}{U_c}$ ,

Onde:  $S_R$  = Somatória das potências aparentes dos contatores ligados (em regime) no instante em referência.

$U_c$  = Tensão de comando do circuito.

- O fusível escolhido para a condição anterior deve suportar as correntes de pico ( $I_p$ ) do circuito de comando durante o tempo de ligação ( $T$ ) dos contatores. Para se verificar esta condição entra-se no gráfico de fusíveis com a corrente ( $I_p$ ) e com o tempo mínimo de atuação do fusível ( $T$ ).

sendo:  $I_p = \frac{S_p}{U_c}$ ,

Onde:  $S_p$  = é o somatório das potências aparentes de pico em regime dos contatores no instante em referência

**Exemplo:**

Cálculo dos fusíveis para o circuito de comando (figura 5.1.3), considerando-se uma chave Y-Δ de 300 cv, F-N com comando 220V.

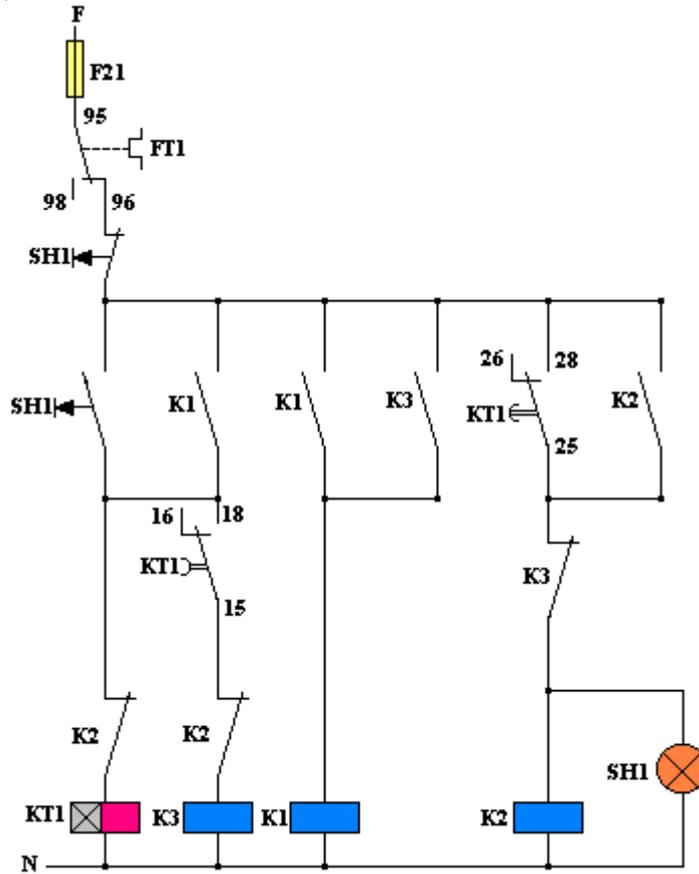


Figura 5.5 – Diagrama de comando de uma chave de partida Y-Δ

Instante	Atuação dos Contatores		Potência em regime do circuito de comando	Potência de pico do circuito de comando
	Ligar	Ligado		
T1	K1(CWME 700) K3(CWME 250)	-	-	SP=650+350 SP=1000W
T2	-	K1(CWME 700) K3(CWME 250)	SR=4,5+3,5 SR=8W	-
T3	K2(CWME 700)	K1(CWME 700)	-	SP=650+4,5 SP=654,5W
T4	-	K1(CWME 700) K2(CWME 700)	SR=4,5+4,5 SR=9W	-

Tabela 5.1.2.1.1

Primeiramente, deve-se analisar o instante de maior potência em regime. Neste caso o instante é T4; portanto:

$$I_R = \frac{S_R}{U_c}, \quad \text{ou seja:} \quad I_R = \frac{9}{220} = 41 \text{ mA}$$

$$I_F > I_R$$

$$I_F > 41 \text{ mA}$$

$$I_F = 50 \text{ mA}$$

Logo, o fusível de 50 mA permite a maior corrente em regime (instante T4). Com a primeira condição satisfeita, analisa-se a segunda condição. Na tabela 5.1.5, tem-se que a maior potência de pico está no instante T1, portanto:

$$I_p = \frac{S_p}{U_c}, \quad \text{ou seja:} \quad I_p = \frac{1000}{220} = 4,54 \text{ A}$$

O tempo mínimo de atuação do fusível (T) é de 0,2 segundos. Em função de T<sub>p</sub> e T, obtém-se no item 5.1.1.2, na curva do fusível tipo “D” o fusível em 2A. Portanto o fusível de 2A é o fusível correto a ser escolhido.

**b) Circuito de comando com transformador de comando.**

Existem duas situações:

- **Fusíveis no Primário**

É necessário que se verifique as duas condições:

1. A corrente (I<sub>F</sub>) do fusível deve ser superior à corrente em regime (I<sub>R</sub>) do circuito.

$$I_R = \frac{S_T}{U_{\text{primário}}}$$

Onde: S<sub>T</sub> = potência nominal do transformador.

$$I_F > I_R$$

2. O fusível deve suportar a corrente de pico (I<sub>p</sub>) máxima admissível pelo transformador, durante o tempo de ligação dos contatores.

A potência máxima admissível pelo transformador (S<sub>máx</sub>) é obtida em função do fator de potência do circuito (na condição de pico) e da potência nominal do transformador. (Para isto, necessita-se de uma curva característica de transformadores de comando.)

$$I_p = \frac{S_{\text{máx}}}{U_{\text{primário}}}$$

**Exemplo:** Cálculo dos fusíveis para o primário de uma transformador de 1500VA.

**a)** A corrente de regime é dada por (supondo a tensão no primário de 380V):

$$I_R = \frac{S_T}{U_{\text{primário}}} = \frac{1500}{380}$$

$$I_R = 3,95A$$

Escolhe-se o fusível de capacidade de corrente nominal ( $I_F$ ) imediatamente superior:

$$I_F > I_R$$

$$I_F = 4A$$

Portanto o fusível de 4A permite a maior corrente de regime.

- b) Determinar a corrente de pico ( $I_p$ ), sabendo que FP=25%. Neste momento necessita-se de uma curva característica de transformadores de comando para que, com os valores de FP e  $S_T$ , obtenha-se o valor de  $S_{m\acute{a}x}$ . Supõe-se que  $S_{m\acute{a}x}=9000VA$ , logo:

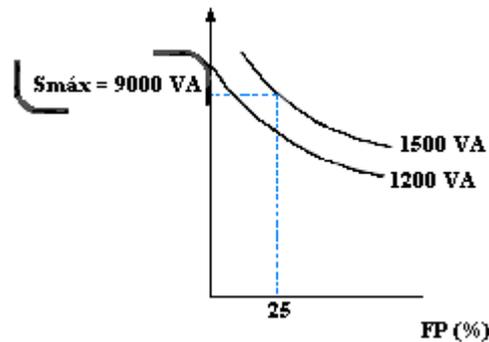


Figura 5.6 – Curva característica de transformadores de comando

$$I_p = \frac{S_{m\acute{a}x}}{U_{prim\acute{a}rio}} = \frac{9000}{380}$$

$$I_p = 23,7A$$

Sabe-se, ainda, que o tempo mínimo de atuação do fusível (T) é de 0,2 segundos. Tendo os valores de T e  $I_p$ , obtêm-se na figura 5.1.5 o fusível de 6A.

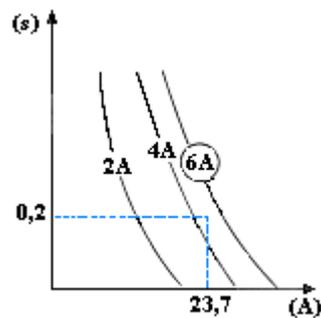


Figura 5.7

Concluindo, tem-se que o fusível de 6A atende as duas condições acima descritas.

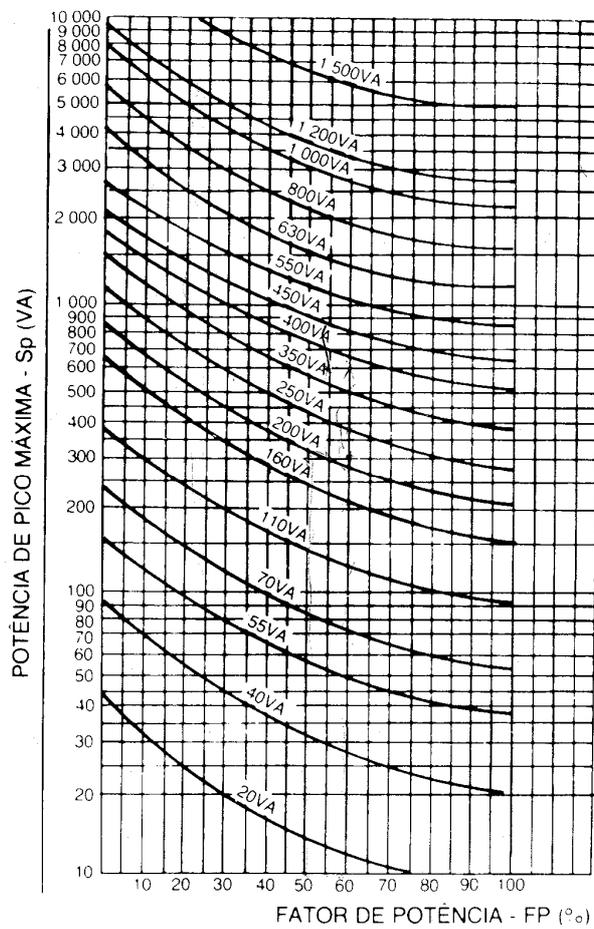


Figura 5.8 – Curva típica de transformadores

## 5.2 CONTADORES

### 5.2.1 DEFINIÇÃO (DE NORMA):

**Contator:** Chave de operação não manual, eletromagnética, que tem uma única posição de repouso e é capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive sobrecargas no funcionamento.

Os principais elementos construtivos de um contator são:

- Contatos;
- Núcleo;
- Bobina;
- Molas;
- Carcaça.

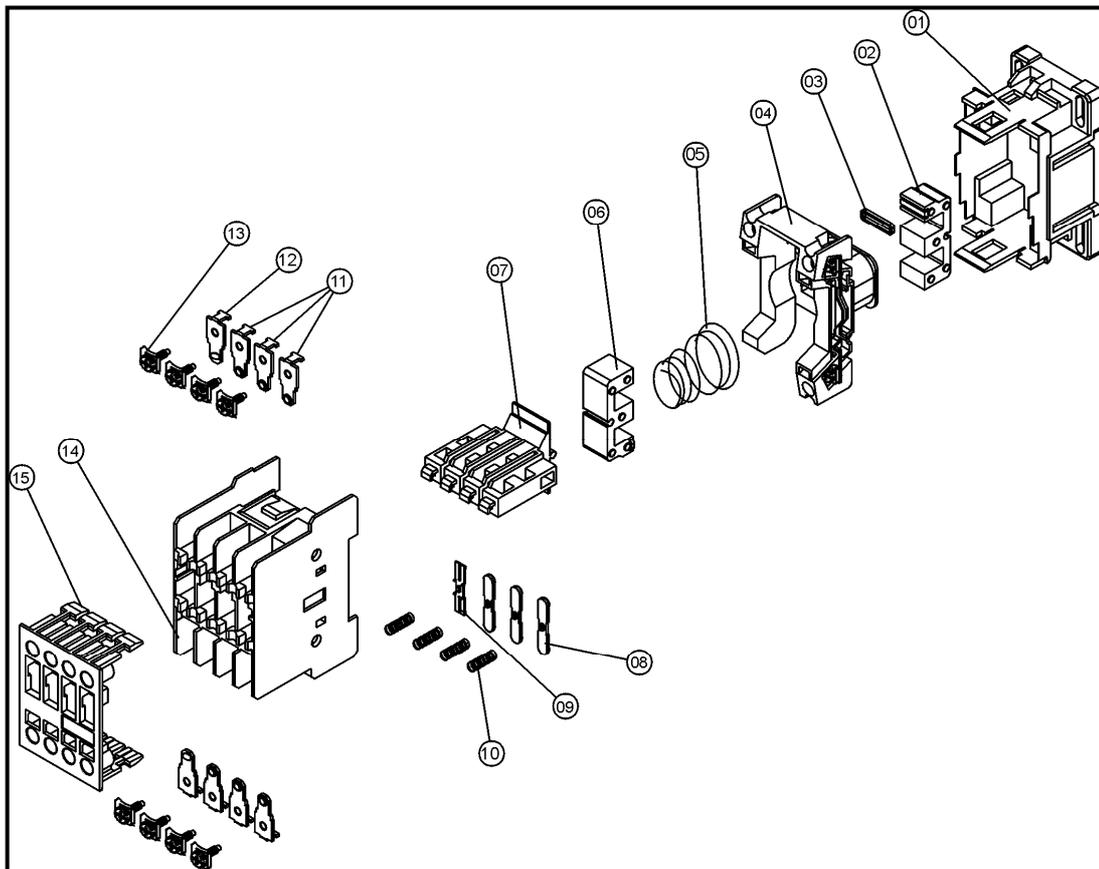


Figura 5.9

- 01 - Carcaça inferior
- 02 - Núcleo fixo
- 03 - Anel de curto circuito
- 04 - Bobina
- 05 - Mola de curso
- 06 - Núcleo móvel
- 07 - Cabeçote móvel
- 08 - Contatos móveis principais
- 09 - Contatos móveis auxiliares
- 10 - Molas de contato
- 11 - Contatos fixos principais
- 12 - Contatos fixos auxiliares
- 13 - Parafusos com arruelas
- 14 - Carcaça superior
- 15 - Capa

### 5.2.2 CONTATO PRINCIPAL

É aquele componente de ligação que, em estado fechado, conduz a corrente do circuito principal.

Os contatos principais de um contator são dimensionados com o objetivo principal de estabelecer e interromper correntes de motores, podendo ainda, acionar cargas resistivas, capacitivas e outras.

**Obs.: Os contatos principais nos contatores serão em número de três, quatro eventualmente dois e até um.**

### 5.2.3 CONTATOS AUXILIARES

São dimensionados para a comutação de circuitos auxiliares para comando, sinalização e intertravamento elétrico, entre outras aplicações.

O formato dos contatos auxiliares está de acordo com a função: normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF), podendo ser ainda adiantados ou retardados, dependendo da linha e modelo do contator utilizado.



Figura 5.10 – Montagem dos blocos de contatos auxiliares BCXMF e BCXML

### 5.2.4 SISTEMA DE ACIONAMENTO

O acionamento dos contatores WEG pode ser realizado com corrente alternada (CA) ou contínua (CC), por serem dotados de sistemas específicos (bobina, núcleo) para cada tipo de corrente.

#### *Acionamento CA:*

O campo magnético é produzido através da bobina, atraindo a parte móvel dos contatos, fazendo assim a movimentação dos contatos principais e auxiliares.

Para este sistema de acionamento, existem os anéis de curto-circuito, que situam-se sobre o núcleo fixo do contator e evitam o ruído devido à passagem da corrente alternada por zero.

Um entreferro reduz a remanência após a interrupção da tensão de comando e evita o “colamento” do núcleo. Após a desenergização da bobina de acionamento, o retorno dos contatos principais (bem como dos auxiliares) para a posição original de repouso, é garantido através de molas (de compressão).

### 5.2.5 ETIQUETAS E IDENTIFICAÇÃO DE TERMINAIS

#### 5.2.5.1 NOMENCLATURA DE CONTATOS EM CONTADORES

Segundo a IEC 60947-4, a identificação de terminais de contatores e relés associados, é para fornecer informações a respeito da função de cada terminal ou sua localização com respeito a outros terminais ou para outras aplicações. A seguir as definições da IEC 60947-4 e comentários :

- ✓ **Bobinas** : São identificadas de forma alfanumérica com A1 e A2.
- ✓ **Terminais do circuito principal (potência)**: Devem ser identificados por números unitários e por um sistema alfanumérico

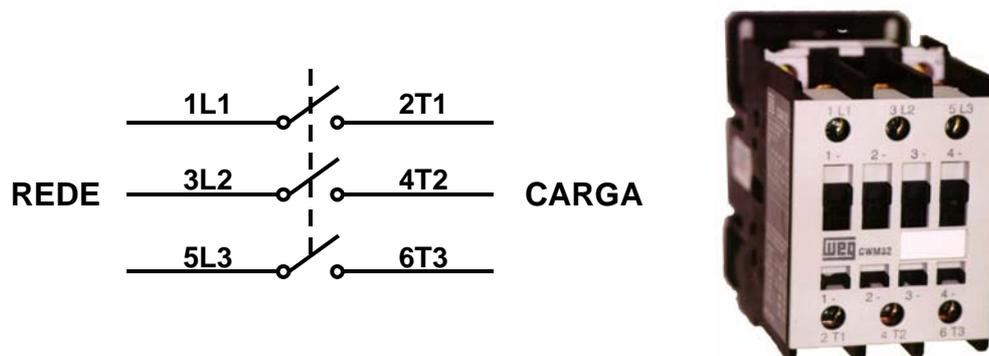


Figura 5.11

Os terminais 1L1, 3L2 e 5L3 voltam-se para a rede (fonte) e os terminais 2T1, 4T2 e 6T3 para a carga.

✓ **Terminais de contatos auxiliares** : Os terminais dos circuitos auxiliares devem ser marcados ou identificados nos diagramas, através de figura com dois números, a saber :

- a unidade representa a função do contato;
- a dezena representa a seqüência de numeração.

O exemplo a seguir ilustra este sistema de marcação :

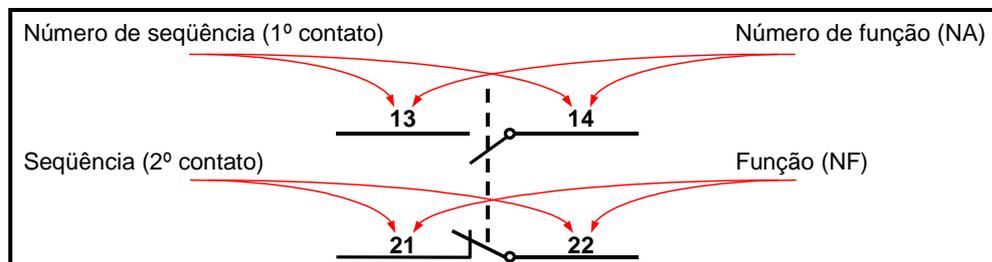


Figura 5.12

✓ **Número de Função** : Os números de função 1,2 são próprios de contatos normalmente fechados e 3,4 próprios de contatos normalmente abertos.

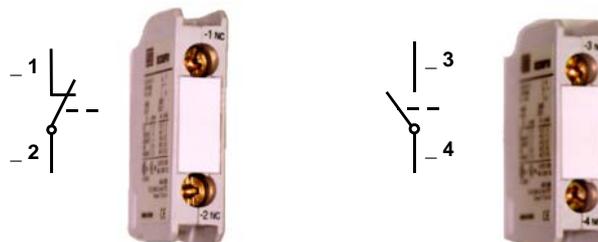


Figura 5.13

Os traços antes dos números indicam a seqüência.

Os números de função 5-6 são próprios de contatos NF retardados na abertura, enquanto os números de função 7-8 são próprios de contatos NA adiantados no fechamento.

- ✓ **Número de Seqüência** : A norma diz que terminais pertencentes a um mesmo elemento de contato devem ser marcados com o mesmo número de seqüência.

Logo, todos os contatos de mesma função devem ter número de seqüência diferentes.

*Exemplo* :

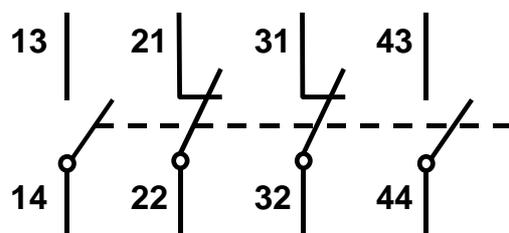


Figura 5.14

- ✓ **Disposição mecânica** : Além da codificação normal de sequenciamento e função dos contatos auxiliares, existe ainda uma nomenclatura dependente da disposição mecânica destes, a saber:
  - **Terminação “E”** : Esta terminação, destinada à disposição preferencial, dita que em seqüência de dois contatos, sendo 1NA+1NF, tem-se sempre em primeiro o NA, seguido do NF. Já nas seqüências com número de contatos superior a dois tem-se um contato NA iniciando a seqüência, seguido de todos os NF, e após estes os NA restantes. Assim, acrescente-se à especificação do contator a terminação “E”.

*Exemplo* : CAWM 4.22E

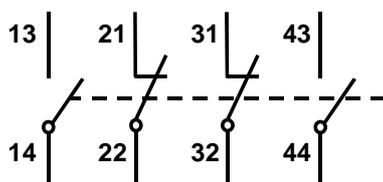


Figura 5.15

- **Terminação “Z”** : Existem situações em que as características construtivas do contator não permitem a disposição preferencial “E”. Nestes casos opta-se pela variante “Z”, que dita para qualquer seqüência, que tenha-se em primeiro lugar todos os contatos NA, seguidos de todos os NF.

*Exemplo* : (hipotético) : Contator XXXYY.22Z

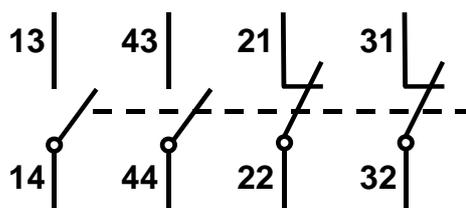


Figura 5.16

**OBS :** Deve-se notar que a numeração de sequenciamento e de função é feita como se o contator fosse “E”. Altera-se apenas a localização do contato no contator.

- ✓ **Contatores providos de blocos aditivos :** Tanto contatores de força (potência) como auxiliares podem ser fabricados em uma configuração básica, sobre a qual aplica-se “blocos de contatos auxiliares aditivos”

Esta técnica (e tendência) permite ao projetista e/ou usuário definir e aplicar os contatos auxiliares que desejar e que necessitar para cobrir as funções de intertravamento e sequenciamento elétrico que seu equipamento exigir.

A seguir são mostrados alguns exemplos de contatores de força WEG e respectivas versões básicas e como ficam quando recebem blocos aditivos :

- **CWM 9, CWM 12 e CWM 18 :** São oferecidos nas versões básicas contendo pelo menos um contato auxiliar incorporado e numa configuração mais completa contendo 2 contatos auxiliares normalmente abertos e dois contatos auxiliares normalmente fechado (2 NA + 2 NF).

Este contato (1 contato auxiliar do contator) será identificado por :

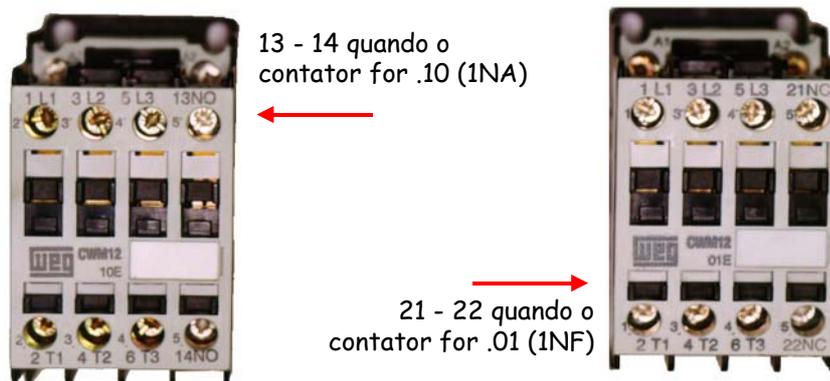


Figura 5.17

No caso de se adicionar 3 contatos auxiliares para deixá-los com 2NA+2NF o esquema representativo fica :

- CWM básico .10E : (9 a 18A)

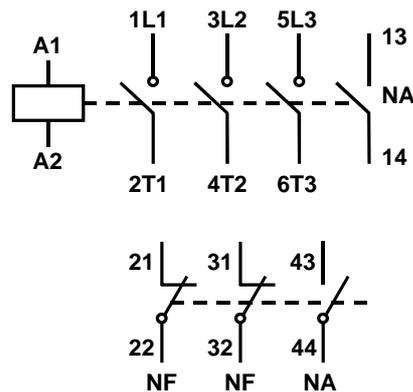
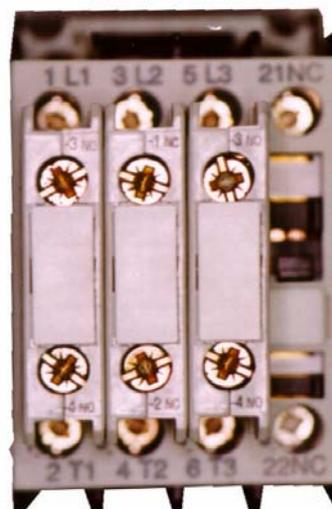
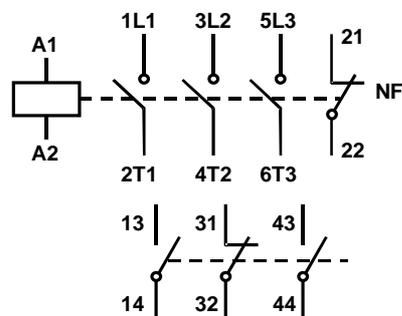


Figura 5.18

- CWM básico .01E : (9 a 18A)



21, 22 porque a norma recomenda que o 1º contato (posição 1) seja um "NA" e não NF.

Figura 5.19

- **CWM 25 e CWM 32** : Estes dois contatores estão disponíveis na versão 3 ou 4 pólos podendo ter nenhum e até 2 contatos auxiliares normalmente aberto e dois contatos auxiliares normalmente fechados. Para a combinação .22 a partir da versão 3 pólos + 1 auxiliar, os exemplos ficam idênticos aos acima descritos.

Na versão preferencial .00, o esquema representativo fica :

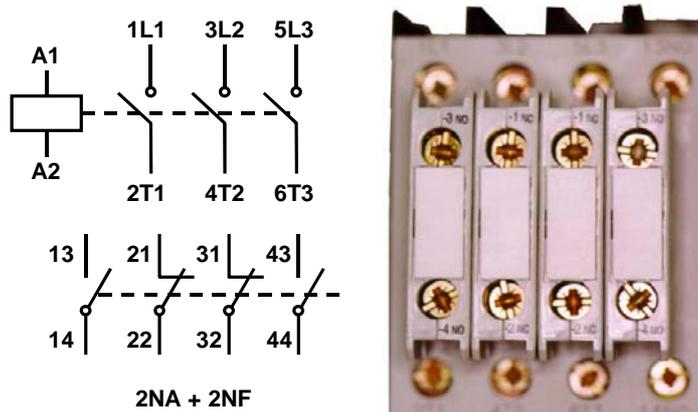


Figura 5.20

- **CWM 40 a CWME 800** : A versão básica destes contatores é a .00, muito embora sejam comercializados na versão .11 (1NA+1NF), versão esta obtida pela adição de blocos frontais até 105A e daí em diante um bloco lateral de 2 contatos (1NA+1NF).



Figura 5.21

- **CWC 07 a CWC 25:** Tripolar ou tetrapolar, corrente de 7 a 25 A, bobinas CA e CC, frequência de 50 e 60 Hz. Um contato auxiliar normalmente aberto ou normalmente fechado, tensão de isolamento 690 V. Acessórios: blocos de contatos auxiliares frontais (2 ou 4 contatos), filtros RC, diodos e bloco de intertravamento mecânico.



Figura 5.22

### 5.2.6 FASES DE UMA MANOBRA

O ciclo de manobra de um contator pode ser dividido em 4 fases: processos de ligação e desligamento e estado ligado e desligado.

As fases mais difíceis para o contator são no desligamento (de cargas indutivas, principalmente) e na ligação.

#### 5.2.6.1 PROCESSO DE LIGAÇÃO

Durante o fechamento, as peças móveis são aceleradas na direção das fixas. Após o choque que ocorre entre estas partes, a energia cinética, da qual parte é transformada em calor e parte em deformação mecânica, tem que ser reduzida.

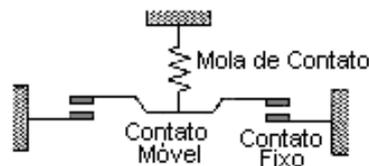


Figura 5.23 – Representação esquemática do sistema de amortecimento do ricochete

Se a energia cinética restante for significativa, ocorre a separação das partes móveis das fixas, comprimindo as molas de contato, que armazenam esta energia e em seguida aceleram novamente as partes móveis na direção das fixas, ocorrendo o chamado “ricochete”.

Este processo de transformação de energia cinética das peças móveis em energia potencial das molas de contato, é realizado sucessivamente até que toda a energia cinética seja transformada em deformação mecânica e atrito (calor).

O ricochete é fator decisivo no desgaste dos contatos, atuando de duas formas:

- Desgaste por ação mecânica;
- Desgaste por queima, em função do número de arcos a serem extinguidos (podendo ocorrer inclusive, colamento de contatos).

Para evitar-se o ricochete, o fabricante atua em:

- Maior força de contato (molas);
- Redução da velocidade de fechamento;
- Otimização do circuito magnético.

É feita uma otimização destas providências, garantindo uma maior segurança contra colamento de contatos e uma maior vida elétrica.

Do ponto de vista elétrico, o processo de ligação depende do circuito em que o contator está operando: CA ou CC.

⇒ *Em Circuitos CA:*

- Cargas resistivas: a tensão está em fase com a corrente;
- Cargas indutivas: surge uma defasagem entre a tensão e a corrente. A corrente antes de se estabilizar, passa por um transitório, que pode ser desmembrado em duas componentes, a alternada e a contínua. Esta componente contínua decresce em função da constante de tempo do circuito, L/R;
- Cargas capacitivas: ocorre, igualmente, uma defasagem entre a tensão e a corrente. A estabilização da corrente transitória acontece com uma velocidade que é dependente da constante de tempo, RxC.

⇒ *Em Circuitos CC:*

- Cargas indutivas: a corrente não assume instantaneamente um valor nominal, devido à indutância do circuito, que dificulta o crescimento. a constante de tempo do circuito é dada pela relação entre o valor final da corrente e a velocidade inicial de crescimento da mesma. A corrente chega a 95% de seu valor final após um tempo de três vezes a constante de tempo. Em sistemas industriais, esta constante apresenta valores de até 15ms.
- Cargas capacitivas: a corrente é limitada pela resistência do circuito e podem ocorrer picos. O comportamento do circuito é definido pela constante de tempo, RxC, que é inversamente proporcional à velocidade de decréscimo da corrente.

### 5.2.6.2 ESTADO FECHADO

O contator encontra-se nesta posição quando a bobina está energizada e os contatos principais encontram-se fechados em todos os pólos do contator.

Na posição fechado ocorre o aquecimento dos contatos e da bobina. A geração de calor nos contatos limita a capacidade de condução dos mesmos. Assim, deve-se minimizar o aquecimento dos contatos, o que é possível com a redução da resistência de contato.

Com base nas equações abaixo (5.2.1 e 5.2.2), conclui-se que para diminuir-se a potência calorífica, deve-se aumentar a área de passagem da corrente elétrica:

$$P = R \times I^2 \quad (5.2.1)$$

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (5.2.2)$$

Onde:	P	= potência calorífica;
	R	= resistência de contato;
	I	= corrente;
	$\rho$	= resistividade do material;
	l	= comprimento da seção condutora;
	A	= área de contato.

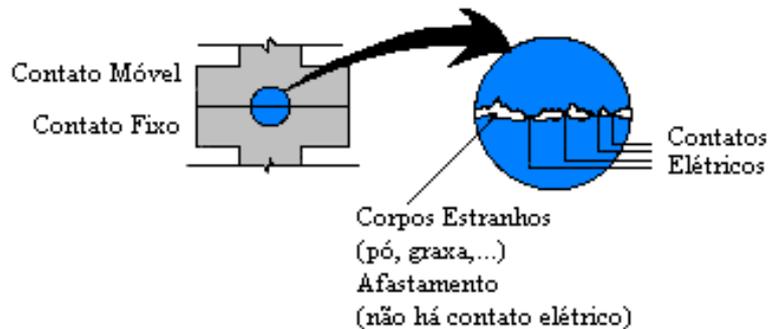


Figura 5.24 – Representação do contato elétrico

Nota-se, na figura acima, que a área real de contato é sempre menor do que a área aparente (geométrica) devido a:

- irregularidade de forma;
- rugosidade;
- depósito de corpos estranhos sobre o contato (pó, graxa, oxidação, etc.).

O aumento da força de contato permite a um aumento da área real de contato. Portanto, deve-se ter uma relação bem definida entre a força de contato e corrente nominal.

(\*) Atualmente são fabricados contatores especiais para uso em circuitos de iluminação pública em que os contatores de força estão fechados quando o contator está na posição de repouso (durante a noite) e abertos quando acionado o circuito magnético. Isto garante que, na queima natural da bobina, a função de iluminação seja garantida.

### 5.2.6.3 PROCESSO DE DESLIGAMENTO

No desligamento de contatores ocorre sempre o fenômeno do arco voltaico.

É importante que o arco seja eliminado rapidamente para evitar que as peças de contato sejam danificadas. Durante o afastamento dos contatos, na abertura de um circuito elétrico, o calor gerado provoca a fusão e evaporação do material de contato, fazendo com que a corrente circule através do arco voltaico.

Com o afastamento dos contatos, tem-se uma maior queda de tensão no arco, até que o mesmo acaba se extinguindo.

Para corrente alternada, a extinção do arco é mais simples, pois aproveita-se a passagem da corrente pelo ponto zero.

Todo este processo de desligamento tem uma grande influência na vida elétrica do contato.

#### 5.2.6.4 ESTADO ABERTO

Este estado representa para o contator um estado de repouso. Nesse caso poderá haver influência mais forte de agentes poluentes externos (pó, oxidação, elementos químicos, etc.), pois não circula corrente pelos contatos, não havendo assim o natural aquecimento e com isso incide a ação da umidade. (Exceto no caso de contadores anteriormente citados, para iluminação pública).

#### 5.2.7 ENSAIOS REALIZADOS

A qualidade dos contadores WEG é verificada e garantida através de ensaios apropriados (de tipo, individual e especial), segundo a IEC 60947 e procedimentos internos normalizados e auditados em conformidade com a ISO 9002.

##### ⇒ *Ensaio de Tipo*

- **Comprovação da elevação de temperatura:**  
Ensaio onde é medida a temperatura nos diversos componentes do contator (contatos principais, auxiliares e eletroímãs), sendo que esta não deve ultrapassar os valores que constam na norma. O contator deve estar instalado nas condições usuais de serviço e não deve sofrer influência de aquecimento ou resfriamento externo indevido;
- **Comprovação da capacidade nominal de abertura e fechamento:**  
Verificação da capacidade do contator em estabelecer e interromper correntes maiores que a nominal, cujos valores são mencionados na norma;
- **Comprovação dos valores limites de operação:**  
O contator deve ser capaz de operar para uma tensão de acionamento entre 0,85 e 1,1 vezes a tensão nominal e só deve desoperar para uma tensão entre 0,75 e 0,10 vezes a tensão nominal (ensaio realizado sem carga);
- **Comprovação da capacidade de sobrecarga:**  
É a capacidade do contator conduzir uma corrente equivalente a 8 vezes a corrente nominal em regime AC3 durante 10s sem que surjam danos.
- **Ensaio de isolamento:**  
Realizado com aplicação de uma tensão de 2640V durante 1s entre os diversos componentes do contator (contatos principais, auxiliares e eletroímã). Tem por finalidade comprovar se o contator é capaz de suportar sobretensões elevadas de curta duração.
- **Comprovação dos tempos de fechamento, abertura e ricochete:**  
Com a utilização de equipamentos específicos (osciloscópio) são verificados os respectivos tempos de fechamento, abertura e ricochete do contator.
- **Comprovação dos cursos de cabeçote e curso de contato.**

⇒ *Ensaio Especial*

- **Comprovação da vida útil mecânica (Para pequeno número de peças da produção):**

Pode ser considerado ensaio especial; Ensaio realizado com o contator instalado sob condições usuais de serviço e com o número de ligações que está previsto para a classe de funcionamento intermitente (ensaio realizado sem carga);

- **Ensaio de vida elétrica:**

A vida elétrica dos contatos principais dos contadores WEG situa-se na faixa de 1 milhão de manobras em regime AC3, sendo suficiente para proporcionar-lhe longos períodos de vida útil.

O ensaio de vida elétrica é realizado nos regimes de emprego AC3 e AC4.

A vida mecânica situa-se em torno de 10 milhões de manobras, o que certamente garante um perfeito funcionamento do contator durante toda a sua vida elétrica.

Esta superioridade da vida mecânica pode levar a concluir-se erroneamente, que os contatos podem ser substituídos cerca de 10 vezes. É claro que a substituição dos contatos é um artifício válido e muito empregado, mas não se deve esquecer que a cada operação do contator ocorre faiscamento, especialmente na abertura, havendo geração de calor e liberação de vapores pelos contatos. Esse fenômeno provoca um depósito de material condutor nas câmaras do contator, além de carbonizar as partes internas dos mesmos.

Disto conclui-se que a carbonização das câmaras, ou seja, o estado das mesmas é um fator determinante da vida do contator.

Para a substituição dos contatos de força da linha CW e CWM, são disponíveis jogos de contatos.

### 5.2.8 POSIÇÃO DE MONTAGEM

✓ *CWM 9...105*

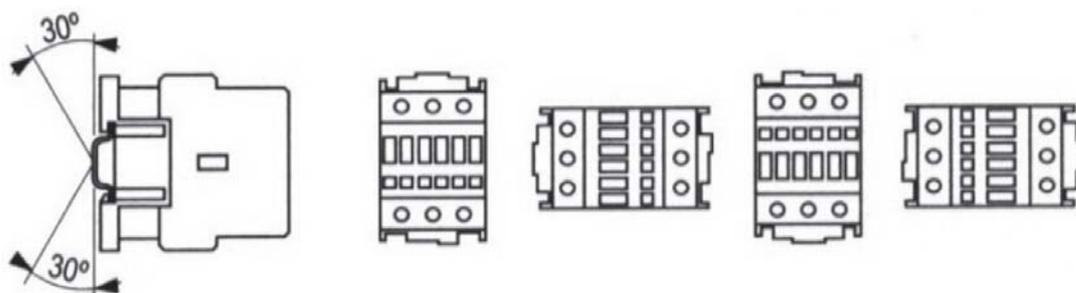


Figura 5.25

✓ *CWME 150...800*

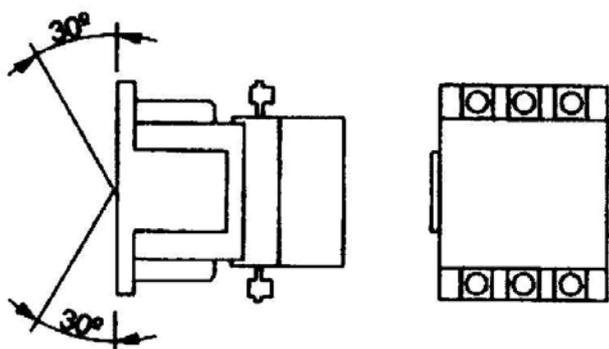


Figura 5.26

✓ *CWC07...25*

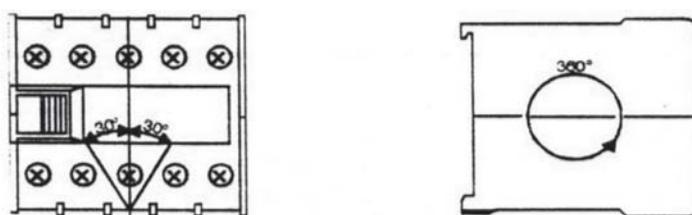


Figura 5.27

- Redução em -7% nos valores de tensão de operação (ligamento);
- Aumento de 14% nos valores de tensão de desoperação (desligamento).

### 5.2.9 SELEÇÃO DE CONTADORES

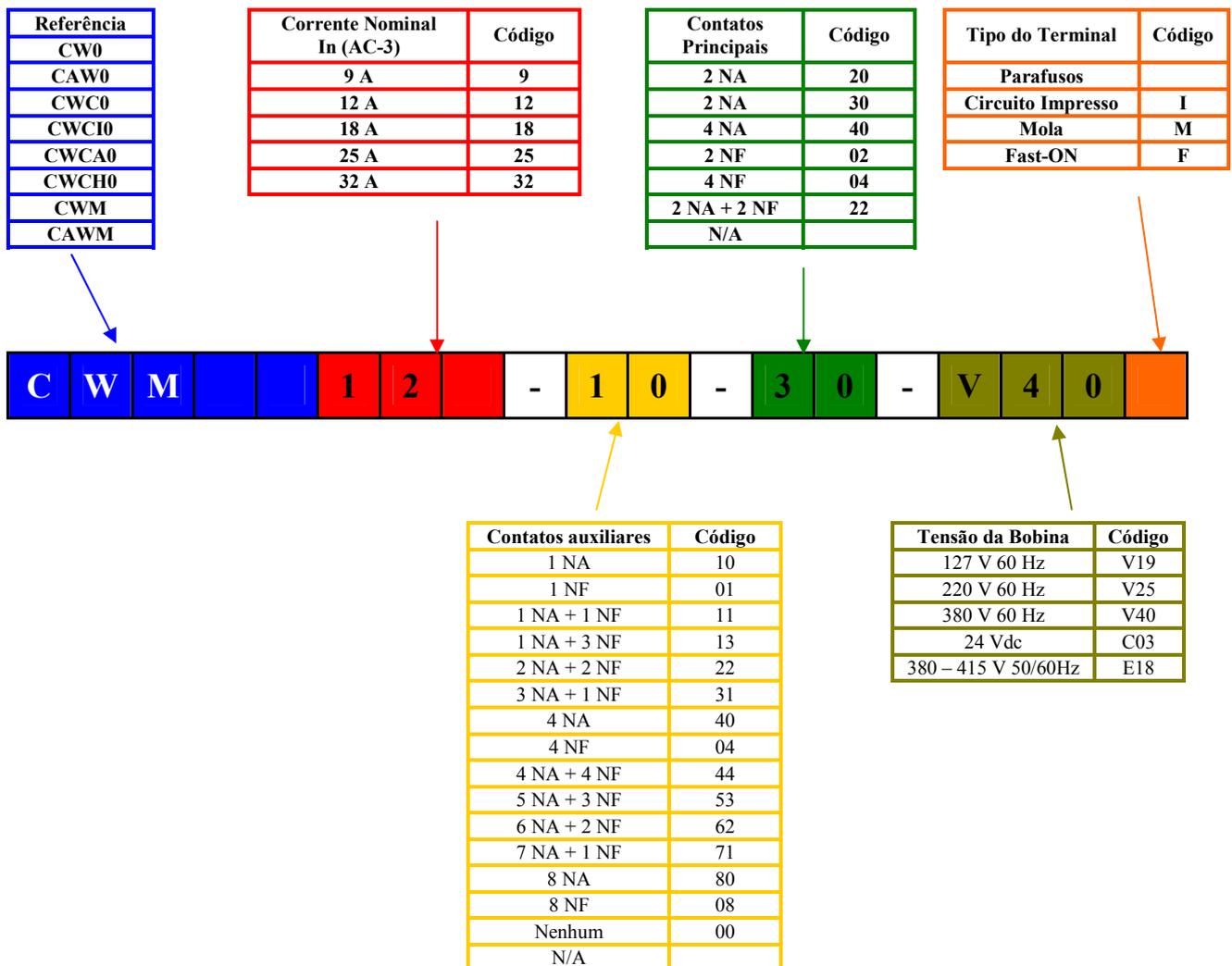


Figura 5.28

### 5.3 DIMENSIONAMENTO DE CONTADORES DE FORÇA

A escolha de contadores merece grande atenção, pois disto dependerá o funcionamento correto dos motores e equipamentos por eles acionados, bem como, a vida útil (elétrica e mecânica) dos contadores especificada pelo fabricante.

#### 5.3.1 CRITÉRIOS DE ESCOLHA

Os critérios de escolha mais importantes são:

##### a) Categoria de Emprego:

A categoria de emprego determina as condições para a ligação e interrupção da corrente e da tensão nominal de serviço correspondentemente, para a utilização normal do contator, nos mais diversos tipos de aplicação para CA e CC.

<i>Tipo de Corrente</i>	<i>Categorias de Emprego</i>	<i>Aplicações Típicas</i>
CA	AC – 1	Manobras leves; carga ôhmica ou pouco indutiva (aquecedores, lâmpadas incandescentes e fluorescentes compensadas).
	AC – 2	Manobras leves; comando de motores com anéis coletores (guinchos, bombas, compressores). Desligamento em regime.
	AC – 3	Serviço normal de manobras de motores com rotor gaiola (bombas, ventiladores, compressores). Desligamento em regime.*
	AC – 4	Manobras pesadas. Acionar motores com carga plena; comando intermitente (pulsatório); reversão a plena marcha e paradas por contracorrente (pontes rolantes, tornos, etc.).
	AC – 5a	Chaveamento de controle de lâmpadas de descargas elétricas.
	AC – 5b	Chaveamento de lâmpadas incandescentes.
	AC – 6a	Chaveamento de transformadores.
	AC – 6b	Chaveamento de bancos de capacitores.
	AC – 7a	Aplicações domésticas com cargas pouco indutivas e aplicações similares.
AC – 7b	Cargas motoras para aplicações domésticas.	
AC – 8a	Controle de compressor-motor hermeticamente refrigerado com reset	

		manual para liberação de sobrecarga.**
AC – 8b		Controle de compressor-motor hermeticamente refrigerado com reset automático para liberação de sobrecarga.**
AC – 12		Controle de cargas resistivas e cargas de estado sólido com isolamento através de acopladores ópticos.
AC – 13		Controle de cargas de estado sólido com transformadores de isolação.
AC – 14		Controle de pequenas cargas eletromagnéticas ( $\leq 72VA$ ).
AC – 15		Controle de cargas eletromagnéticas ( $> 72VA$ ).
AC – 20		Conectar e desconectar sob condições sem carga.
AC – 21		Comutação de cargas resistivas, incluindo sobrecargas moderadas.
AC – 22		Comutação de cargas mistas resistiva e indutiva, incluindo sobrecargas moderadas.
AC – 23		Comutação/Partida de motores ou outras cargas altamente indutivas.
AC – 31		Cargas não indutivas ou levemente indutivas.
AC – 33		Motores, ou cargas mistas incluindo motores, cargas resistivas e cargas constituídas de até 30% de lâmpadas incandescentes.
AC – 35		Cargas compostas de lâmpadas fluorescentes(electric discharge lamp)
AC – 36		Cargas compostas de lâmpadas incandescentes.
AC – 40		Circuitos de distribuição compreendidos de cargas resistivas e reativas tendo como resultante uma reatância indutiva.
AC – 41		Cargas não indutivas ou levemente indutivas, fornos de resistência.
AC – 42		Partida e desligamento de motores de anéis
AC – 43		Motores de gaiola (indução): Partida e desligamento.
AC – 44		Motores de gaiola (indução): partida, reversão (plugging), inching <sup>a</sup> .
AC – 45a		Comutação/Interruptores de lâmpadas fluorescentes.
AC – 45b		Comutação/Interruptores de lâmpadas incandescentes.

	AC – 51	Cargas não indutivas ou levemente indutivas, fornos de resistência.
	AC – 52a	Controle de motores de anéis: 8 horas de serviço com partida, aceleração e funcionamento em velocidade nominal.
	AC – 52b	Controle de motores de anéis: serviço intermitente.
	AC – 53a	Controle de motores de gaiola: 8 horas de serviço com partida, aceleração e funcionamento em velocidade nominal.
	AC – 53b	Controle de motores de gaiola: serviço intermitente.
	AC – 55a	Comutação de lâmpadas fluorescentes.
	AC – 55b	Comutação de lâmpadas incandescentes.
	AC – 56a	Comutação de transformadores.
	AC – 56b	Comutação de banco de capacitores.
	AC – 58a	Controle de compressor-motor hermeticamente refrigerado com reset automático para liberação de sobrecarga: 8 horas de serviço com partida, aceleração e funcionamento em velocidade nominal.
	AC – 58b	Controle de compressor-motor hermeticamente refrigerado com reset automático para liberação de sobrecarga: serviço intermitente.
	AC – 140	Controle de pequenas cargas eletromagnéticas com corrente $\leq 0,2$ A, por exemplo, relés de contadores.
CC	DC – 1	Cargas não indutivas ou pouco indutivas, (fornos de resistência)
	DC – 3	Motores CC com excitação independente: partindo, em operação contínua ou em chaveamento intermitente. Frenagem dinâmica de motores CC.
	DC – 5	Motores CC com excitação série: partindo, operação contínua ou em chaveamento intermitente. Frenagem dinâmica de motores CC.
	DC – 6	Chaveamento de lâmpadas incandescentes
	DC – 12	Controle de cargas de cargas resistivas e cargas de estado sólido através de acopladores ópticos.
	DC – 13	Controle de eletroímãs

DC – 14	Controle de cargas eletromagnéticas que têm resistores de economia no circuito.
DC – 20	Conectar e desconectar sob condições sem carga.
DC – 21	Comutação de cargas resistivas, incluindo sobrecargas moderadas.
DC – 22	Comutação de cargas mistas resistiva e indutiva, incluindo sobrecargas moderadas.
DC – 23	Comutação de cargas altamente indutivas.
DC – 31	Cargas resistivas.
DC – 33	Motores ou cargas mistas incluindo motores.
DC – 36	Cargas compostas de lâmpadas incandescentes.
DC – 40	Circuitos de distribuição compreendidos de cargas resistivas e reativas tendo como resultante uma reatância indutiva.
DC – 41	Cargas não indutivas ou levemente indutivas, fornos de resistência.
DC – 43	Motor-paralelo (shunt-motor): partida, reversão (plugging), inching <sup>a</sup> . Frenagem dinâmica de motores de corrente contínua.
DC – 45	Motor-série (serie-motor): partida, reversão (plugging), inching <sup>a</sup> . Frenagem dinâmica de motores de corrente contínua.
DC – 46	Comutação de lâmpadas incandescentes.

\* A categoria AC – 3 pode ser usada para regimes intermitentes ocasionais por um período de tempo limitado como em set-up de máquinas; durante tal período de tempo limitado o número de operações não pode exceder 5 por minuto ou mais que 10 em um período de 10 minutos.

\*\* Motor-compressor hermeticamente refrigerado é uma combinação que consiste em um compressor e um motor, ambos enclausurados em um invólucro, com eixo não externo, onde o motor opera neste meio refrigerante.

<sup>a</sup> Por inching é entendido como a energização do motor por curtos períodos de tempo para obter-se pequenos movimentos, porém precisos.

Tabela 5.3.1.1 – Categorias de Emprego de Contatores conforme IEC 60947-1

A determinação do contator é feita através da corrente ou potência a acionar e tensão do circuito principal, após a definição da categoria de emprego.

**b) Tensão de Comando:**

Critério empregado após a definição do tipo de contator a ser utilizado, juntamente com a frequência da rede. Diferencia-se a princípio pelo sistema utilizado, sendo usual a tensão em corrente alternada e com menor incidência em corrente contínua.

**c) Frequência de Manobras**

Frequência de manobras, ou seja, o número de manobras por hora que o contator deve realizar, também é uma informação importante, pois, quanto maior este valor, menor será a vida dos contatos.

No catálogo em anexo, encontram-se os valores de frequência de manobras para os diversos tipos de aplicação.

**d) Quantidade de Contatos Auxiliares**

A quantidade depende das necessidades de comando intertravamento e sinalizações constantes do circuito.

### **5.3.2 COMUTAÇÃO DE MOTORES COM ROTOR DE GAIOLA**

A escolha do contator pode ser feita baseada na corrente nominal do motor, para a tensão correspondente e o tipo de serviço nominal do motor.

#### **5.3.2.1 ESCOLHA PARA CATEGORIA DE EMPREGO AC3**

O típico caso de emprego para a categoria AC3 é a partida de um motor com rotor gaiola e seu desligamento em regime.

Na partida de motores com rotor gaiola, a corrente normalmente está entre 6 e 8 x  $I_e$ . O desligamento é feito sob corrente nominal ( $I_e$ ).

(Valores, ver catálogo anexo)

#### **5.3.3 COMUTAÇÃO DE CARGAS RESISTIVAS – CATEGORIA AC-1**

Contatores para comutação de cargas resistivas são escolhidos para categoria de emprego AC1 (no caso de corrente contínua DC1), onde a corrente de desligamento é praticamente igual à de ligação. É admissível um pequeno aumento da corrente de ligação devido à menor resistência em estado frio em comparação com a resistência verificada no regime de funcionamento.

A frequência de manobras usual é 50 manobras/hora, sendo que, no caso de uma série de comutações extremamente rápidas, por exemplo, uma frequência de 1000 manobras/horas, se faz necessária uma redução da corrente de serviço.

É comum que circuitos de aquecimento sejam comutados com os pólos do contator tripolar em paralelo. Assim, a corrente nominal de serviço em regime AC1 pode ser aumentada como segue:

- 2 pólos em paralelo,  $1,6xI_e$  (AC1) em cada circuito;
- 3 pólos em paralelo,  $2xI_e$  (AC1) em cada circuito.

#### 5.3.4 CHAVEAMENTO DE CAPACITORES – CATEGORIA AC-6b

Em baixas tensões, é relativamente segura e simples a interrupção das correntes capacitivas. Um fato importante a ser considerado é que o capacitor não apresenta picos de corrente, em seu desligamento, pois não procura conservar sua corrente. Porém no instante do ligamento ele influi na rede como um curto-circuito, exigindo uma corrente elevada, limitada apenas pela própria rede.

Há distinção entre:

- Chaveamento de capacitor individual;
- Chaveamento de capacitor em paralelo com um banco já ligado.

- 1) Em correção localizada: deve ser instalado contator convencional especificado para regime AC-6b. O contator pode ser dispensado para carga de baixa inércia ou sempre que a corrente nominal do capacitor for menor ou igual a 90% da corrente de excitação do motor. Sua manobra depende de um contato auxiliar do contator principal da chave de partida;
- 2) Em correção para grupos de motores: deve ser instalado contator convencional conforme citado no item acima. Geralmente, o mesmo entra ou sai de funcionamento através de um contato auxiliar do contator principal que aciona o motor de maior potência do grupo;
- 3) Em bancos automáticos: devem ser instalados contadores especiais da série K para potências reativas inferiores a 15 kvar em 220V e 25 kvar em 380/440V;
- 4) Em correções gerais de carga através de um único capacitor: deve ser instalado contator convencional especificado conforme item 1). A manobra deste contator geralmente depende dos seguintes dispositivos: relé horário, foto-célula, botoeira ou comutador de comando liga-desliga e etc.

### 5.3.5 COMUTAÇÃO DE LÂMPADAS

Instalações de iluminação apresentam exigências bastante distintas quanto ao contator, especialmente devido às diferenças existentes quanto à corrente de partida para os diversos tipos de lâmpadas.

#### 5.3.5.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES

A corrente de ligação no primeiro instante é bastante alta, mas desprezível em função do tempo que perdura. No momento em que surge a luz no filamento, a corrente já se estabilizou (o filamento aquecendo aumenta a sua resistência provocando uma redução brusca na corrente), motivo pelo qual não se considera na prática esta elevação.

A corrente de desligamento é igual a corrente nominal. A corrente de ligação do circuito de lâmpadas incandescentes não pode ser superior ao valor da capacidade de ligação do contator e a corrente de serviço permanente do circuito não pode ser maior que a corrente térmica convencional do contator ( $I_{th}$ ).

- ✓  $I_e$  – corrente térmica de operação;
- ✓  $I_{th}$  – corrente térmica de regime.

#### 5.3.5.2 LÂMPADAS FLUORESCENTES

Contatores para lâmpadas sem compensação devem suportar, no chaveamento, uma corrente de pré-aquecimento maior (aproximadamente  $2xI_e$ ), por um curto período de tempo e devem suportar em média uma carga térmica de 90% da sua corrente nominal de serviço AC1.

#### 5.3.5.3 LÂMPADAS DE VAPOR DE MERCÚRIO DE ALTA PRESSÃO

Durante o processo do aquecimento (até aproximadamente 5 minutos), ocorre um aumento da corrente para  $2xI_e$ .

#### 5.3.5.4 LÂMPADAS DE VAPOR METÁLICO DE HALOGÊNIO

Se trata de uma variante das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, com um melhor rendimento ocorrendo também uma elevação na corrente ( $2xI_e$ ) durante o período de aquecimento (3 à 5 minutos).

#### 5.3.5.5 LÂMPADAS MISTAS

Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão com uma resistência de tungstênio, que serve como uma fonte de luz e como resistência de pré aquecimento do mercúrio. A intensidade de corrente na ligação é de  $1,3xI_e$  e no desligamento é igual a  $I_e$ .

O tempo de aquecimento é de aproximadamente 3 minutos.

### 5.3.5.6 LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA E BAIXA PRESSÃO

São lâmpadas com tempo de ligação considerável (em torno de 10 minutos), o que deve ser levado em conta na escolha do contator. As correntes de ligação tem valores 40% maiores que  $I_e$ . Os contadores devem ser selecionados com base no valor da corrente de ligação, que não deve ser maior que a corrente térmica convencional ( $I_{th}$ ).

### 5.3.6 COMUTAÇÃO DE CORRENTE CONTÍNUA

Contadores fabricados originalmente para corrente alternada (CA) podem ser utilizados também para comutação de corrente contínua, observando determinadas condições. Enquanto que em CA a extinção do arco voltaico é obtida na passagem da corrente por zero, para se obter a interrupção de CC deverá ser gerada uma tensão de arco.

Na utilização de contadores tripolares com suas câmaras de extinção normais para CA, alcança-se essa tensão de arco através da ligação em série dos três pólos.

Com isto se consegue também uma distribuição do calor gerado em maior área de contato.

As condições para comutação de CC são:

- Valor máximo de tensão: 220V;
- Tipo de aplicação, por exemplo: carga resistiva ou indutiva, esta com constante de tempo  $\frac{L}{R} \leq 15ms$ ;
- Frequência máxima de manobras: 50 manobras/hora.

### 5.3.7 COMUTAÇÃO EM APLICAÇÕES ESPECIAIS

Alguns tipos de aplicações não são indicados em categorias de emprego, sendo comentados à parte para que não haja erro de escolha.

#### 5.3.7.1 COMUTAÇÃO DE TRANSFORMADORES A VAZIO (SEM CARGA NO SECUNDÁRIO):

Pode surgir uma elevada corrente de magnetização. Esta corrente, dependendo do tipo construtivo do transformador, pode atingir valores entre 10 e 30 vezes a corrente nominal. Os contadores, para comutação desses transformadores, têm que possuir uma capacidade de ligação correspondente, sendo escolhidos como segue:

- Contadores com  $I_e \leq 100A$ :  

$$I_{IL} \leq 12 \times I_e \times \sqrt{2} \text{ [A] (valor de pico);}$$
- Contadores com  $I_e > 100A$ :  

$$I_{IL} \leq 10 \times I_e \times \sqrt{2} \text{ [A] (valor de pico);}$$

### 5.3.7.2 COMUTAÇÃO DE TRANSFORMADORES EM MÁQUINAS DE SOLDA:

Quando são curto-circuitados os eletrodos da máquina de solda, surge uma elevada corrente no primário do transformador. Esta corrente de curto-circuito não deve ultrapassar, em hipótese nenhuma, 50% da capacidade de ligação e desligamento do contator, caso contrário haverá um desgaste excessivo dos contatos. Deverão ser conhecidas as seguintes condições de serviço: carga do transformador, corrente de serviço, corrente de curto-circuito (dos eletrodos), bem como a frequência de manobras.

### 5.3.8 ACESSÓRIOS

#### LINHA CWM

- **Intertravamento Mecânico (BLIM)**

É a combinação que garante mecanicamente a impossibilidade de fechamento simultâneo entre dois contatores.

A sua montagem é feita lateralmente, entre os dois contatores, do CWM 9 a 105. É subdividido para os diferentes tamanhos de carcaças: BLIM 2 para CWM 9 a 40; BLIM 3 para CWM 50 a 105.



Figura 5.29 – BLIM 2,3

Do CWME 150 ao CWME 800, sua montagem pode ser lateral (entre os dois contatores) – BLIM 4, ou sua montagem pode ser vertical – BLIM 5.



Figura 5.30 – BLIM 4 e BLIM 5

- **Blocos Antiparasita (BAMRC 4/5/6/7/8/9 – BAMDI 10)**

São dispositivos (ligados em paralelo com a bobina do contator) utilizados para o amortecimento das sobretensões provocadas pelos contadores durante as operações de abertura, que colocam em risco os componentes sensíveis à variações de tensão, como também influir de forma perigosa no desacoplamento capacitivo da cablagem de comando ligada a circuitos eletrônicos.

Existem combinações de componentes, como por exemplo, varistores, diodos, resistores e diodos em série, resistores e capacitores em série.

O circuito RC série ligado em paralelo com a bobina do contator (circuitos CA) assim como os circuitos que utilizam diodos (circuitos CC), funcionam como um filtro, amortecendo os picos de tensão provocados pelo desligamento do contator.

Os blocos antiparasitas WEG podem ser circuitos RC (BAMRC) ou a diodo (BAMDI) e estão ligados em paralelo com A1 e A2 do contator. Existem blocos antiparasitas para: CWM 9 a CWM 40 – (BAMRC 4/5/6 e BAMDI 10); do CWM 50 a CWM 105 – (BAMRC 7/8/9);

- BAMRC 4/7 → 24 – 48 Vca ;
- BAMRC 5/8 → 50 – 127 Vca ;
- BAMRC 6/9 → 130 – 250 Vca ;
- BAMDI 10 → 12 – 600 Vcc ;

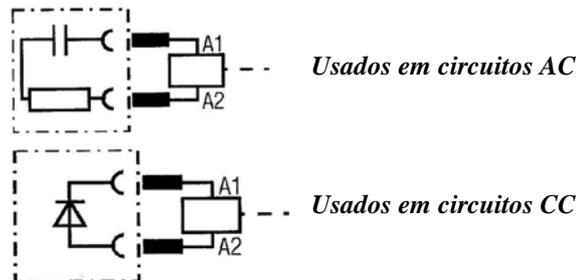


Figura 5.31 – Bloco antiparasita (supressor de sobretensões)

### 5.4 PROTETORES TÉRMICOS (SONDAS TÉRMICAS) PARA MOTORES ELÉTRICOS

Protegem os motores diretamente contra elevações de temperaturas acima das especificações. Normalmente aplicados em motores:

- À prova de explosão (sem ventilador);
- Com frequência de manobras elevadas;
- Com tempo de partida muito elevado (partida lenta);
- Em ambientes quentes.

São determinados em função da classe de isolamento dos motores.

#### 5.4.1 TERMOSTATOS:

Seu princípio de funcionamento baseia-se na deformação de lâminas bimetálicas com o calor. Possuem contatos auxiliares NF que se abrem quando o elemento atinge determinada temperatura (por exemplo classe de isolamento de motores).

Os termostatos são colocados entre as espiras, nas cabeças de bobina do motor, sempre do lado oposto ao ventilador. São ligados em série com a bobina do contator principal.

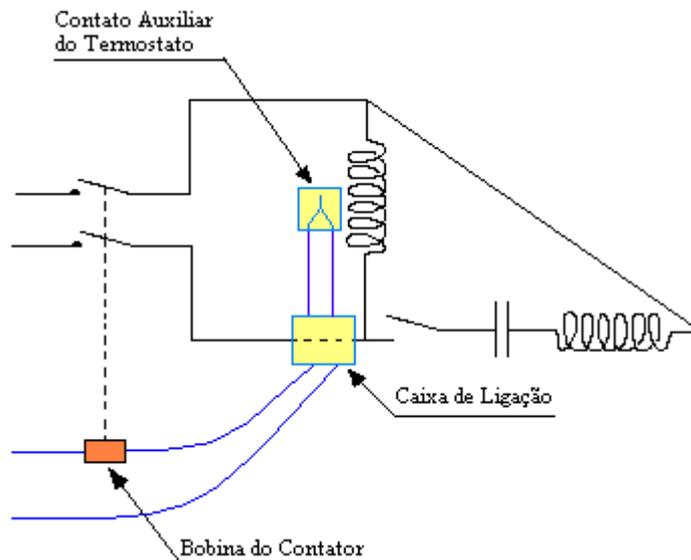


Figura 5.32 – Esquema genérico de ligação de termostatos em motores monofásicos

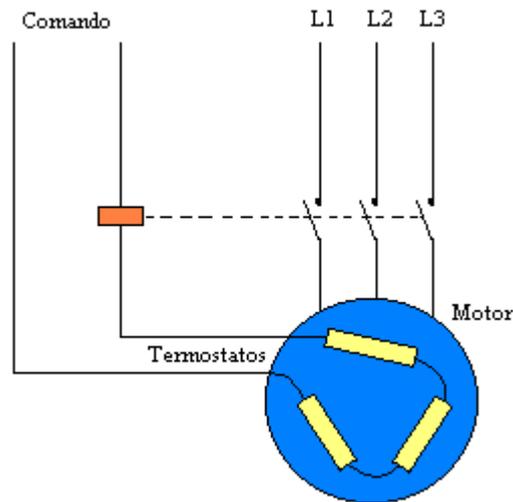


Figura 5.33 – Esquema genérico de ligação de termostatos em motores trifásicos

Para temperaturas acima da classe de isolamento do motor, os termostatos desligam a bobina do contator que alimenta o motor. O religamento será possível tão logo o motor retorne à temperatura nominal.

Em motores trifásicos utiliza-se um termostato por fase, podendo ser utilizado dois termostatos por fase para operar em alarme e desligamento. Neste caso, os termostatos de alarme deverão ser apropriados para atuação de temperatura prevista do motor e os termostatos de desligamento, deverão atuar na temperatura da classe de isolamento do motor.

Os tipos de termostatos mais usados em motores são apresentados nas tabelas 5.4.1.1 e 5.4.1.2.

Isolamento do Motor	Temperatura de Operação (°C)
<b>B</b>	130 ± 5 °C
	140 ± 8 °C
<b>F</b>	150 ± 5 °C

Tabela 5.4.1.1 – Termostatos para sistemas de desligamento

Isolamento do Motor	Temperatura de Operação (°C)
<b>B</b>	105 ± 5 °C
<b>F</b>	130 ± 5 °C
	140 ± 8 °C

Tabela 5.4.1.2 – Termostatos para sistemas de alarme

Para especificação do termostato é necessário comparar sua capacidade nominal de corrente com a corrente de comando.

### 5.4.2 TERMISTORES – PTC

São dispositivos feitos de material semicondutor que, para um determinado valor de temperatura sofrem uma variação brusca no valor da sua resistência.

A utilização de PTC's exige a instalação de um relé externo (RPW PTC) que recebe o sinal das sondas, atuando com base nele, interrompendo a alimentação dos contadores.

O PTC (positive temperature coefficient) é um termistor cuja resistência aumenta bruscamente para um valor bem definido de temperatura.

A instalação dos PTC's é feita entre as espiras, nas cabeças de bobinas do motor, sempre do lado oposto ao ventilador. Normalmente utiliza-se um PTC por fase, quando estes estão ligados em série.

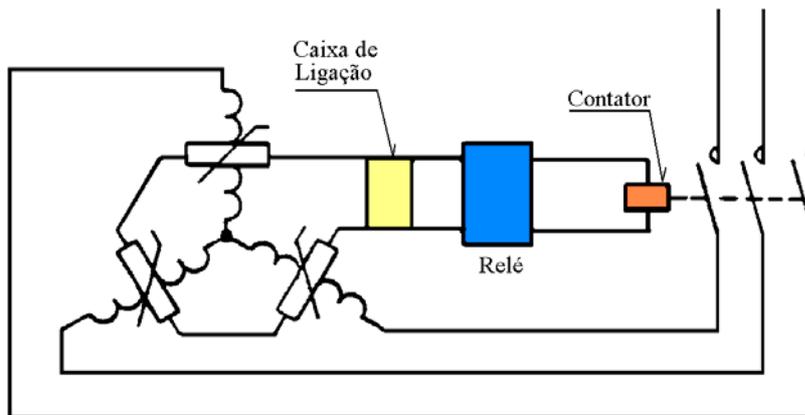


Figura 5.34 – Desenho esquemático de ligação de termistores em motores trifásicos

Para temperaturas acima da classe de isolamento do motor, o PTC através de sua variação brusca de resistência, sensibiliza o relé que desliga a bobina do contator, protegendo assim o motor.

O religamento do motor será possível tão logo o enrolamento volte à temperatura normal. Esta temperatura está 5°C abaixo da temperatura nominal de atuação.

Os fios das sondas até o relé não devem ser inseridos em dutos juntamente com os cabos de alimentação do motor para evitar interferências indutivas e capacitivas. A seção destes fios é condicionada a distância, conforme tabela 5.4.3:

Distância do PTC ao Relé (m)	150	300	400	500	1000
Seção do Fio (mm <sup>2</sup> )	0,50	0,75	1,00	1,50	2,50

Tabela 5.4.2.1

Podem ser ligados vários PTC em série, deste modo que a soma de suas resistências a frio não ultrapasse 550 ohms (as normas européias especificam, no entanto, um máximo de 6 PTC's em série).

Caso seja desejável um comando de alarme antes que o motor atinja a temperatura limite, deve-se utilizar dois protetores por fase. O primeiro deles dimensionado para a temperatura de alarme, que deve ser abaixo da classe de isolamento do motor. O segundo deverá ser

dimensionado para atuar quando a temperatura alcançar o valor máximo permitido pela classe de isolamento do motor.

Os tipos de termistores mais usados em motores são apresentados na tabela 5.4.2.2.

Isolamento do Motor	Temperatura de Operação (°C)
<b>B</b>	130 ± 5 °C
	140 ± 5 °C
<b>F</b>	160 ± 5 °C

Tabela 5.4.2.2 – Termistores para o desligamento

### 5.4.3 TERMORESISTÊNCIAS – PT100

São elementos que têm sua operação baseada na característica de variação linear de resistência com a temperatura intrínseca a alguns materiais. Os elementos mais utilizados nesta área são a platina e o níquel, que possuem uma resistência de 100Ω a 0°C e o cobre com 10Ω a 0°C.

Esses elementos possuem resistência calibrada que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor, pelo “display” do controlador. Esse sistema de proteção permite ainda a sinalização de advertência com sinais luminosos ou sonoros, antes da temperatura alcançar limites proibitivos. É, por isso, o sistema de custo mais elevado, havendo necessidade da instalação de um controlador (relé para PT100).

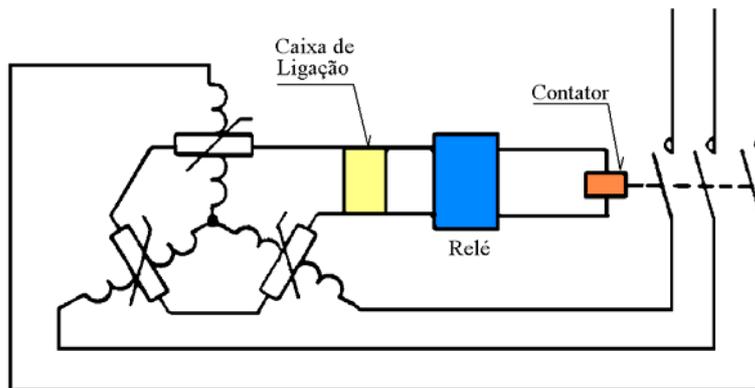


Figura 5.35 – Desenho genérico de ligação de termoresistências em motores trifásicos

Isolamento do Motor	Temperatura de Operação (°C)	Variação da Resistência Elétrica (Ω)
<b>A</b>	105 ± 5 °C	138,50 à 142,28
<b>B</b>	130 ± 5 °C	147,91 à 151,65
<b>F</b>	150 ± 5 °C	155,38 à 159,10

Tabela 5.4.3.1 – Valores da resistência elétrica em função da temperatura

#### 5.4.4 PROTETORES BIMETÁLICOS DE DISCO:

- Usualmente aplicados em motores monofásicos;
- Normalmente se utiliza protetores bimetálicos de disco com dois contatos “NF”, ligados em série com a alimentação do motor;
- Instalados na tampa do motor, do lado oposto da ventilação;
- A corrente solicitada pelo motor circula pelo disco bimetálico aquecendo-o e quando a temperatura limite é atingida os contatos se abrem desligando o motor. Após resfriando o bimetal, os contatos se fecham automaticamente ou ainda manualmente, dependendo do sistema de rearme escolhido. Este tipo de bimetálico tem característica de retardo para suportar a corrente de partida dos motores monofásicos;
- Especificado em função da classe de isolamento e da corrente nominal onde estiver inserido.

## 5.5 RELÉS DE SOBRECARGA

### 5.5.1 DEFINIÇÃO E FUNÇÃO

Relés de sobrecarga são dispositivos baseados no princípio de dilatação de partes termo-elétricas (bimetálicos). A operação de um relé está baseado nas diferentes dilatações que os metais apresentam, quando submetidos a uma variação de temperatura.

Relés de sobrecarga são usados para proteger equipamentos elétricos, como motores e transformadores, de um possível superaquecimento.

O superaquecimento de um motor pode, por exemplo, ser causado por:

- ✓ Sobrecarga mecânica na ponta do eixo;
- ✓ Tempo de partida muito alto;
- ✓ Rotor bloqueado;
- ✓ Falta de uma fase;
- ✓ Desvios excessivos de tensão e frequência da rede.

Em todos estes casos citados acima, o incremento de corrente (sobrecorrente) no motor é monitorado em todas as fases pelo relé de sobrecarga.

### 5.5.2 CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO

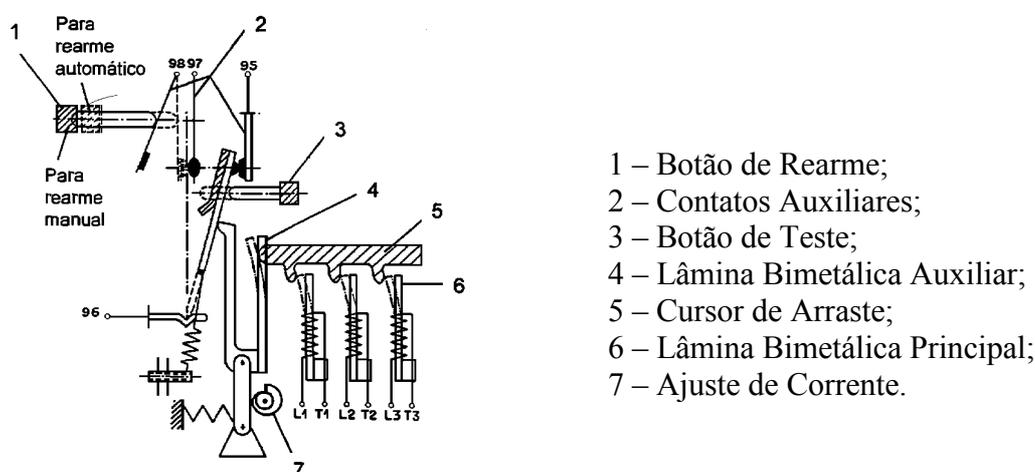


Figura 5.36 – Representação esquemática de um relé térmico de sobrecarga

Na figura 5.36, está representado esquematicamente um relé térmico de sobrecarga. Este pode ser dividido em duas partes:

#### ***Circuito principal ou de potência:***

É composto por uma carcaça de material isolante, três bimetálicos de aquecimento, alavanca de desarme, terminais de entrada (1L1, 3L2 e 5L3) e terminais de saída (2T1, 4T2 e 6T3).

**Circuito auxiliar ou de comando:**

Consiste basicamente dos contatos auxiliares (NA e NF) por onde circula a corrente de comando, botão de regulagem, botão de rearme (reset), botão de seleção (manual e automático) e bimetálico de compensação da temperatura (dá condições ao relé de operar na faixa de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  sem modificação da curva de desarme).

Com a circulação da corrente nominal do motor (para a qual o relé está regulado), os bimetálicos curvam-se. Isto porque o bimetálico é uma liga de dois materiais com coeficientes de dilatação diferentes: A curvatura do bimetálico se dá para o lado do material de menor coeficiente.

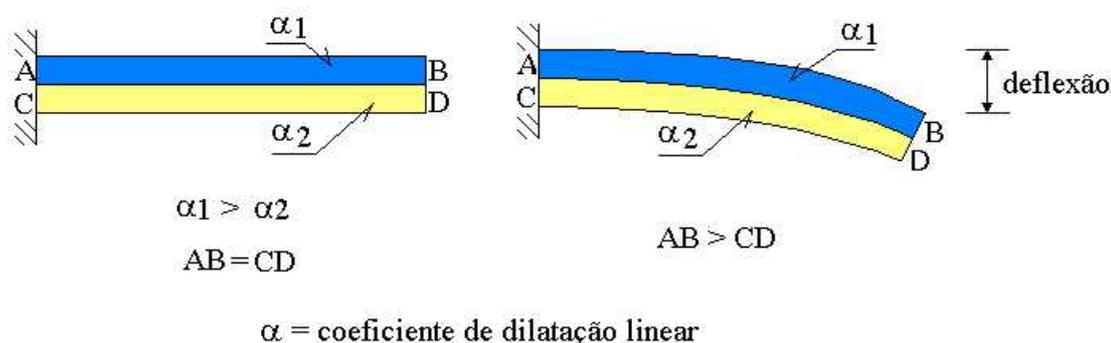


Figura 5.37 – Deflexão do bimetálico

Quando a corrente que está circulando é a nominal do motor, a curvatura dos bimetálicos ocorre, mas não é suficiente para o desarme.

No caso de uma sobrecarga, os bimetálicos apresentarão uma curvatura maior. Com isto ocorrerá o deslocamento da alavanca de desarme. Este deslocamento é transferido ao circuito auxiliar, provocando, mecanicamente, o desarme do mesmo. A temperatura ambiente não afeta a atuação do relé, pois o bimetálico de compensação sofrerá o mesmo deslocamento, mantendo assim a relação inicialmente definida.

O relé permite que seu ponto de atuação, ou seja, a curvatura das lâminas, e o conseqüente desligamento, possa ser ajustado com auxílio de um dial. Isto possibilita ajustar o valor de corrente que provocará a atuação do relé.

**5.5.2.1 DISPOSITIVO MECÂNICO SENSÍVEL CONTRA FALTA DE FASE**

Os relés WEG, possuem um conjunto de duas hastes móveis (1 e 2), ligada a uma alavanca móvel (3). Esta alavanca é a responsável pela transmissão do movimento dos bimetálicos ao circuito auxiliar.

Na figura 5.38, estão representadas três situações:

- a) Posição de repouso;
- b) Sobrecarga tripolar;
- c) Sobrecarga bipolar.

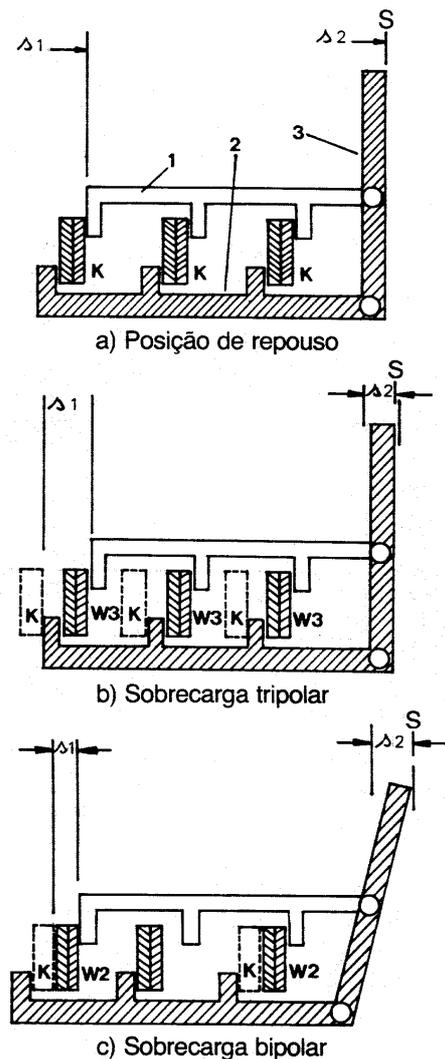


Figura 5.38

Sempre que a alavanca 3 chegar na posição “S” haverá o desarme do relé.

No caso da sobrecarga tripolar, o deslocamento dos bimetálicos é uniforme, empurrando as hastes 1 e 2 que levam a alavanca 3 em deslocamento paralelo ao dos bimetálicos. Com isto, ocorre o desarme.

Já com sobrecarga bipolar, a haste 2 é mantida na posição inicial através do bimetálico sem corrente e por meio de uma relação de braço de alavanca, o movimento dos bimetálicos sob corrente é transmitido à alavanca 3. Esta relação amplia o movimento, desarmando o relé com um menor deslocamento dos bimetálicos.

Desta forma, para uma mesma corrente, o tempo de desarme do relé é menor para sobrecarga bipolar do que para sobrecarga tripolar.

### 5.5.2.2 PROTEÇÃO COM RELÉS + TC'S

Os TC's são transformadores destinados a reproduzir em seus secundários a corrente de seus circuitos primários em uma proporção definida, conhecida e adequada para o uso em instrumentos de medição, controle ou proteção.

São responsáveis pela redução das altas correntes dos circuitos primários, tornando possível a utilização, em seu secundário, de relés de proteção de menor custo.

As correntes de saturação dos TC's para uso em proteção atingem elevados níveis (10 a 20xIn), assim o TC não sofre saturação nos instantes da partida e sobrecarga de motores elétricos.

TC's de medição não são apropriados para esta função pois saturam facilmente e com isto como que "escondem" o que se passa no circuito.

### 5.5.2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE DESARME DOS RELÉS TÉRMICOS (CONFORME IEC 60947)

A relação tempo x corrente de desarme de relés térmicos de sobrecarga é conhecida como curva característica.

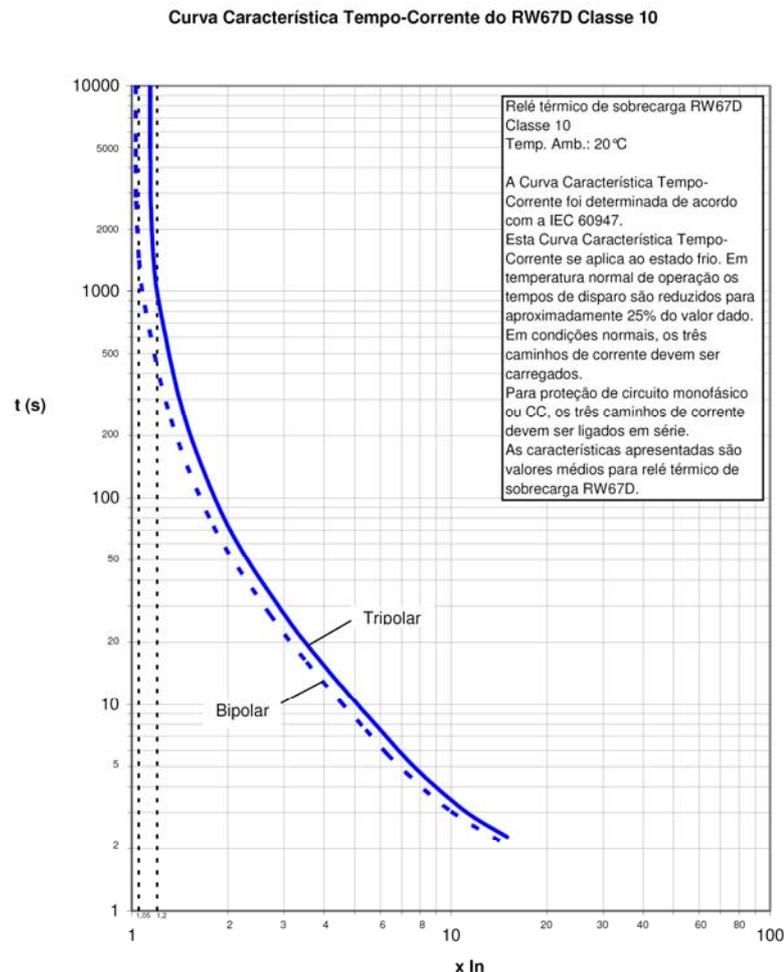


Figura 5.39 – Curvas características de relés térmicos de sobrecarga WEG

No eixo horizontal (abscissas) encontram-se os valores múltiplos da corrente de regulação ( $x I_E$ ) e no eixo vertical (ordenadas), o tempo de desarme (t).

A curva 3 representa o comportamento dos relés quando submetidos a sobrecarga tripolar e a curva 2 para sobrecarga bipolar.

Os valores de desligamento apontados nas curvas são válidos para sobrecargas a partir da temperatura ambiente, ou seja, sem aquecimento prévio (estado frio).

Para relés operando em temperatura normal de trabalho e sob corrente nominal, ou seja, relés pré-aquecidos (estado quente) deve-se considerar os tempos de atuação em torno de 25 a 30% dos valores das curvas.

Isto se deve ao fato de que, quando pré-aquecidos pela passagem da corrente nominal, os bimetálicos já sofreram um deslocamento de aproximadamente 70% do deslocamento necessário ao desarme.

**Exemplo:** Nas curvas de desligamento, para uma sobrecarga de  $2xI_n$  tem-se, a frio, um tempo de 60s para que ocorra o desligamento. Caso os bimetálicos já estivessem aquecidos, ter-se-ia:

$$T_q = 0,3 \times T_f; \quad T_q = 0,3 \times 60 = 18s,$$

Onde:  $T_q$  = tempo de desligamento “a quente”;  
 $T_f$  = tempo de desligamento “a frio”.

A norma IEC 60947-4-1 especifica os tempos de desarme no caso de sobrecarga conforme a tabela abaixo:

Sobrecarga	Tempo	Estado
$1,05 \times I_n$	> 2h	à frio
$1,20 \times I_n$	< 2h	à quente
$1,50 \times I_n$	< 4 min	classe 10
	< 8 min	classe 20
	< 12 min	classe 30
$7,20 \times I_n$	$4 < T_p < 10$	classe 10
	$6 < T_p < 20$	classe 20
	$9 < T_p < 30$	classe 30

Tabela 5.5.2.3.1 – Tempos de desarme conforme IEC60947-4-1.  
 ( $I_n$  = corrente nominal do motor)

### 5.5.3 CONDIÇÕES DE SERVIÇO

#### 5.5.3.1 TEMPERATURA AMBIENTE

Segundo a IEC 60947, um relé térmico de sobrecarga deve ser capaz de trabalhar numa faixa de  $5^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$ . Os relés WEG são aplicáveis em ambientes onde a temperatura situe-se na faixa de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+60^{\circ}\text{C}$ , valores referidos à umidade relativa do ar de 50%. Para temperaturas menores pode-se ter maiores valores de umidade relativa do ar.

### 5.5.3.2 COMPENSAÇÃO DE TEMPERATURA

Os relés são montados com bimetálicos de compensação, a fim de evitar a influência da variação da temperatura ambiente sobre as suas características de desarme. Seu princípio de operação pode ser explicado como segue:

Com uma temperatura ambiente de 32°C, as lâminas bimetálicas principais se dilatarão (curvarão) e terão deslocado através do cursor, uma parte do percurso, que para um determinado valor de corrente, resultaria em um tempo de disparo menor. Para que isto seja evitado, o cursor atua sobre a lâmina bimetálica de compensação. Esta lâmina não é, contudo, percorrida pela corrente. Ela é aquecida somente pela temperatura ambiente e se curvará na proporção das lâminas principais. Desta forma as lâminas aquecidas pela corrente determinarão um mesmo tempo de disparo para qualquer temperatura ambiente.

### 5.5.3.3 POSIÇÃO DE MONTAGEM

Os relés podem ser fixados em paredes verticais. Inclinações de até 30° na vertical e 90° na horizontal são admissíveis para todos os lados (limitação da mola dos contatores).

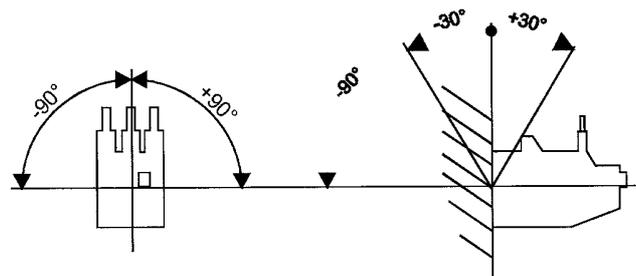


Figura 5.40

## 5.5.4 CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO

### 5.5.4.1 CORRENTE NOMINAL DO MOTOR

É a característica básica de escolha da faixa de corrente de um relé. Serve inclusive para o ajuste do mesmo, através do botão de regulagem.

### 5.5.4.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE

Os relés WEG são apropriados para instalações com frequência entre 0Hz (CC) e 400Hz, com exceção dos relés acoplados a TC's, que devem ser aplicados apenas em 50/60Hz. A influência da frequência, nessa faixa, sobre os valores de desarme pode ser desprezada. O maior valor de tensão admissível para o relé é a sua tensão nominal de isolamento.

### 5.5.4.3 NÚMERO DE MANOBRAS

A correta proteção de um motor com relé de sobrecarga é garantida para operação contínua ou uma frequência de manobras de até 15man/hora. Após cada manobra, os bimetálicos do relé deverão ter tempo para resfriar, voltando à posição original (repouso).

### 5.5.4.4 INSTALAÇÃO DE RELÉS TRIPOLARES PARA SERVIÇO MONO E BIFÁSICO

Neste caso os relés devem ser ligados conforme a figura 5.41, sendo que o relé comporta-se como se estivesse carregado para serviço trifásico.

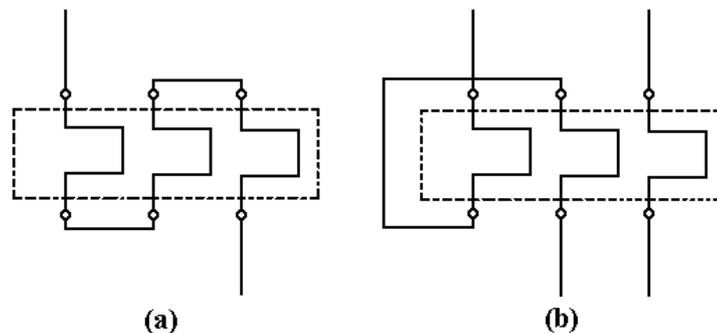


Figura 5.41 – Relé térmico de sobrecarga tripolar para serviço Monofásico (a) ou Bifásico (b)

### 5.5.5 RELÉS DE SOBRECARGA WEG

Os relés de sobrecarga WEG trazem em sua denominação a letra “D” que indica Duplo Contato.

A nomenclatura utilizada está de acordo com a IEC 60947, a qual é respeitada para fornecer informações a respeito da função de cada terminal ou sua localização com respeito a outros terminais ou para outras aplicações.

Nota-se que a posição dos terminais dos contatos auxiliares obedece seqüência diferente, dependendo da construção mecânica do relé. No entanto a numeração de seqüência e de função obedecem a norma.



Figura 5.42 - RW27D

- ✓ **Terminais de relés de sobrecarga** : Os terminais do circuito principal dos relés de sobrecarga devem ser marcados da mesma forma que os terminais de potência dos contadores.

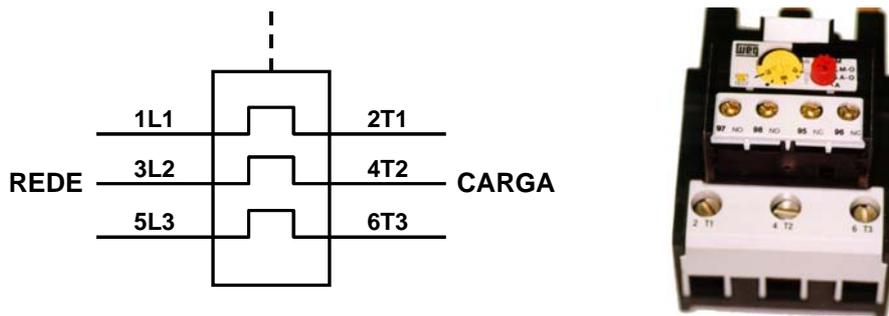


Figura 5.43

Os terminais dos circuitos auxiliares de relé devem ser marcados da mesma forma que os de contadores, com funções específicas, conforme exemplos a seguir.

O número de seqüência deve ser o 9 e, se uma segunda seqüência existir, será identificada com o zero.

### 5.5.5.1 CARACTERÍSTICAS DOS RELÉS WEG:

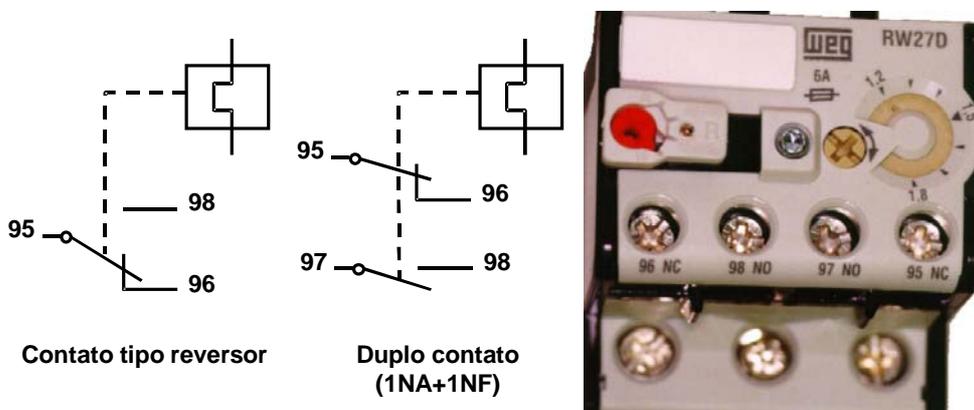


Figura 5.44

- 32 faixas de corrente de 0,28 a 840A;
- Sensibilidade à falta de fase;
- Compensação da temperatura ambiente entre -20°C e +60°C;
- 2 contatos auxiliares : 1NA + 1NF;
- Tecla multifunção programável;
- De acordo com normas internacionais;
- Base para montagem individual: (RW 27D, 67D e 107D).

### 5.5.5.2 TERMINAIS:

#### *RW 17D e RW 27D;*

- Parafusos “Posidrive” imperdíveis, com guia para cabos;
- Grau de proteção IP20;
- Fornecidos na posição “aberto”.



Figura 5.45

#### *RW 67D;*

- Terminais com Grampo: conexões 100% seguras.



Figura 5.46

### 5.5.5.3 TECLA MULTIFUNÇÃO - PRORAMAÇÃO RW 17D, 27D, 67D 117.1D, 117.2D, 317D E 407D

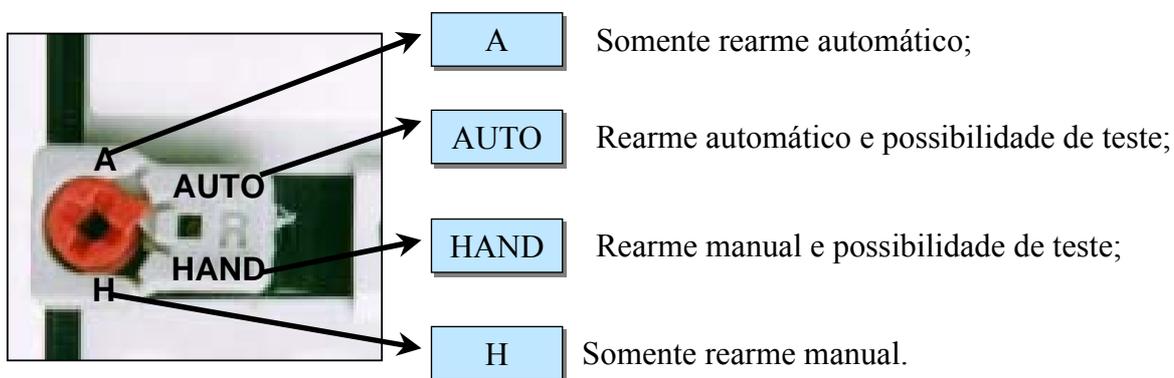


Figura 5.47

### 5.5.6 SELEÇÃO DE RELÉS DE SOBRECARGA WEG

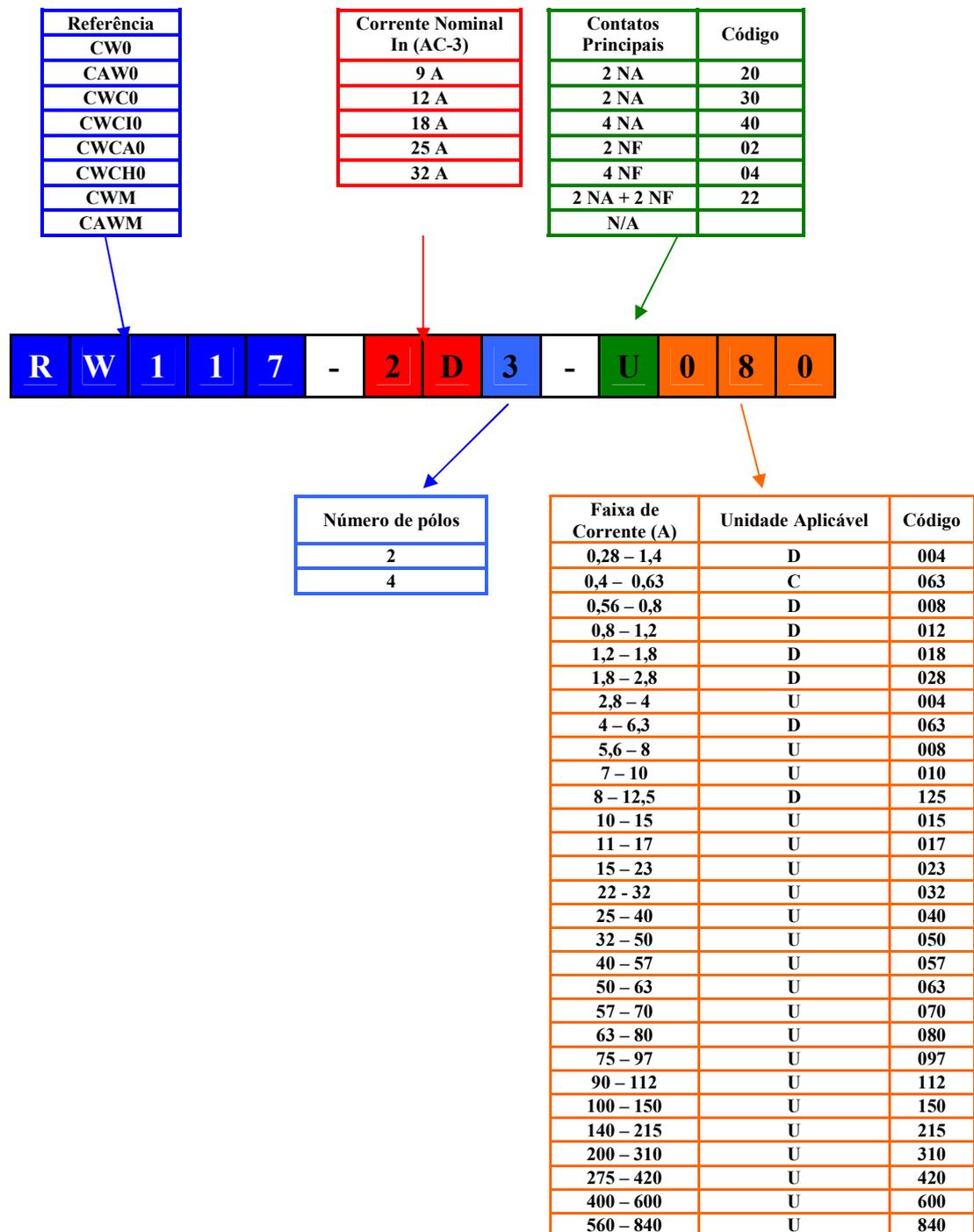


Figura 5.48

## 5.6 RELÉS TEMPORIZADORES

Os Relés temporizadores WEG RTW são dispositivos eletrônicos que permitem, em função de tempos ajustados, comutar um sinal de saída de acordo com a sua função. Muito utilizados em automação de máquinas e processos industriais como partidas de motores, quadros de comando, fornos industriais, injetoras, entre outros.

Possui eletrônica digital que proporciona elevada precisão, repetibilidade e imunidade a ruídos.

Projetado de acordo com normas internacionais, o RTW constitui uma solução compacta e segura, em caixas com 22,5 mm de largura para montagem em trilho DIN 35 mm, nas configurações com 1 ou 2 saídas NANSF e alimentado em 24V 50/60Hz, 48V 50/60Hz, 110-130V 50/60Hz, 220-240V 50/60Hz ou 24Vcc.

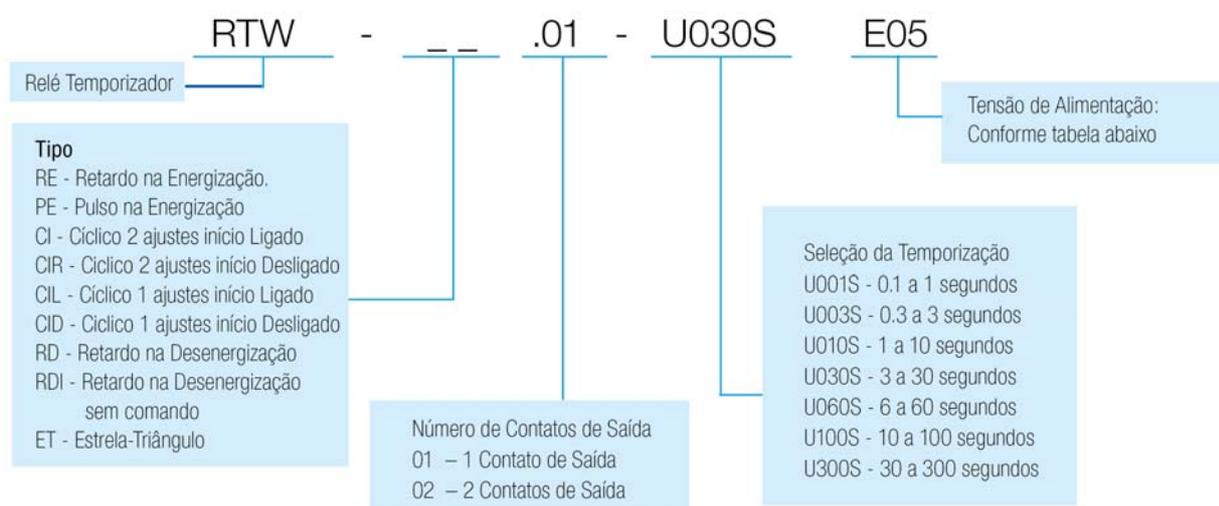
Com 7 faixas de temporização, o RTW pode ser ajustado de 0,1 segundos a 30 minutos com elevada confiabilidade e precisão.



Figura 5.49

Oferecida nas seguintes funções de temporização:

- RTW- RE » Retardo na Energização;
- RTW- PE » Pulso na Energização;
- RTW- CI » Cíclico;
- RTW- RD » Retardo na Desenergização;
- RTW- RDI » Retardo na Desenergização sem comando;
- RTW- ET » Estrela-Triângulo;
- RTW- CIL » Cíclico 1 ajuste Ligado;
- RTW- CID » Cíclico 1 ajuste Desligado;
- RTW- CIR » Cíclico 2 ajustes Ligado.

**5.6.1 SELEÇÃO DE RELÉS TEMPORIZADORES:**

**Figura 5.50**

Código	Tensão	RTW-RE	RTW-PE	RTW-CI	RTW-CIR	RTW-CIL	RTW-CID	RTW-RD	RTW-RDI	RTW-ET
E26	24Vac 50/60Hz / 24Vdc	X	X	X	X	X	X			X
E33	48Vac 50/60Hz / 24Vdc	X	X	X	X	X	X			X
E37	110-130Vac 50/60Hz / 24Vdc	X	X	X	X	X	X			X
E40	220-240Vac 50/60Hz / 24Vdc	X	X	X	X	X	X			X
D71	380-440Vca 50/60 Hz	X	X							X
E05	24-240Vac 50/60 Hz/ Vdc	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C03	24Vdc							X		
D02	24Vac 50/60Hz							X		
D07	48Vac 50/60Hz							X		
D61	110-130Vac 50/60Hz							X		
D66	220-240Vca 50/60Hz							X		

**Tabela 5.6.1.1**

5.6.2 TIPOS DE RELÉS TEMPORIZADORES

Modo de Operação	Diagrama Temporal
<p><b>RTW RE (Retardo na Energização)</b> Após a energização do Relé inicia-se a contagem do tempo (<b>T</b>) ajustado no dial. Decorrido este período ocorrerá a comutação dos contatos de saída, os quais permanecem neste estado até que a alimentação seja interrompida.</p>	
<p><b>RTW PE (Pulso na Energização)</b> Após a energização do Relé, os contatos de saída são comutados instantaneamente e permanecem acionados durante o período (<b>T</b>) ajustado no dial.</p>	
<p><b>RTW CI (Cíclico)</b> Após a energização do relé, os contatos de saída são acionados e desacionados ciclicamente. O dial superior determina o tempo (<b>T<sub>ON</sub></b>) em que os contatos permanecem acionados, enquanto que o dial inferior determina o tempo (<b>T<sub>OFF</sub></b>) em que os contatos permanecem desacionados.</p>	
<p><b>RTW RD (Retardo na Desenergização)</b> Com o Relé Alimentado, a partir da energização do terminal de comando os contatos de saída comutam instantaneamente. Ao se retirar o comando, os contatos de saída retornam a condição original após decorrido o período (<b>T</b>) ajustado no dial.</p>	
<p><b>RTW ET (Estrela-Triângulo)</b> Após a energização do Relé os contatos de saída Estrela comutam instantaneamente, permanecendo acionados durante o período (<b>T</b>) ajustado no dial. Após o tempo (<b>T<sub>M</sub></b>) de 100ms os terminais Triângulo serão então acionados e permanecem neste estado até que a alimentação seja interrompida.</p>	

<p><b>RTW CIL (Cíclico Ajuste Ligado)</b> Após a energização do relé, os contatos de saída são acionados, após percorrido o tempo selecionado no Dial de ajuste os contatos serão desacionados, este comportamento continuará ciclicamente. Uma única seleção determina o tempo Ligado e o tempo Desligado do Relé.</p>	<p>Alimentação A1 - A2 / A3 - A2</p> <p>Saída 15 - 16 - 18 / 25 - 26 - 28</p> <p><math>T_{on} = T_{off}</math></p>
<p><b>RTW CID (Cíclico Ajuste Desligado)</b> Após a energização do relé, os contatos de saída permanecem desacionados, após percorrido o tempo selecionado no Dial de ajuste os contatos serão acionados, este comportamento continuará ciclicamente. Uma única seleção determina o tempo Ligado e o tempo Desligado do Relé.</p>	<p>Alimentação A1 - A2 / A3 - A2</p> <p>Saída 15 - 16 - 18 / 25 - 26 - 28</p> <p><math>T_{on} = T_{off}</math></p>
<p><b>RTW CIR (Cíclico 2 Ajustes Início Desligado)</b> Após a energização do relé, inicia-se a contagem do tempo desligado, após percorrido este período os contatos de saída são acionados e inicia-se a contagem do tempo ligado, segue-se esta seqüência ciclicamente. O dial superior determina o tempo (<math>T_{ON}</math>) em que os contatos permanecem acionados, enquanto que o dial inferior determina o tempo (<math>T_{OFF}</math>) em que os contatos permanecem desacionados.</p>	<p>Supply A1-A2 / A1-A3</p> <p>Output 15-16-18 / 25-26-28</p> <p><math>T_{ON}</math>    <math>T_{OFF}</math></p>
<p><b>RTW RDI (Retardo na Desenergização)</b> Após a energização do Relé, os contatos de saída são comutados instantaneamente. Ao se retirar a alimentação iniciará a contagem do tempo (<math>T</math>) ajustado no dial, após este período os contatos de saída retornam a sua condição original. Retardo na Desenergização sem a necessidade de comando, limitado a 10 minutos.</p>	<p>Supply A1-A2 / A1-A3</p> <p>Output 15-16-18 / 25-26-28</p> <p><math>T</math>    <math>T</math></p>

Tabela 5.6.2.1

**Onde:**  $T$ ,  $T_{ON}$ ,  $T_{OFF}$ : Tempo ajustado --  $T_M$ : Tempo morto.

### 5.6.3 ESQUEMAS DE LIGAÇÃO DE RELÉS TEMPORIZADORES

#### 5.6.3.1 RETARDO NA ENERGIZAÇÃO - RTW RE

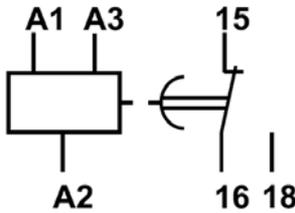
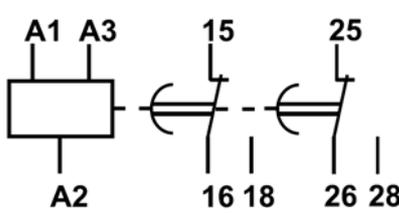
		RTW - RE	
		1E	2E
Posição dos terminais			
	Diagrama		
Circuito	A2 – A3 Alimentação	Tensões 24 V, 48 V, 110 – 130V 220 – 240 V (50 / 60Hz)	
	A2 – A3 Comando	Tensão 24 Vdc	
	A2 – B1 Comando	X	
	15 – 16 - 18	Saída 1	
	25 – 26 - 28	Saída 2	

Tabela 5.6.3.1.1

5.6.3.2 PULSO NA ENERGIZAÇÃO - RTW PE

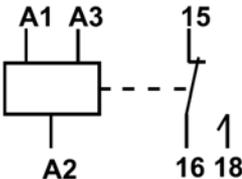
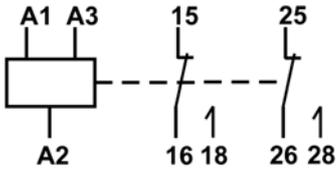
		RTW - PE	
		1E	2E
Posição dos terminais			
	Diagrama		
Circuito	A2 – A3 Alimentação	Tensões 24 V, 48 V, 110 – 130V 220 – 240 V (50 / 60Hz)	
	A2 – A3 Comando	Tensão 24 Vdc	
	A2 – B1 Comando	X	
	15 – 16 - 18	Saída 1	
	25 – 26 - 28	Saída 2	

Tabela 5.6.3.2.1

5.6.3.3 CÍCLICO - RTW – CI / CIL / CID / CIR

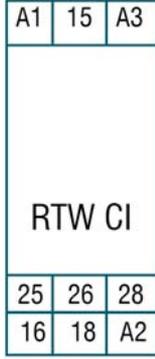
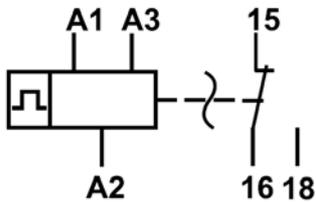
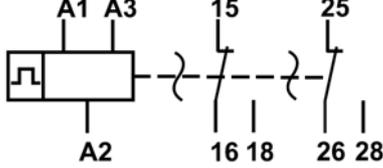
		RTW – CI / CIL / CID / CIR	
		1E	2E
Posição dos terminais			
	Diagrama		
Circuito	A2 – A3 Alimentação	Tensões 24 V, 48 V, 110 – 130V 220 – 240 V (50 / 60Hz)	
	A2 – A3 Comando	Tensão 24 Vdc	
	A2 – B1 Comando	X	
	15 – 16 - 18	Saída 1	
	25 – 26 - 28	Saída 2	

Tabela 5.6.3.3.1

5.6.3.4 ESTRELA-TRIANGULO - RTW ET

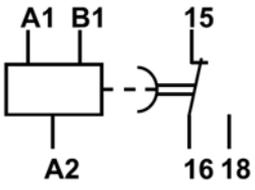
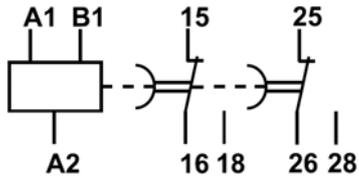
		RTW – RD / RDI	
		1E	2E
Posição dos terminais			
	Diagrama		
Circuito	A2 – A3 Alimentação	Tensões 24 V, 48 V, 110 – 130V 220 – 240 V (50 / 60Hz) 24 Vdc	
	A2 – A3 Comando	X	
	A2 – B1 Comando	Tensões 24 V, 48 V, 110 – 130V 220 – 240 V (50 / 60Hz) 24 Vdc	
	15 – 16 - 18	Saída 1	
	25 – 26 - 28	Saída 2	

Tabela 5.6.3.4.1

5.6.3.5 RELÉ TEMPORIZADOR - RETARDO NA ENERGIZAÇÃO - RTW RE

		RTW – RD / RDI												
		2E												
Posição dos terminais		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>A1</td> <td>15</td> <td>A3</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RTW ET</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>26</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>18</td> <td>A2</td> </tr> </table>	A1	15	A3	RTW ET			25	26	28	16	18	A2
	A1	15	A3											
RTW ET														
25	26	28												
16	18	A2												
Diagrama														
Circuito	A2 – A3 Alimentação	Tensões 24 V, 48 V, 110 – 130V 220 – 240 V (50 / 60Hz)												
	A2 – A3 Comando	Tensão 24 Vdc												
	A2 – B1 Comando	X												
	15 – 16 - 18	Saída 1												
	25 – 26 - 28	Saída 2												

Tabela 5.6.3.5.1

### 5.6.4 AJUSTE DA TEMPORIZAÇÃO DO RELÉ

A temporização desejada deve ser ajustada através de seu DIAL de ajuste frontal, cuja escala apresenta-se em segundos para todas as temporizações, com 0,15 s na primeira escala até 1800 s (30 min) na última.

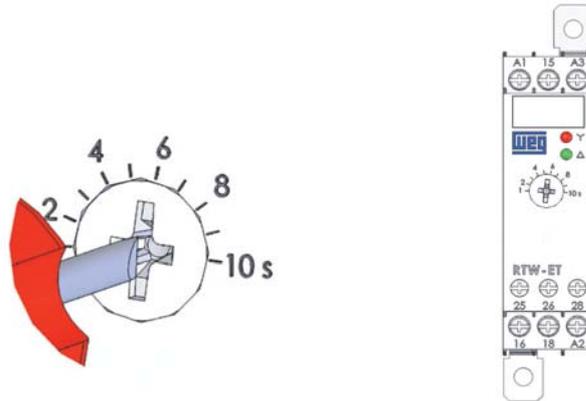


Figura 5.51

RTW – RE	RTW – PE	RTW – CI / CIR / CID / CIL	RTW - RD	RTW - ET
	0,1 a 1 s			3 a 30 s
	0,3 a 3 s			
	1 a 10 s			
	3 a 30 s			
	6 a 60 s			
	10 a 100 s			
	30 a 300 s			
	180 a 1800 s (3 a 30 min)			

Tabela 5.6.4.1

### 5.6.5 INDICAÇÕES LUMINOSAS

	RTW-RE	RTW-PE	RTW-CI/CIR/CIL/CID	RTW-RD/RDI	RTW-ET
<b>LED Vermelho</b>	Saída Energizada				Saída Y
<b>LED Verde</b>	Relé Energizado				Saída Δ

Tabela 5.6.5.1

## 5.7 RELÉS PROTETORES - RPW

Os Relés RPW WEG são dispositivos eletrônicos que protegem os sistemas trifásicos contra falta de fase ou falta de neutro (selecionável) (RPW FF), inversão da seqüência de fase (RPW SF) ou ambas as funções integradas em um mesmo produto (RPW FSF). Sempre que houver uma anomalia no sistema o relé comutará sua saída para interromper a operação do motor ou processo a ser protegido.

Projetado de acordo com normas internacionais, o RPW constitui uma solução compacta e segura, em caixas com 22,5mm de largura para montagem em trilho DIN 35mm.

### 5.7.1 RELÉ SEQÜÊNCIA DE FASE – RPW SF

O Relé Seqüência de Fase destina-se a proteção de sistemas trifásicos contra a inversão da seqüência das fases (L1-L2-L3).

Funcionamento: Conectando-se o relé a rede com a seqüência das fases ligadas corretamente, o relé de saída comuta os contatos para posição de trabalho (fecha os terminais 15-18) e o LED vermelho se acenderá. Quando ocorrer a inversão da seqüência das fases ocorrerá a desenergização dos contatos de saída (abre 15-18) e o LED vermelho indicando o funcionamento do sistema se apaga.



Figura 5.52

#### 5.7.1.1 SELEÇÃO



Figura 5.53

### 5.7.1.2 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

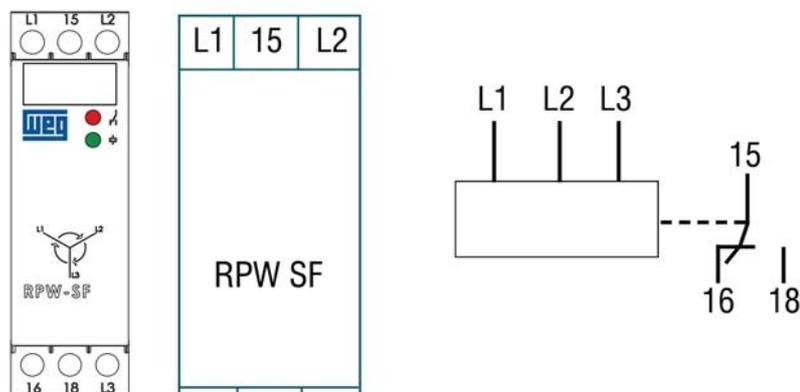


Figura 5.54

### 5.7.1.3 DIAGRAMA FUNCIONAL

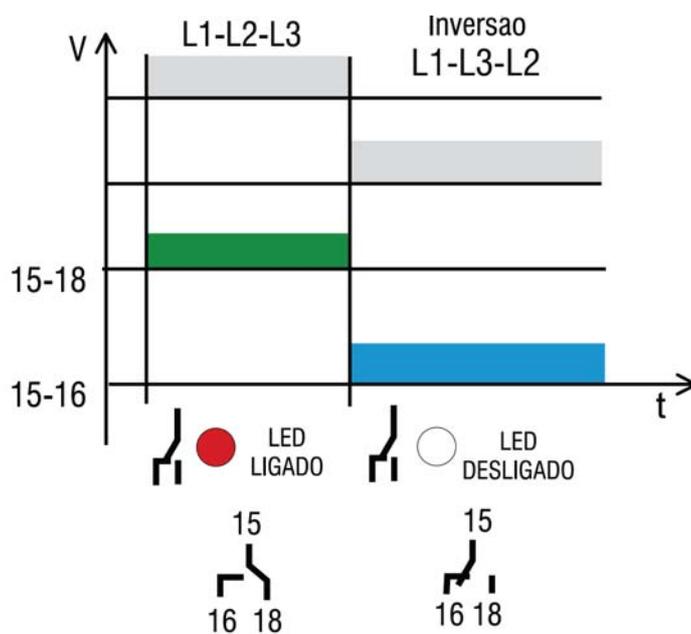


Figura 5.55

### 5.7.1.4 INDICAÇÕES LUMINOSAS

RPW - SF		
<b>LED Vermelho</b>	Saída Energizada	
<b>LED Verde</b>	Relé Energizado	

Tabela 5.7.1.4.1

### 5.7.2 RELÉ FALTA DE FASE – RPW FF

#### RPW FF (neutro não selecionado)

O Relé Falta de Fase destina-se a proteção de sistemas trifásicos contra queda de fase.

**Funcionamento:** Conectado diretamente a rede a ser monitorada, alimentando-se as 3 fases com amplitude de fases dentro dos limites selecionados, o relé de saída comuta os contatos para posição de trabalho (fecha os terminais 15-18) e o LED vermelho se acenderá. Quando ocorrer queda de uma das fases em relação às outras para um valor abaixo do limite percentual selecionado através do DIAL de ajuste de sensibilidade (proteção contra fase fantasma do motor) ocorrerá a desenergização dos contatos de saída (abre 15-18) e o LED vermelho indicando o funcionamento do sistema se apaga.

#### RPW FF (neutro selecionado)

Destina-se a proteção de sistemas trifásicos contra queda de fase ou neutro.

**Funcionamento:** No mesmo produto, para proteção do neutro deve-se executar uma ponte entre os terminais A e B, o relé irá realizar a mesma proteção para falta da fase e também irá monitorar a tensão no neutro, o qual obrigatoriamente deverá estar conectado. Quando este valor ultrapassar 20V, ocorrerá a desenergização da saída (abre 15-18). Valor que contempla cargas desequilibradas.

**NOTA:** Quando monitoramos um motor, a falta de uma fase gera uma elevação de corrente nas fases restantes, o que gera um sobre-aquecimento no motor. O enrolamento com tensão induzida funciona como um gerador de tensão, denominada “fase fantasma”. O RPW FF fará proteção do motor nesta situação.



Figura 5.56

### 5.7.2.1 SELEÇÃO

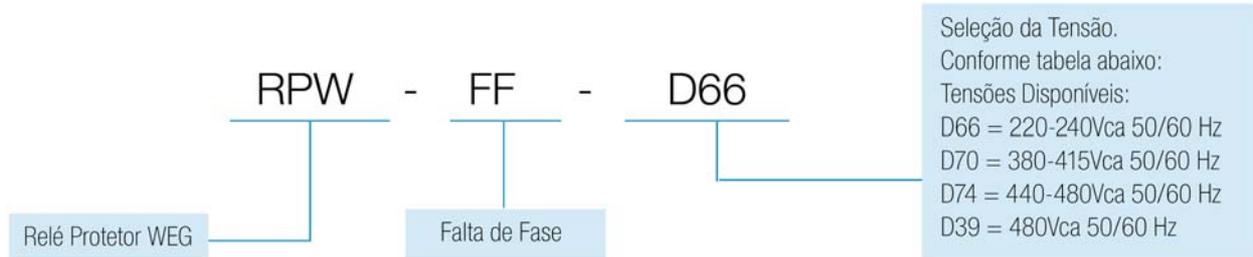


Figura 5.57

### 5.7.2.2 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

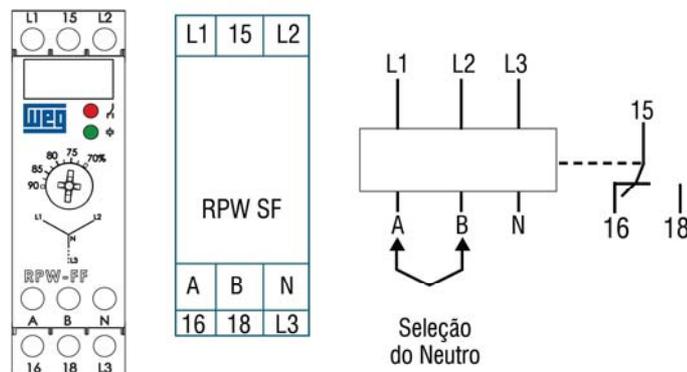


Figura 5.58

### 5.7.2.3 DIAGRAMA FUNCIONAL

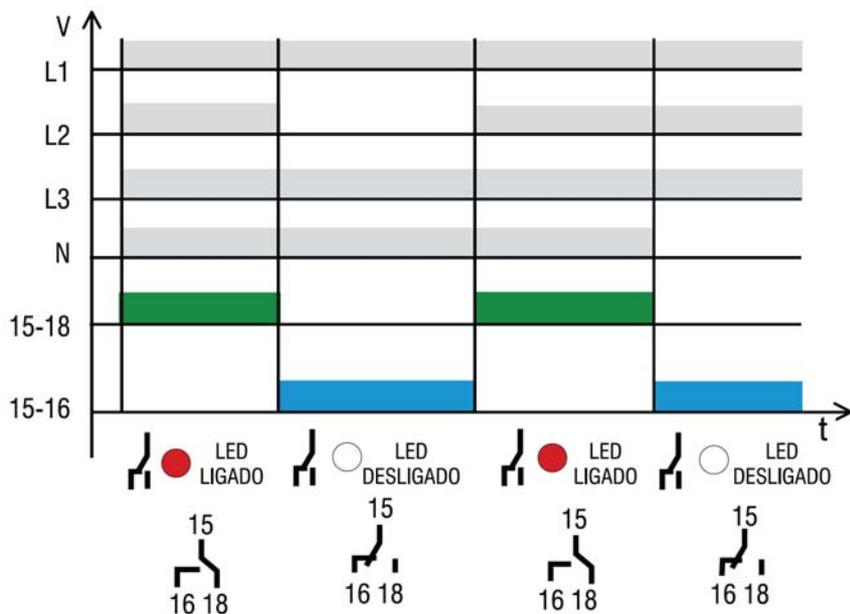


Figura 5.59

### 5.7.2.4 AJUSTE DE SENSIBILIDADE

O ajuste de sensibilidade do relé deve ser feito pelo Dial de ajuste localizado no frontal, ajustar ao percentual desejado de 70 a 90%, o qual definirá o percentual de quebra de uma fase em relação às outras.

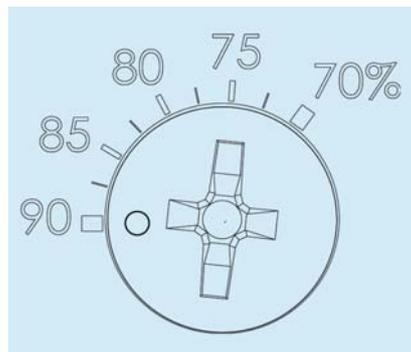


Figura 5.60

### 5.7.2.5 INDICAÇÕES LUMINOSAS

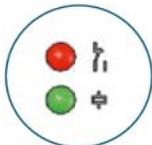
	RPW - FF	
<b>LED Vermelho</b>	Saída Energizada	
<b>LED Verde</b>	Relé Energizado	

Tabela 5.7.2.5.1

### 5.7.3 RELÉ FALTA DE FASE E SEQUENCIA DE FASE – RPW FSF

#### RPW FSF (neutro não selecionado)

O Relé Falta e Sequência de Fase destina-se a proteção de sistemas trifásicos contra queda e inversão de fases.

**Funcionamento:** Conectado diretamente a rede a ser monitorada, alimentando-se as 3 fases e estando a amplitude das fases dentro dos limites selecionados e na seqüência correta, o relé de saída comuta os contatos para posição de trabalho (fecha os terminais 15-18) e o LED vermelho se acenderá. Quando ocorrer a queda ou inversão de fase ocorrerá a desenergização dos contatos de saída (abre 15-18) e o LED vermelho indicando o funcionamento do sistema se apaga.

#### RPW FSF (neutro selecionado)

No mesmo produto, para proteção do neutro deve-se executar uma ponte entre os terminais A e B, o relé irá realizar a mesma proteção para falta da fase e também irá monitorar a tensão no neutro, o qual obrigatoriamente deverá estar conectado. Quando a tensão no neutro ultrapassar 20V, valor que contempla cargas desequilibradas, ocorrerá a desenergização da saída (abre 15-18).



Figura 5.61

### 5.7.3.1 SELEÇÃO



Figura 5.62

### 5.7.3.2 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

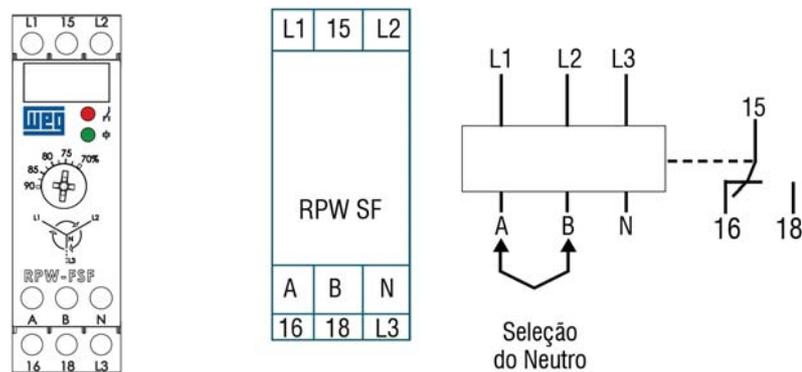


Figura 5.63

### 5.7.3.3 DIAGRAMA FUNCIONAL

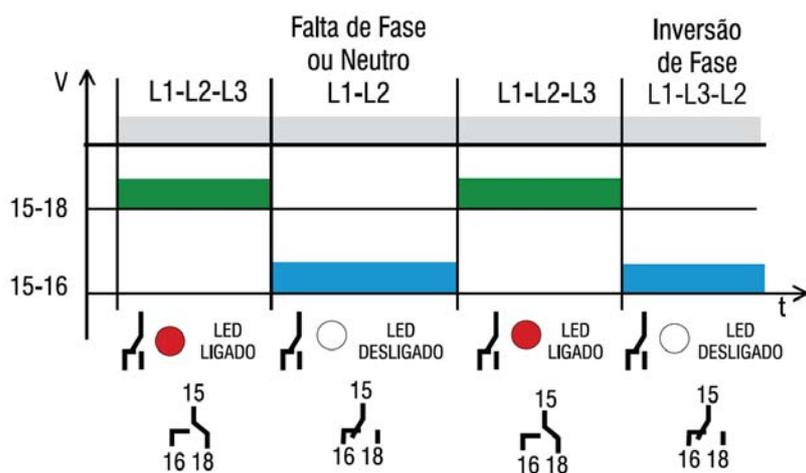


Figura 5.64

### 5.7.3.4 AJUSTE DE SENSIBILIDADE

O ajuste de sensibilidade do relé deve ser feito pelo Dial de ajuste localizado no frontal, ajustar ao percentual desejado de 70 a 90%, o qual definirá o percentual de quebra de uma fase em relação às outras.

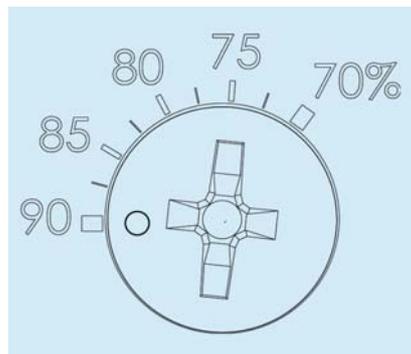


Figura 5.65

### 5.7.3.5 INDICAÇÕES LUMINOSAS

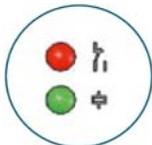
	RPW - FSF	
<b>LED Vermelho</b>	Saída Energizada	
<b>LED Verde</b>	Relé Energizado	

Tabela 5.7.3.5.1

#### 5.7.4 RELÉ DE SUB OU SOBRETENSÃO E FALTA DE FASE – RPW SS

O Relé WEG RPW SS destina-se a proteção de sistemas trifásicos contra sub ou sobretensão e falta de fase.

**Funcionamento:** conectando diretamente as 3 fases a serem monitoradas (L1, L2 e L3) e estando a amplitude das fases dentro dos limites de sensibilidade ajustados nas escalas frontais, o relé comuta os contatos para a posição de trabalho, (fecha os terminais 15 – 18) e o LED vermelho ligará. Ocorrendo alguma anomalia no sistema que provoque sub ou sobre tensão ou ainda uma falta de fase ocorrerá a desenergização do relé (abrem os terminais 15-18) protengendo o equipamento monitorado e o LED vermelho se desliga.



Figura 5.66

### 5.7.4.1 SELEÇÃO



Figura 5.67

### 5.7.4.2 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

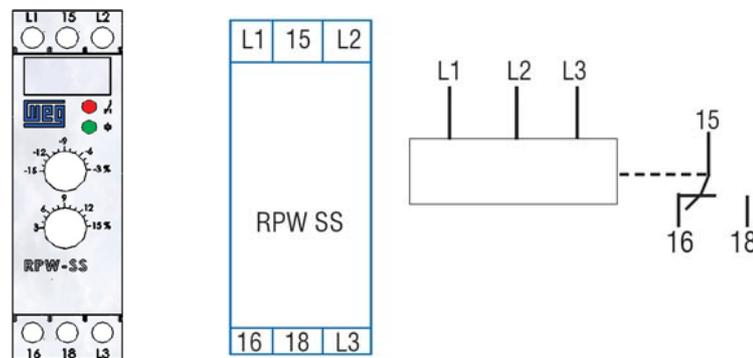


Figura 5.68

### 5.7.4.3 DIAGRAMA FUNCIONAL

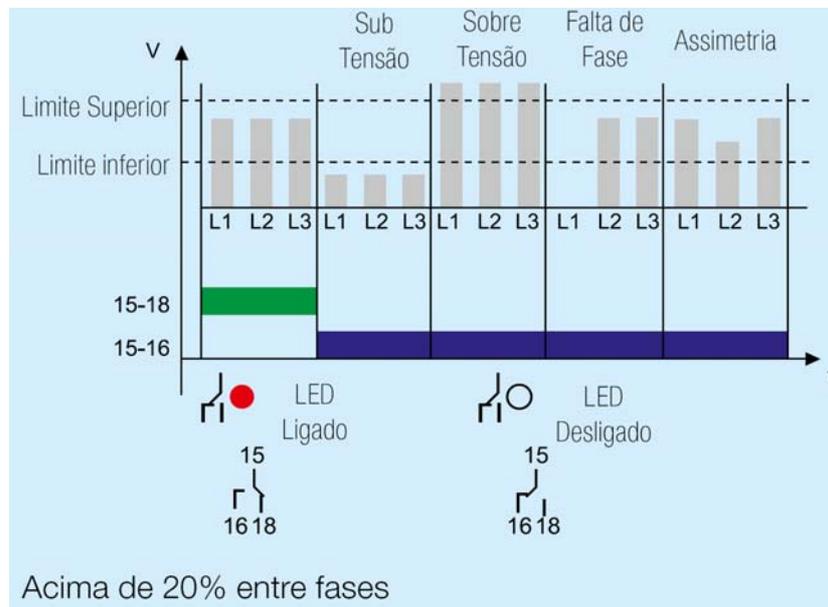


Figura 5.69

#### 5.7.4.4 AJUSTE DE SENSIBILIDADE

O ajuste de sensibilidade é feito pelos 2 Diais localizados no frontal do Relé. A seleção é feita de -15% a -3% (para subtensão) e +3% a +15% (para sobretensão).

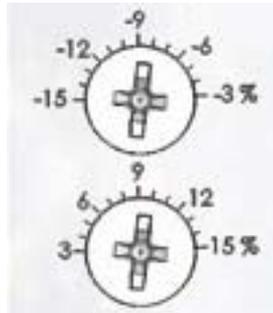


Figura 5.70

#### 5.7.4.5 INDICAÇÕES LUMINOSAS

RPW - SS			
 	<b>LED Vermelho</b>	Ligado	Operação Normal
		Desligado	Sub. Sobretensão e Falta de fase
 	<b>LED Verde</b>	Ligado	Energizado
		Desligado	Não energizado

Tabela 5.7.4.5.1

### 5.7.5 RELÉ DE PROTEÇÃO PTC – RPW PTC

O Relé WEG RPW PTC é um dispositivo de proteção eletrônico que permite, em máquinas (motores, geradores, tc...) equipadas com um sensor de temperatura PTC, (proteger contra sobretensão acima do limite dado pela seleção do PTC). Projetado de acordo com normas internacionais, o RPW PTC constitui uma solução compacta e segura, com caixas normatizadas 22,5mm para inserção em trilho DIN 35mm.

**Funcionamento:** o Relé RPW PTC deve ser ligado em série a sensores tipo PTC (máximo de 3 sensores), ao ser energizado, estando a temperatura abaixo do valor de desarme, o relé de saída será comutado (energizado) instantaneamente, acionando o LED vermelho. Existindo uma elevação de temperatura acima da temperatura de atuação ocorrerá uma variação abrupta na resistência do sensor PTC, e o relé de saída será desenergizado (LED vermelho desliga), o relé será novamente energizado assim que a temperatura retorne aos valores normais. O RTW PTC possui um dispositivo de teste do sensor PTC, se o mesmo estiver em falha, existirá uma indicação no LED (LED piscando) de que o PTC está em curva ou aberto.



Figura 5.71

### 5.7.5.1 SELEÇÃO

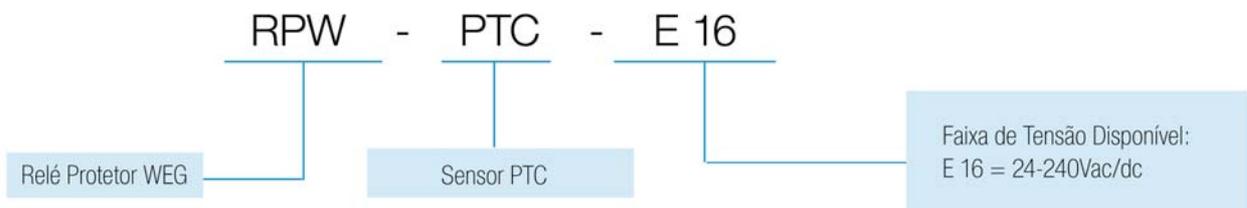


Figura 5.72

### 5.7.5.2 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

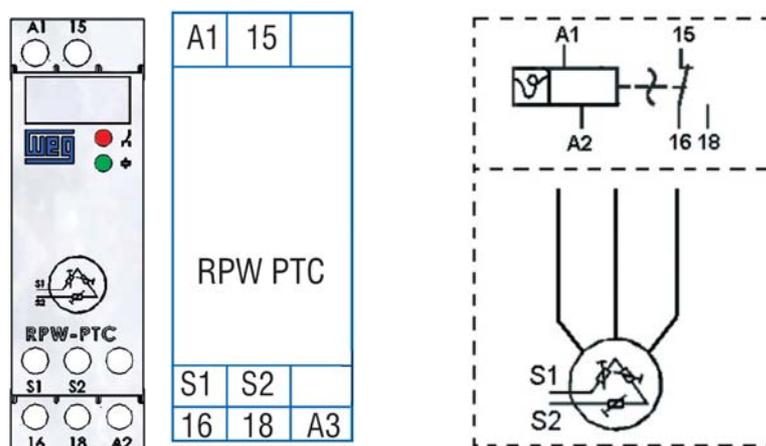


Figura 5.73

TERMINAIS	
<b>A1 – A2</b>	Alimentação 24...240 Vca / Vdc
<b>S1 – S2</b>	Entrada do Sensor PTC
<b>15 – 16 - 18</b>	SAÍDA

Tabela 5.7.5.2

5.7.5.3 DIAGRAMA FUNCIONAL

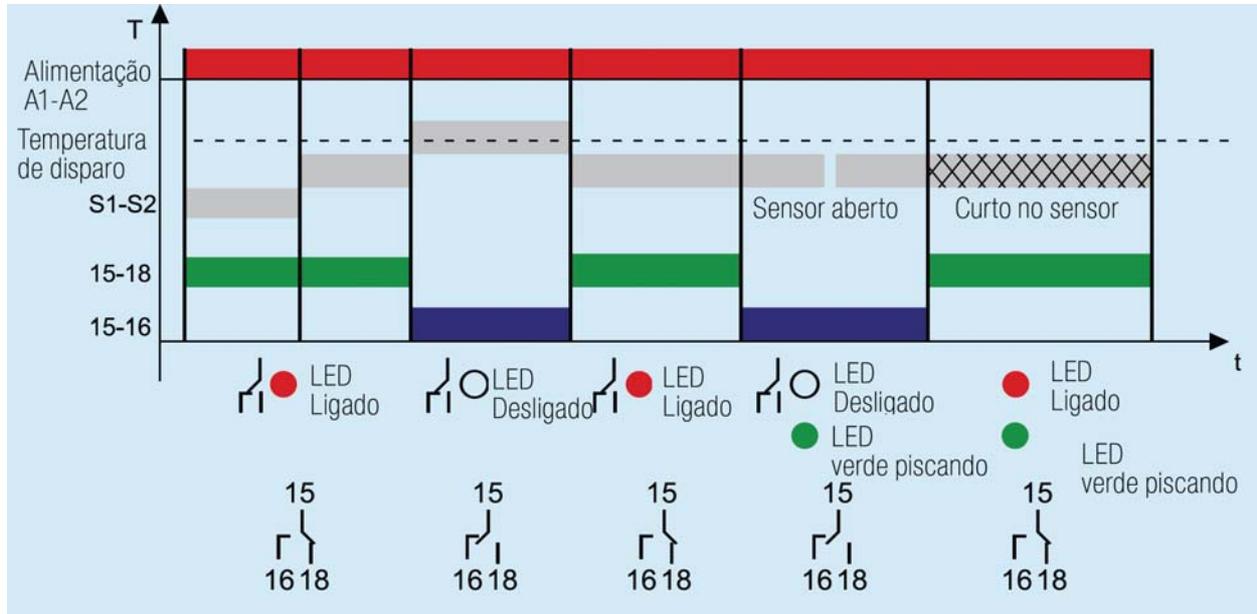


Figura 5.74

5.7.5.4 INDICAÇÕES LUMINOSAS

RPW - PTC			
	<b>LED Vermelho</b>	Ligado	Operação Normal
		Desligado	Temperatura elevada
	<b>LED Verde</b>	Ligado	Energizado
		Desligado	Não energizado
		Piscando	Falha no sensor PTC

Tabela 5.7.5.4.1

### 5.8 RELÉ DE NÍVEL – RNW

Os Relés de nível WEG são dispositivos eletrônicos de controle que permitem o monitoramento e a regulação automática do nível de líquidos condutores de corrente elétrica. Muito utilizados em automação de reservatórios em geral, os RNW podem ser utilizados em diversas aplicações como prevenção de funcionamento a seco da bomba, proteção contra transbordamento do tanque de enchimento, acionamento de solenóides ou alarmes sonoros / luminosos.

O princípio de funcionamento é baseado na medição da resistência elétrica do líquido do reservatório através de um conjunto de eletrodos, que funcionam como sensores de presença/ausência de líquido. Para otimizar o seu funcionamento, o relé possui um DIAL (potenciômetro) de sensibilidade que permite ajustar o circuito eletrônico a resistividade do líquido.

Disponível em 2 funções distintas, de enchimento RNW EN e de esvaziamento RNW ES, o relé possui eletrônica digital que proporciona elevada precisão, repetibilidade e imunidade a ruídos. O sistema de alimentação é isolado do circuito eletrônico visando a maior segurança do usuário. Projetado de acordo com normas internacionais, o RNW constitui uma solução compacta e segura, em carcaças com 22,5mm de largura para montagem em trilho DIN35, possui 1 saída com contato reversível NA/NF e alimentação em uma ampla faixa de tensão de 100-240 Vca/Vdc.

#### FUNCIONAMENTO:

Os eletrodos são fixados no reservatório de acordo com os níveis desejados para controle, mínimo ou máximo, sendo que o eletrodo de referência (C) deve ser posicionado na parte inferior, abaixo dos demais eletrodos, eletrodo de nível máximo (Max) e eletrodo de nível mínimo (Min). Quando o sistema for energizado uma tensão alternada (a corrente CA minimiza a eletrólise e aumenta a vida útil do eletrodo) é aplicada no eletrodo de referência, assim que o líquido entrar em contato com os eletrodos de nível é estabelecido um caminho para a circulação de corrente elétrica entre os eletrodos. Um circuito eletrônico compara a corrente e de acordo com o modelo escolhido (RNW ES ou RNW EN) será realizada a lógica que comuta os contatos de saída do relé. Os eletrodos estão disponíveis em 2 modelos, de haste (EHW) ou de pêndulo (EPW), cuja diferença entre eles é o modo de fixação. Para se adaptar as diversas aplicações o RNW está disponível em duas funções distintas, a de esvaziamento e a de enchimento.

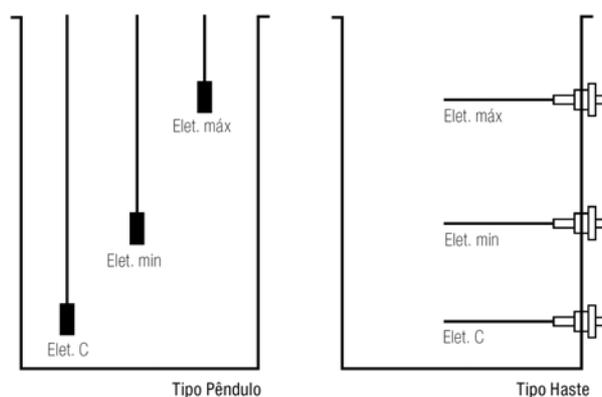


Figura 5.75

**SELEÇÃO:**



Figura 5.76

**AJUSTE DE SENSIBILIDADE:**

A resistência do líquido pode variar conforme a resistividade do líquido em questão e a posição dos eletrodos. Para adequar o circuito eletrônico do relé ao líquido utilizado, a sensibilidade deve ser ajustada através do DIAL, localizado na parte frontal do RNW, que possui uma escala graduada sem valores.

Para fazer o ajuste de sensibilidade todos os eletrodos devem estar submersos no líquido do reservatório e o DIAL posicionado no seu limite anti-horário (menor resistência). Com o relé energizado o DIAL deve ser girado no sentido horário (maior resistência) até que a saída do relé comute seus contatos (o led vermelho deve mudar de status). Para confirmar o ajuste o eletrodo de referência C deve ser desconectado e logo em seguida conectado novamente, o relé deverá voltar ao status anterior a desenergização. Caso isso não ocorra um novo ajuste deve ser feito. Feito isso o RNW estará ajustado ao ponto ideal de sensibilidade.

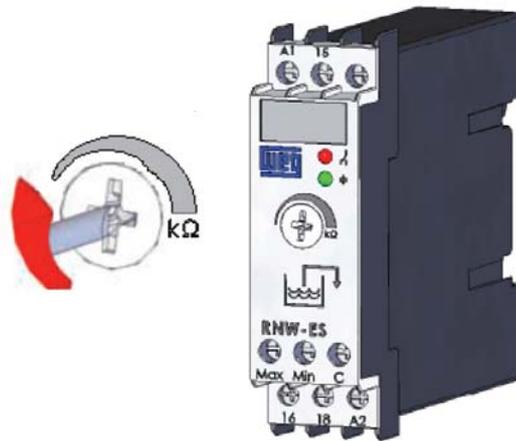


Figura 5.77

**INDICAÇÕES LUMINOSAS**

O Relé de Nível RNW possui LEDs indicadores de estado conforme o indicado ao lado:

	<b>RPW - FSF</b>	
<b>LED Vermelho</b>	Saída Energizada	
<b>LED Verde</b>	Relé Energizado	

Tabela 5.8.1

### 5.8.1 RELÉ DE NÍVEL DE ENCHIMENTO - RNW EN

Faz o controle de 2 níveis usando os 3 eletrodos, o de referência (C), o eletrodo de nível máximo (Max) e o eletrodo de nível mínimo (Min). Assim que alimentado o RNW EN faz a verificação do nível de líquido no reservatório, estando descoberto o eletrodo de nível Min, o relé será energizado (terminais 15-18 fechados) fazendo subir o nível de líquido. Quando o líquido do reservatório cobrir o eletrodo de nível Max, o relé passa para o seu estado de repouso (terminais 15-18 abertos) e assim permanece até que o eletrodo de nível Min seja descoberto novamente. Se houver falha na alimentação do relé, quando realimentado o RNW EN reinicia a sua lógica inicial.



Figura 5.78

#### 5.8.1.1 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

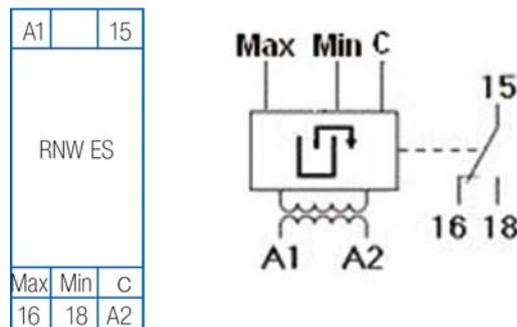


Figura 5.79

### 5.8.1.2 DIAGRAMA FUNCIONAL

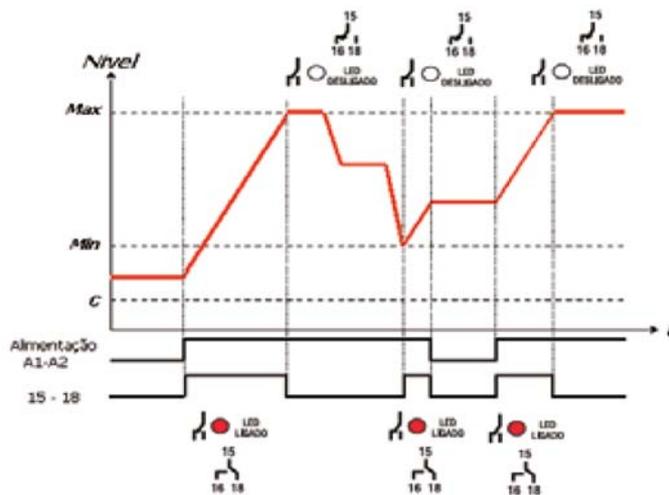


Figura 5.80

### 5.8.2 RELÉ DE NÍVEL DE ESVAZIAMENTO - RNW ES

Faz o controle de 2 níveis usando os 3 eletrodos, o de referência (C), o eletrodo de nível máximo (Max) e o eletrodo de nível mínimo (Min). Assim que alimentado o RNW ES faz a verificação do nível do líquido no reservatório, estando este em contato com o eletrodo de nível Max o relé é então energizado (terminais 15-18 fechados), fazendo com que o nível do líquido do reservatório comece a descer. Assim que o eletrodo de nível Min for descoberto pelo líquido o relé comutará para seu estado de repouso (terminais 15-18 abertos) e assim permanecerá até que o líquido entre em contato novamente com o eletrodo de nível Max, reiniciado o processo. Se houver falha na alimentação do relé, quando realimentado o RNW ES faz a verificação do nível do líquido e inicia novamente sua lógica.

#### 5.8.2.1 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

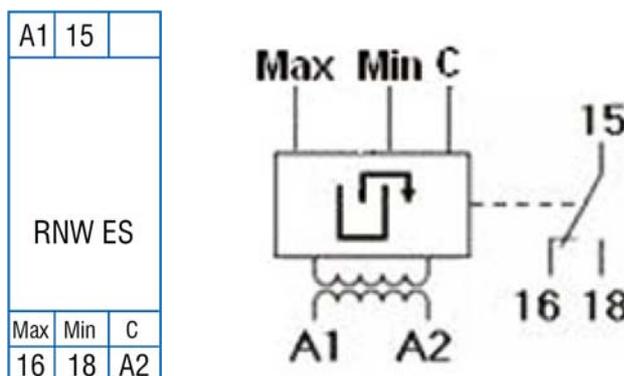


Figura 5.81

5.8.2.2 DIAGRAMA FUNCIONAL

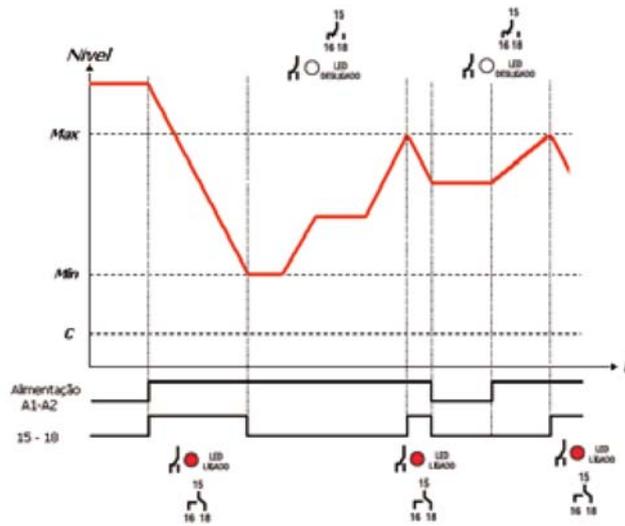


Figura 5.82

## 5.9 TRANSFORMADORES

### 5.9.1 TRANSFORMADOR DE COMANDO

O transformador de comando tem como objetivo principal compatibilizar a tensão da rede com a tensão de comando.

O uso deste componente possibilita que o circuito de comando seja ligado entre fase e terra, evitando o desequilíbrio do ponto neutro da ligação estrela da rede. Este desequilíbrio causa a variação de tensão de comando.

O transformador isola (separa) galvanicamente o circuito de comando do principal. Com esta prática o circuito de comando estará isento de qualquer anomalia (curto-circuito, sobrecargas) do circuito de força.

#### 5.9.1.1 FORMAS DE INSTALAÇÃO

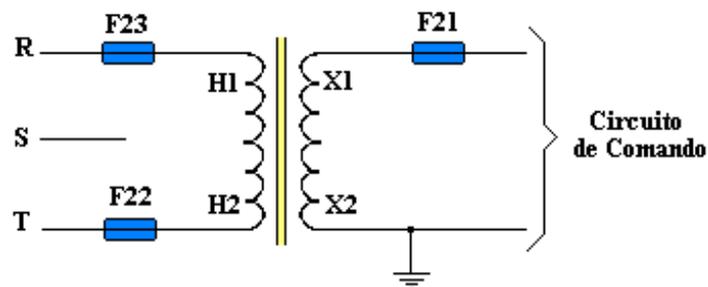


Figura 5.83 – Em redes trifásicas SEM NEUTRO

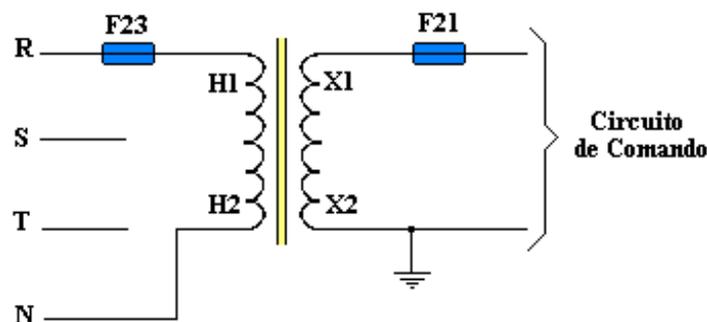


Figura 5.84 – Em redes trifásicas COM NEUTRO

#### 5.9.1.2 DIMENSIONAMENTO

A potência de pico do circuito de comando no instante de ligar, assume diversas vezes o valor da potência em regime do circuito ligado. Por esse motivo, como também para evitar aquecimento do transformador e queda de tensão excessiva no instante de picos, devem ser atendidas as seguintes condições:

- a) A potência nominal do transformador (ST), deverá ser superior à potência de regime do circuito (SR) no instante em que a lógica de comando tiver o maior consumo em regime (contatores ligados)  $ST > SR$ , (SR = somatória das potências aparentes dos contatores ligados, no instante em referência).
- b) A potência instantânea máxima do transformador deverá ser superior à potência de pico máxima que possa ser solicitada pelo circuito. A escolha do transformador pela potência instantânea é relacionada com a potência de pico (SP) e do fator de potência (FP), do circuito.

- **Potência de Pico (SP)**

É a somatória das potências aparentes de pico e em regime dos contatores no instante em referência

- **Fator de Potência (FP)**

O fator de potência deve ser calculado apenas para o instante onde tem-se a maior potência de pico.

$$FP = \frac{P_p}{SP} \times 100,$$

Onde:  $P_p$  é a somatória das potências ativas, de pico e em regime de todos os contatores no instante de maior pico.

**IMPORTANTE:** em circuitos de comando de chaves de partida individuais, despreza-se a potência consumida por relés eletrônicos e sinalizações.

## 5.9.2 AUTO TRANSFORMADORES DE PARTIDA

Os auto transformadores distinguem-se dos transformadores pelo fato de possuírem apenas um enrolamento, que é ao mesmo tempo primário e secundário.

### 5.9.2.1 DIMENSIONAMENTO

Os auto transformadores possuem, opcionalmente, instalado na bobina central, um termostato. O termostato tem a função de proteção do equipamento contra aquecimento excessivo ocasionado por sobrecarga ou número de partidas acima do especificado. O termostato é especificado em função da classe de isolamento do auto transformador.

Para se definir a potência do auto transformador deve-se considerar:

- ⇒ **Potência do motor;**
- ⇒ **Frequência de partida (número de partidas por hora);**

Existem limitações quanto ao número de partidas, sob pena de danificação dos enrolamentos. Assim sendo, fica estabelecido:

- 10 partidas/hora com um tempo de partida de 15 segundos.

⇒ **Tempo de partida do motor;**

Normalmente os auto transformadores são projetados para suportar a corrente de partida durante 15 segundos.

Após a definição da potência, para completar a especificação do auto transformador deve ser citado:

- Tensão nominal da rede;
- Classe de isolamento em sua maioria, classe B;
- Derivadores (TAP's) de tensão necessários; normalmente utiliza-se TAP's de 65 e 80%.

### 5.9.3 TRANSFORMADORES DE CORRENTE (TC'S)

Os TC's são transformadores destinados a reproduzir em seus secundários a corrente de seus circuitos primários de uma proporção definida, conhecida e adequada para uso em instrumentos de medição, controle e proteção. A finalidade dos TC's é isolar os instrumentos de medição, controle ou proteção e reduzir as altas correntes dos circuitos de força, tornando mais econômica a construção dos sistemas.

São componentes de circuito-série, isto é, o primário é ligado em série com o circuito (a carga) e no seu secundário todos os elementos são também ligados em série.

Os transformadores de corrente, em sua grande maioria, são encontrados somente com o enrolamento secundário, sendo o primário o próprio condutor do circuito onde será conectado.

As tensões nos terminais do secundário são praticamente desprezíveis, porém, caso os terminais se encontrarem em aberto estando o primário com corrente, a tensão assume valores bastante altos, já que o TC tende a fornecer corrente constante. Analisando, conclui-se que a impedância do circuito equivalente a uma carga de valor infinito.

$$U = Z \times I$$

Os TC's para uso em medição possuem baixos valores de corrente de saturação, ao contrário dos destinados à proteção onde a mesma atinge valores elevados (entre 10 e 20 x  $I_n$ , normalmente). Desta forma, o TC não sofre saturação no instante da partida de motores elétricos, quando a corrente atinge valores entre 6 e 9 x  $I_n$ .

### 5.10 DISJUNTOR

Os disjuntores em caixa moldada são dispositivos destinados a proteção de circuitos de distribuição. Atualmente, é o dispositivo mais comum de proteção em baixa tensão. Em sua grande maioria, são termomagnéticos, equipados com disparadores térmicos (que possui uma característica considerada de longa duração) e disparadores eletromagnéticos (instantâneos). Geralmente, são montados em quadros de distribuição.

#### 5.10.1 FUNCIONAMENTO

Um elemento é movimentado por uma força externa (alavanca, motor, etc) acionando um bloco de contatos principais e outro de contatos auxiliares, ao mesmo tempo em que comprime um jogo de molas de abertura. Ao fim do curso dos contatos, uma trava mantém o mecanismo de posição de contatos principais fechados e molas de abertura comprimidas.

Um comando de abertura, direto ou através de disparadores, irá retirar a trava liberando o mecanismo que provocará a separação brusca de contatos fechados por efeito de liberação das molas comprimidas de abertura. A interrupção de corrente que ocorre na abertura tem um valor máximo que é chamado de capacidade de interrupção.

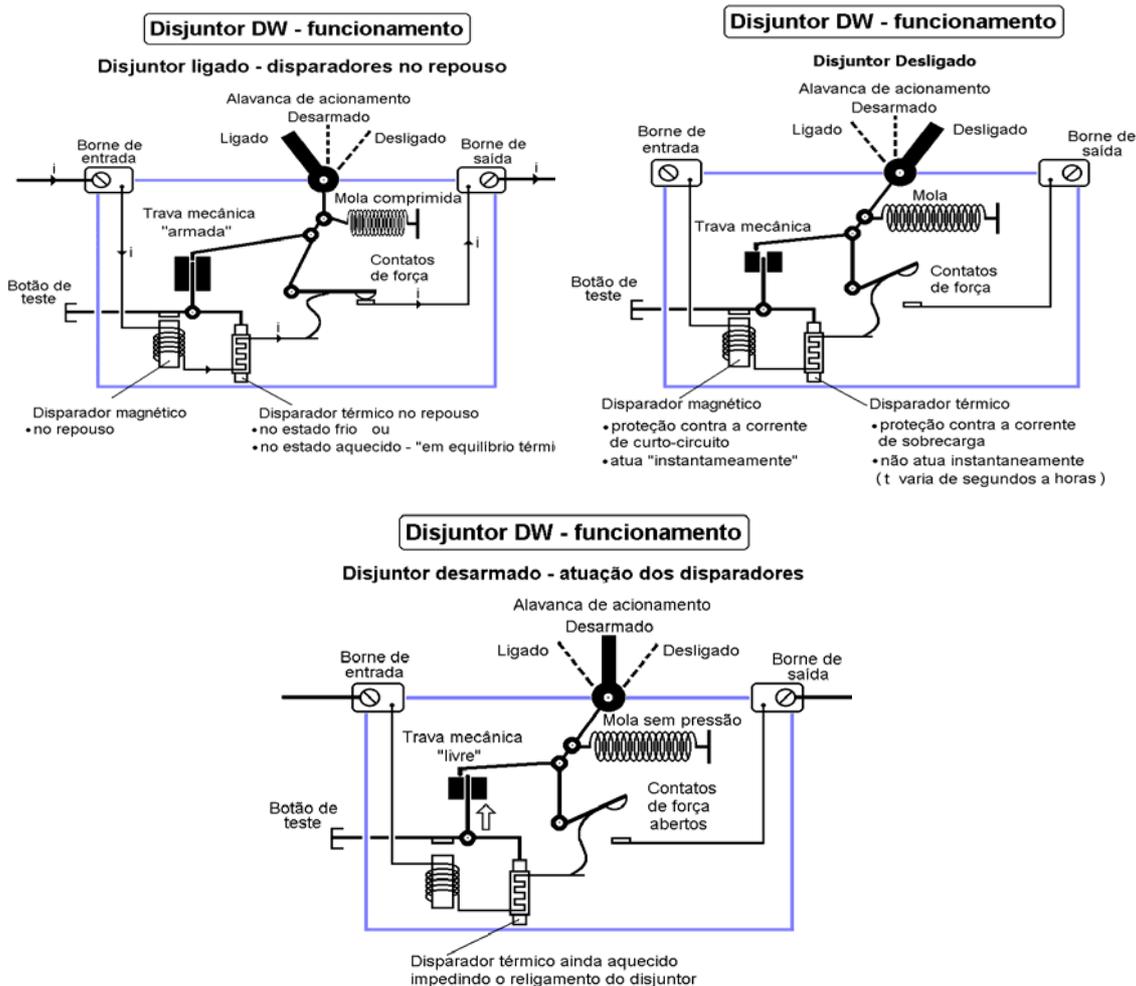


Figura 5.85

### 5.10.2 CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO

O maior valor eficaz simétrico que um dispositivo pode interromper com plena segurança tanto para o operador, quanto para os equipamentos próximos é chamado de capacidade de interrupção. Seu valor sempre é expresso em kA.

Na escolha de um disjuntor, a capacidade de interrupção é o item mais importante porque esta diretamente ligada à capacidade de geração de curto-circuito da rede, ou seja, da potência máxima que a rede pode conduzir quando a resistência é mínima. Logo, a escolha de um disjuntor adequado deverá ser feita, conhecendo-se as condições da rede de alimentação.

As capacidades de interrupção dos disjuntores são definidas pelas normas, conforme  $I_{cu}$  e  $I_{cs}$ .

$$I_{cu} = o - t - c / o$$

$$I_{cs} = o - t - c / o - t - c / o$$

A interpretação do ciclo  $I_{cu}$  nos informa de que, em condições de curto-circuito declarada pelo fabricante, o disjuntor deve abrir (o), ficar aberto por um curto espaço de tempo (t) (que deve ser de no mínimo de 3 minutos), ser fechado (c) sobre a linha em curto e reabrir em seguida com total segurança. Para  $I_{cs}$  é acrescentada mais uma operação de fechamento e abertura. Uma vez atuando sob estas condições rígidas, o disjuntor terá cumprido o seu papel, ou seja, atende a norma IEC 60947-2.

A capacidade de interrupção de corrente de curto-circuito  $I_{cs}$  é apresentado em relação a percentuais de  $I_{cu}$ . Para disjuntores com Categoria de Utilização “A”, esses percentuais são padronizados conforme a tabela:

Categoria de Utilização “A” % de $I_{cu}$
25
50
75
100

Tabela 5.10.2.1

Devido as impedâncias imprevistas, normalmente presentes em qualquer linha (emendas, contatos, etc), a grande maioria dos curtos-circuitos atinge valores abaixo da capacidade de interrupção do disjuntor, garantindo assim, uma vida longa e um grande número de manobras. No entanto, o acontecimento de um curto equivalente à capacidade plena de interrupção, pode acontecer em qualquer momento, fazendo-se necessária uma inspeção periódica de contatos e câmaras de extinção para determinar o estado físico dos mesmos.

### 5.10.3 CATEGORIA DE UTILIZAÇÃO PARA DISJUNTORES

A categoria de utilização de um disjuntor deve ser mencionada considerando se ele é ou não especificamente destinado a ser utilizado em seletividade. Utilizando-se um retardamento de tempo intencional em relação a outros disjuntores em série no lado da carga, sob condições de curto-circuito, tem-se a condição de seletividade.

Abaixo, temos uma tabela que nos traz as diferentes categorias de utilização de disjuntores.

<i>Categoria de Utilização</i>	<i>Adequação para Seletividade</i>
A	Disjuntores não especificadamente dimensionados para seletividade em condições de curto-circuito, instalados a montante de dispositivos contra curtos-circuitos conectados em série com a carga.  Exemplo: Disjuntores sem retardo intencional de curta duração.
B	Disjuntores especificadamente dimensionados para seletividade em condições de curto-circuito, instalados a montante de dispositivos contra curtos-circuitos conectados em série com a carga.  Exemplo: Disjuntores providos de retardo intencional de curta duração.

Tabela 5.10.3.1

#### **5.10.4 CLASSIFICAÇÃO DOS DISJUNTORES**

Os disjuntores são utilizados, do ponto de vista de utilização, para a proteção de redes ou máquinas girantes, havendo nestas últimas uma nítida diferença entre características para máquinas motoras e geradoras.

##### **5.10.4.1 SOB O ÂNGULO DE FUNCIONAMENTO, PODEMOS CLASSIFICÁ-LOS EM TRÊS CLASSES DENOMINADAS STANDARD, LIMITADORES E SELETIVOS.**

###### **5.10.4.1.1 DISJUNTORES STANDARD**

O princípio de funcionamento deste tipo de disjuntor constitui-se pela abertura de seus contatos (por ação da força das molas de abertura), pela limitação da velocidade de abertura bem como outros aspectos construtivos.

###### **5.10.4.1.2 DISJUNTOR LIMITADOR**

Tem uma alta velocidade de operação, ajudando a manter limitado o crescimento da corrente de curto-circuito de maneira que a corrente de corte seja menor que o  $i_p$  (valor máximo da corrente de curto-circuito), dentro do primeiro semi-ciclo. Logo, com este tipo de ação tem-se um disjuntor limitador.

###### **5.10.4.1.3 DISJUNTOR SELETIVO**

A seletividade em um circuito, onde existem diversos disjuntores em série, é a garantia de que o tempo de interrupção do disjuntor mais próximo do defeito deve ser menor que o tempo mínimo de impulso do disjuntor imediatamente à montante (disjuntores categoria B).

### **5.10.4.2 PODE-SE CLASSIFICAR OS DISJUNTORES, TAMBÉM, SOB O PONTO DE VISTA DE APLICAÇÃO EM:**

#### **5.10.4.2.1 MINIDISJUNTORES**

São pequenos interruptores automáticos que apresentam as mesmas características dos disjuntores maiores (dispositivo térmico e dispositivo eletromagnético).

#### **5.10.4.2.2 DISJUNTORES COMPONÍVEIS**

Os elementos modulares que compõem o sistema podem desempenhar funções de proteção, comando, comutação, sinalização e inclusive se integrar a sistemas de automação.

Tomando como elementar um módulo base, vários outros elementos podem ser a ele acoplados, permitindo ao conjunto desempenhar as funções desejadas.

#### **5.10.4.2.3 DISJUNTOR PARA MOTORES**

Sendo ele tanto standard quanto limitador, o disjuntor para motor deve possuir disparador térmico ajustável e disparador magnético regulado de tal forma a suportar a corrente de partida do motor.

A utilização de disjuntores para a proteção de motores em substituição à tradicional solução fusíveis/contator/relé térmico, traz uma série de vantagens, das quais se destacam:

- O disjuntor funciona como chave geral;
- Desligamento simultâneo de todas as fases, evitando funcionamento bifásico;
- Casamento perfeito entre as curvas de proteção térmica e magnética com possibilidade de regulação desta última também.
- Oferece proteção para qualquer valor de corrente, principalmente nas faixas de pequenos motores;
- Em caso de abertura por curto-circuito, basta rearmá-lo, não necessitando sua substituição.

#### **5.10.4.2.4 DISJUNTOR DE POTÊNCIA**

Utilizado em redes de alimentação e distribuição, os disjuntores de potência são interruptores que devem ter altas capacidades de interrupção, tendo em vista os valores de curto-circuito que costumam ocorrer em subestações, quadros gerais e de distribuição.

A capacidade de interrupção é, genericamente, correspondente a corrente nominal.

Pode-se definir a capacidade de interrupção pela corrente presumida de um curto-circuito no local da instalação do disjuntor. Para corrente alternada, considera-se o valor eficaz da componente simétrica “Ik”.

Quem define a capacidade de ligação de corrente de curto-circuito é o valor máximo da corrente de curto-circuito, no local da instalação do disjuntor.

### 5.10.5 DISPARADORES EM DISJUNTORES

Os disjuntores podem ser previstos com os seguintes disparadores:

<i>Tipo do Disparador</i>	<i>Aplicação</i>
Disparador de Sobrecorrente <ul style="list-style-type: none"> <li>• Térmico.....</li> <li>• Eletromagnético Temporizado.....</li> <li>• Instantâneo.....</li> <li>• Eletrodinâmico.....</li> </ul>	Proteção contra sobrecarga Proteção seletiva contra curto-circuito Proteção contra curto-circuito Proteção contra curto-circuito com limitação de corrente.
Disparador de Subtensão.....	Proteção contra Subtensão, comando à distância, intertravamento.
Disparador a Distância.....	Desligamento a distância
Disparador de Redes em Malha.....	Proteção seletiva de redes em malha

Tabela 5.10.5.1

### 5.10.6 VIDA ÚTIL E FREQUÊNCIA DE MANOBRA

Os disjuntores são equipamentos que operam com uma grande pressão nas peças de contato. Estas operações resultam em um inevitável desgaste mecânico das partes envolvidas, principalmente no dispositivo de travamento dos contatos. Isto nos faz limitar o número de operações do disjuntor.

Não se deve, então, exigir um grande número de operações do disjuntor, ainda que ele seja previsto com um acionamento automático. Ocasionalmente onde seja exigido um grande número de ligações, juntamente com uma longa vida útil, um contator deve ser utilizado para realizar as comutações.

Juntamente com a vida útil mecânica, é muito importante ressaltar a vida útil das peças de contato; onde não pode-se fazer uma definição generalizada, uma vez que o desgaste das peças de contato devido ao arco voltaico, depende de vários fatores, como intensidade da corrente, da tensão e da constante de tempo do circuito.

<b>Disjuntores</b>	<b>Vida Útil e Mecânica “Manobras”</b>	<b>Frequência de Ligações por hora</b>
Disjuntores de pequeno e médio porte	Para cargas motoras $0,1 \times 10^6$	Para cargas motoras 20 a 60
	Para potência $30 \times 10^4$	Para potência 20
Disjuntores grandes	Para cargas motoras $15 \times 10^3$	Para cargas motoras 20
	Para potência $15 \times 10^3$	Para potência 20

Tabela 5.10.6.1 – vida útil e frequência de operações de disjuntores

### 5.10.7 CONTATOS AUXILIARES

Os disjuntores são previstos com contatos auxiliares para que sejam realizadas operações como, comando, sinalização e intertravamento, uma vez que estes podem operar através do eixo dos contatos principais, do acionamento ou dos disparadores de sobrecorrente.

Os contatos podem ser normalmente abertos (NA), normalmente fechados (NF), ou contatos de alarme.

### 5.10.8 TIPOS DE DISJUNTORES

Considerando a utilização, os disjuntores podem ser classificados em:

- Disjuntores ligados diretamente à carga;
- Disjuntores de distribuição;
- Disjuntores de acoplamento.

Corrente Nominal $I_u$ (A)	Disjuntores Ligados a Carga	Disjuntores de Distribuição	Disjuntores de Acoplamento
6 – 16 25 – 40 63			
100 – 200 400 630 1000			
1250 – 1600 2500 – 3150 4000 – 6300			

Tabela 5.10.8.1 – faixa de corrente de regime – valores básicos

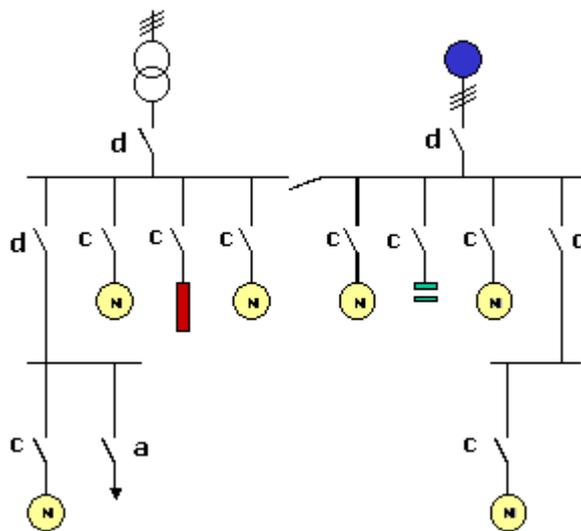


Figura 5.86 - Diagrama básico de um sistema de distribuição

- c – disjuntor de carga;
- d – disjuntor de distribuição;
- a – disjuntor de acoplamento.

#### **5.10.8.1 DISJUNTORES LIGADOS DIRETAMENTE À CARGA**

São disjuntores aplicados em cargas, como motores, capacitores e fornos elétricos. Além da proteção de comutação, também exercem a função de proteção do consumidor contra sobrecarga e, no caso de curto-circuito, o desligamento do circuito, no menor tempo possível.

#### **5.10.8.2 DISJUNTORES DE DISTRIBUIÇÃO**

Sua aplicação é em circuitos de proteção de geradores, transformadores e dos cabos de distribuição.

Estes disjuntores são concebidos com disparadores eletromagnéticos temporizados e possuem capacidade suficiente para suportar os efeitos térmicos e dinâmicos da corrente de curto-circuito.

#### **5.10.8.3 DISJUNTORES DE ACOPLAMENTO**

O uso de disjuntores em instalações de baixa tensão são utilizados, por motivos econômicos, com corrente de curto-circuito limitada em 50 kA, 500 V, 60 Hz.

Pode-se trabalhar também em potências de curto-circuito mais elevadas em redes industriais. Caso ocorram picos de carga, para garantir que a tensão da rede ainda se mantenha em níveis adequados, são utilizados, usualmente, dois ou mais transformadores alimentando o barramento, interligados por disjuntores de acoplamento.

### 5.11 SELETIVIDADE ENTRE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EM BAIXA TENSÃO

Um sistema é seletivo se, submetido a uma corrente anormal, faz atuar os dispositivos de proteção de maneira a desenergizar somente a parte do circuito afetado (mais próximo da falta).

Estes elementos podem ser encontrados num determinado sistema, formando as seguintes combinações:

- Fusível em série com fusível
- Fusível em série com disjuntor
- Disjuntor em série com fusível
- Disjuntor em série entre si

#### 5.11.1 FUSÍVEIS LIGADOS EM SÉRIE COM FUSÍVEIS

Fusíveis ligados em série terão seletividade garantida quando suas curvas características não se cruzarem, mas esta condição, porém não é suficiente, quando a corrente de curto-circuito for elevada. A seletividade, neste caso, é garantida quando o valor da energia durante o tempo de fusão e extinção do arco (fusível 2) for menor do que a energia de fusão do fusível imediatamente superior, ao considerado (fusível 1).

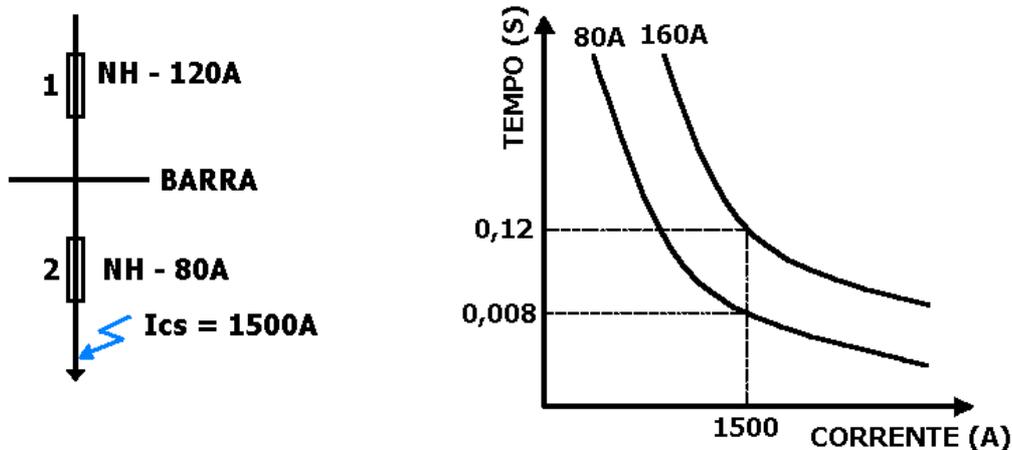


Figura 5.87

#### 5.11.2 FUSÍVEIS LIGADOS EM SÉRIE COM DISJUNTORES

Para que se estabeleça a seletividade entre fusíveis em série com disjuntores devemos analisar através de suas curvas “ $I \times t$ ” as seguintes condições:

##### a) Faixa de Sobrecarga

Considerando esta faixa, a seletividade é garantida, quando a curva de desligamento do relé térmico não corta a curva do fusível.

### b) Faixa de Curto-Circuito

Na faixa característica da corrente de curto-circuito, para se obter seletividade, é necessário que o tempo de atuação do fusível seja igual ou superior em 50ms ao tempo de disparo do relé eletromagnético.

$$\text{TAF} > \text{TUDO} + 50 \text{ "ms"}$$

TAF – tempo de atuação do fusível, em ms.

TDO – tempo de desligamento do disjuntor, em ms.

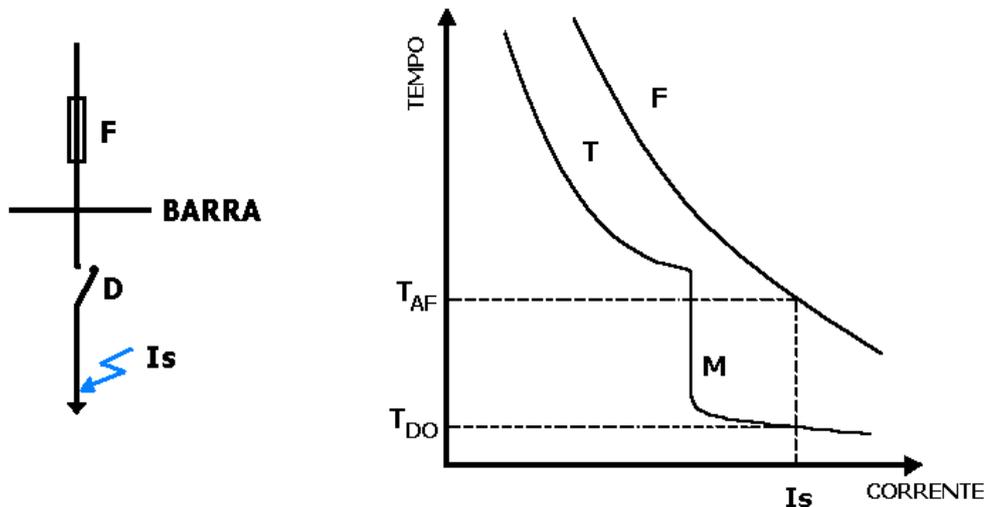


Figura 5.88

Um caso muito particular de fusíveis em série com disjuntor, e muito frequentemente empregado, é aquele em que se deseja proteger o disjuntor contra correntes elevadas de curto-circuito, cujo valor seja superior a sua capacidade de interrupção. Utiliza-se neste caso, a propriedade dos fusíveis (NH) de limitação de corrente de crista.

#### 5.11.3 DISJUNTOR EM SÉRIE COM FUSÍVEL

Quando depois de um disjuntor se conectam fusíveis, estes devem ser de intensidade nominal notadamente mais baixa que a do disjuntor. Para conseguir seletividade, as características de ambos os elementos de proteção devem manter suficiente distância entre si. Isto significa que o tempo total de atuação de um fusível, que pode ser denominado de tempo de fusão + tempo de extinção, deve ser menor do que a duração mínima necessária para sensibilizar o disjuntor. Normalmente o projetista dispõe somente das características de tempo de fusão, e através destas se deduz com suficiente exatidão o tempo de desconexão total em casos de curto-circuito aumentando o valor do tempo de fusão dado em 20ms. Portanto, pode-se afirmar que a seletividade só será garantida se o fusível limitar a corrente a tal valor, que a corrente passante não atinja os valores de atuação do relé eletromagnético.

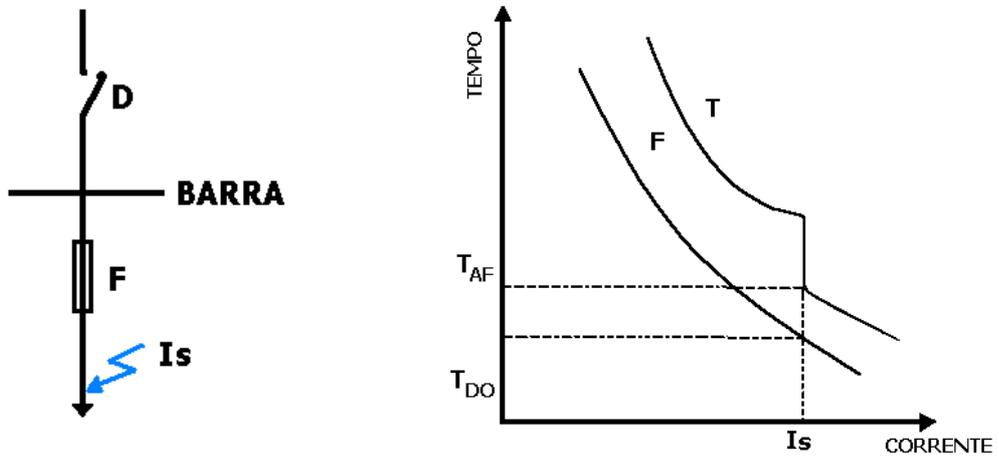


Figura 5.89

## 5.12 ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CURTO-CIRCUITO

### 5.12.1 INTRODUÇÃO

Os curtos-circuitos são fenômenos físicos que se diferenciam das sobrecargas (solicitações indevidas do sistema) por se constituírem de defeitos na instalação.

Estes defeitos, sempre são falhas de isolamento, provocando contato entre um condutor e a terra ou partes metálicas unidas a ela, ou entre condutores.

Estas falhas de isolamento podem ser provocadas por raios, quedas de corpos estranhos sobre os condutores, falhas de manobras, etc.

Em geral, o curto-circuito sobre uma rede provoca sobre intensidades, quedas de tensão e desequilíbrios das tensões e correntes nas 3 fases.

### 5.12.2 ANÁLISE DO CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO “TRIPOLAR”

Como é sabido os sistemas elétricos industriais possuem características indutivas. Desta forma um curto-circuito pode ser representado pelo fechamento da chave “S” no circuito da figura abaixo:

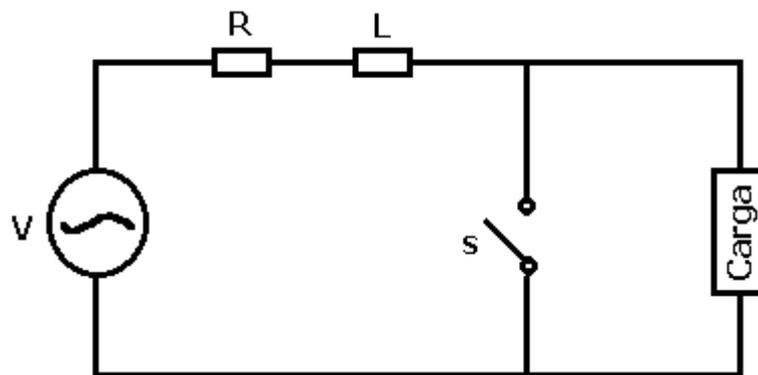


Figura 5.90 - Circuito equivalente de uma rede em curto-circuito trifásico.

Aplicando a lei de Kirchoff na figura acima, tem-se:

$$V = Ri + L \frac{di}{dt}$$

$$\sqrt{2} \cdot U_f \cdot \text{sen}(wt + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt}$$

Onde:

$U_f$  – Valor eficaz da tensão (na fase) em V.

R – Resistência do circuito (instalação) de entrada até o ponto em que ocorreu o curto-circuito em  $\Omega$ .

L – indutância do circuito (instalação) da entrada até o ponto em que ocorreu o curto-circuito em H.

A solução da equação acima é:

$$i = \frac{\sqrt{2}.Uf}{\sqrt{R^2 + X^2}} \times \text{sen}(wt + \alpha - \varphi) - \frac{\sqrt{2}.Uf}{\sqrt{R^2 + X^2}} \times \text{sen}(\alpha - \varphi) \times e^{-\frac{R}{L}t}$$

Onde:

$X = \omega L$  – reatância indutiva do circuito (instalação) da entrada até o ponto em que ocorreu o curto-circuito.

$\alpha$  – instante em que ocorreu o fechamento de “S”.

$\varphi$  – defasagem entre a tensão e a corrente.

Observando-se a equação acima, conclui-se que a corrente de curto-circuito é composta de duas parcelas, ou seja,

- Uma parcela de comportamento senoidal, dada por:

$$i_{AC} = \frac{\sqrt{2}.Uf}{\sqrt{R^2 + X^2}} \times \text{sen}(wt + \alpha - \varphi)$$

- Uma parcela de comportamento exponencial, unidirecional, dada por:

$$i_{DC} = \frac{\sqrt{2}.Uf}{\sqrt{R^2 + X^2}} \times \text{sen}(\alpha - \varphi) \times e^{-\frac{R}{L}t}$$

Nestas condições, a corrente de curto-circuito tem a forma de onda típica ilustrada na figura abaixo.

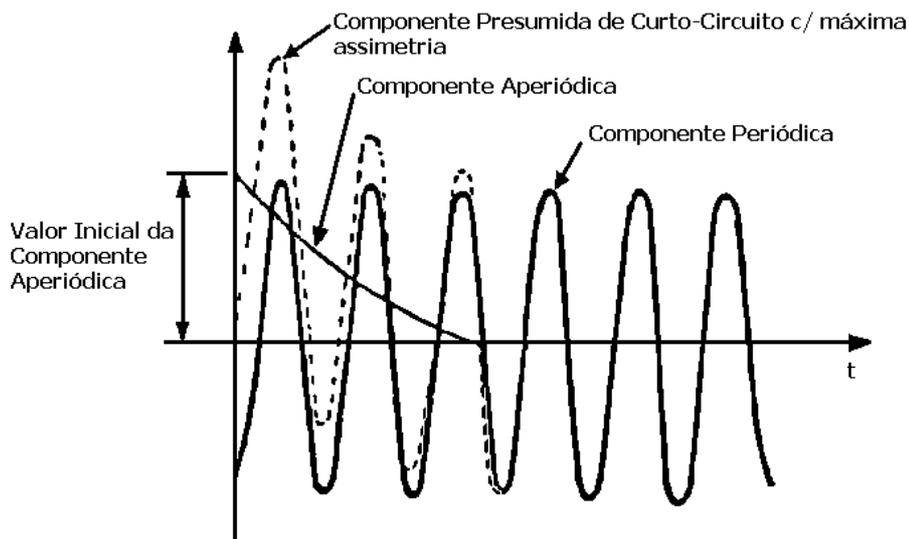


Figura 5.91 - Corrente de Curto-Circuito ( $\alpha = 90^\circ$ )

Para analisar os efeitos da corrente de curto-circuito em um equipamento, lança-se mão de um artifício, que simplifica bastante a seqüência de cálculo.

Como a componente alternada da corrente de curto-circuito tem a mesma forma de onda da tensão, seu valor pode ser obtido a partir do valor eficaz da tensão, ou seja:

$$Ik = \frac{Uf}{Z} = \frac{Ul}{\sqrt{3} \times Z}$$

Onde  $Ul$  é a tensão de linha;  $Z$  é a impedância do circuito (instalação) da entrada até o ponto em que ocorreu o curto circuito, ou ainda:

$$Z = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}$$

A circulação da corrente de curto-circuito por uma chave fechada produz solicitações térmicas e dinâmicas na chave, que dependem da intensidade da corrente.

A corrente de pico ou a corrente de curto-circuito dinâmica é o maior valor instantâneo da corrente de curto-circuito que a chave deve suportar fechada, sem que ocorram danos mecânicos.

A partir da expressão de valor eficaz da componente alternada, o maior valor instantâneo da corrente de curto-circuito pode ser determinado a partir da expressão abaixo:

$$i_p = fi \times \sqrt{2} \times Ik$$

Onde  $fi$  é o fator de impulso ou fator de assimetria, que leva em conta a influência da componente contínua.

O fator de impulso ou de assimetria, pode ser obtido a partir de dados do circuito, com auxílio da equação abaixo:

$$fi = 1,02 + 0,98e^{-3,03 \frac{R}{X}}$$

Onde:

R – resistência do circuito (instalação) da entrada até o ponto em que ocorreu o curto-circuito.

X – reatância indutiva do circuito (instalação) da entrada até o ponto em que ocorreu o curto-circuito.

O valor de  $fi$ , também, pode ser obtido a partir da curva da figura abaixo, que representa a sua equação.

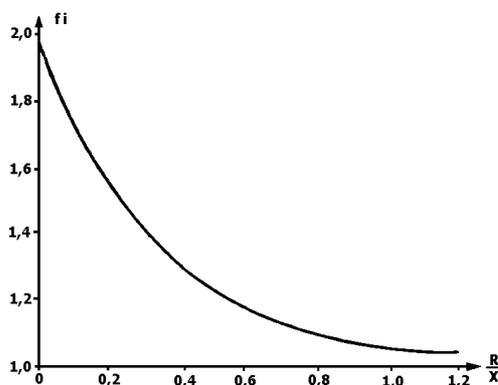


Figura 5.92

Abaixo, temos um formulário básico para cálculos de impedância de circuitos elétricos em baixa tensão.

Dispositivos	Dados	Cálculos
Entrada	Pcc = MVA Un <sub>pr</sub> = KV	$r = 0$ $Z = X = \frac{Uns^2}{Pcc \times 10^3} = \frac{V}{MVA \times 10^3} m\Omega$
Trafo	Pt = KVA Z% R% Uns	$Z = Z\% \times \frac{Uns^2}{Pt \times 100} = \frac{V}{KVA \times 100} m\Omega$ $R = R\% \times \frac{Uns^2}{Pt \times 100} = \frac{V}{KVA \times 100} m\Omega$ $X = \sqrt{Z^2 - R^2} m\Omega$
Barras	A = mm <sup>2</sup> l = m n $\rho_{cu} = 0,0178 \frac{\Omega mm^2}{m}$ $X' = 0,144 \frac{m\Omega}{m}$	$R = \rho \times \frac{l \times 10^{-3}}{n \times A} m\Omega$ $X = X' \times \frac{l}{n} m\Omega$
Cabos	A = mm <sup>2</sup> l = m n $\rho_{cu} = 0,0178 \frac{\Omega mm^2}{m}$ $X' = 0,096 \frac{m\Omega}{m}$	$R = \rho \times \frac{l \times 10^{-3}}{n \times A} m\Omega$ $X = X' \times \frac{l}{n} m\Omega$

Tabela 5.12.2.1

**Obs.:**

Pcc – Potência de curto-circuito fornecida pela concessionária em MVA.

Un<sub>pr</sub> – tensão de primário em KV.

Uns – tensão de secundário em V.

Pt – potência nominal do transformador em KVA.

Z% - impedância percentual do transformador (dados de placa).

R% - resistência percentual do transformador (dado sob consulta).

$\rho$  - coeficiente de variação da resistividade do material com a temperatura (Cu = 0,0178 e Al = 0,0278)

n – número de cabos ou barras em paralelo por fase

X' – reatância de cabos ou barras por unidade de comprimento (dado de catálogo do fabricante).

### 5.12.3 VALORES MÉDIOS DE IMPEDÂNCIA E RESISTÊNCIA DE TRANSFORMADORES

KVA	150	225	300	500	750	1000	1500
Z%	3,5	4,5	4,5	4,5	5	5	6
R%	1,4	1,3	1,2	1,1	1,6	1,5	1,5

- R% é um dado sob consulta.

Tabela 5.12.3.1

### 5.12.4 CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO PELO MÉTODO SIMPLIFICADO

Para que possamos efetuar um cálculo rápido do nível de curto-circuito de uma instalação, basta considerarmos o curto na saída do transformador (pior caso em baixa tensão), ou seja, a única impedância envolvida no sistema será a do transformador. Com isso, se substituirmos a impedância equivalente do sistema pela do trafo, teremos:

$$I_k = \frac{Uns}{\sqrt{3} \times Z}$$

Onde:

$$Z_{trafo} = \frac{(Z\%) \times (Uns)^2}{Pt \times 100}$$

Portanto:

$$I_k = \frac{Pt \times 100}{\sqrt{3} \times (Z\%) \times Uns}$$

E o valor dinâmico da corrente de curto-circuito será dada por:

$$i_p = fi \times \sqrt{2} \times I_k$$

### 5.12.5 DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS ADICIONAIS DO SISTEMA

Nos procedimentos usuais de cálculo de intensidade de curto-circuito desprezam-se determinadas grandezas devido à complexidade em obtê-las. Estas grandezas seriam as resistências de contato, impedância interna dos componentes, resistência de arco etc, e deve-se dar ao trabalho de obtê-las, somente quando o nível de curto-circuito está ligeiramente acima da capacidade de interrupção dos dispositivos de seccionamento e/ou proteção.

#### a) Impedâncias Adicionais

As impedâncias adicionais que podem ser determinadas são:

- Resistências de contato em conexão de barras

As resistências de contato em barras podem ser consideradas puramente ôhmicas. Estas são uma combinação de resistência superficial e resistência interna de difícil cálculo, já que depende da pressão de contato, da temperatura, do estado e extensão da superfície de contato, do meio ambiente, da intensidade nominal, dos parafusos e do cuidado na execução.

- **Resistência de Fusíveis NH**

A resistência de fusíveis NH pode ser considerada essencialmente ôhmica, visto que a parte indutiva pode ser desprezada. A resistência total envolve a resistência interna e as resistências de contato dos mesmos.

- **Impedância dos Disjuntores**

Levam em consideração a resistência e reatância interna dos aparelhos e as resistências de contato nos bornes.

- **Impedância dos Transformadores de Alimentação**

A influência da resistência destes, quando comparada com a impedância total do transformador é praticamente desprezível. Considera-se, portanto, apenas a reatância do transformador mais as resistências de contato nas barras.

- **Impedância dos Barramentos de Quadros de Distribuição**

Levam em consideração a resistência e a reatância da barra mais a resistência de contato na união das barras.

- **Impedância de Barramentos Blindados**

Os barramentos blindados são uma solução moderna de distribuição de energia elétrica que permite fácil remanejamento da instalação para acompanhar mudanças do “lay-out” da fábrica, sem a desenergização do sistema.

As impedâncias destes barramentos levam em consideração a resistência e a reatância do barramento mais resistência de contato dos mesmos.

## **5.12.6 GRANDEZAS PARA A ESPECIFICAÇÃO**

### **5.12.6.1 CORRENTE NOMINAL**

O primeiro item a ser verificado para o dimensionamento é a corrente nominal. A corrente nominal que passará pelo disjuntor, neste caso, é a corrente do circuito principal.

### **5.12.6.2 TENSÃO NOMINAL**

Valor eficaz da tensão pelo qual um equipamento é designado e ao qual são referidos outros valores nominais.

### **5.12.6.3 VALOR EFICAZ DA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO $I_k$**

Levando-se a corrente nominal e a tensão nominal do circuito em consideração, escolhe-se o disjuntor. Uma vez definido o disjuntor, verificar-se se este suporta termicamente o valor eficaz da corrente de curto-circuito. Para que isso ocorra, deve-se ter:

$$I_{cu} \geq I_{k_{\text{instalação}}}$$

Pode-se dizer, então, que o disjuntor deve ter uma capacidade de interrupção maior que o valor eficaz da corrente de curto-circuito da instalação.

**5.13 EXERCÍCIO DE APLICAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO DE NÍVEL DE CURTO-CIRCUITO.**

1. Determinar o nível de curto-circuito nos pontos 1, 2 e 3 da instalação abaixo:

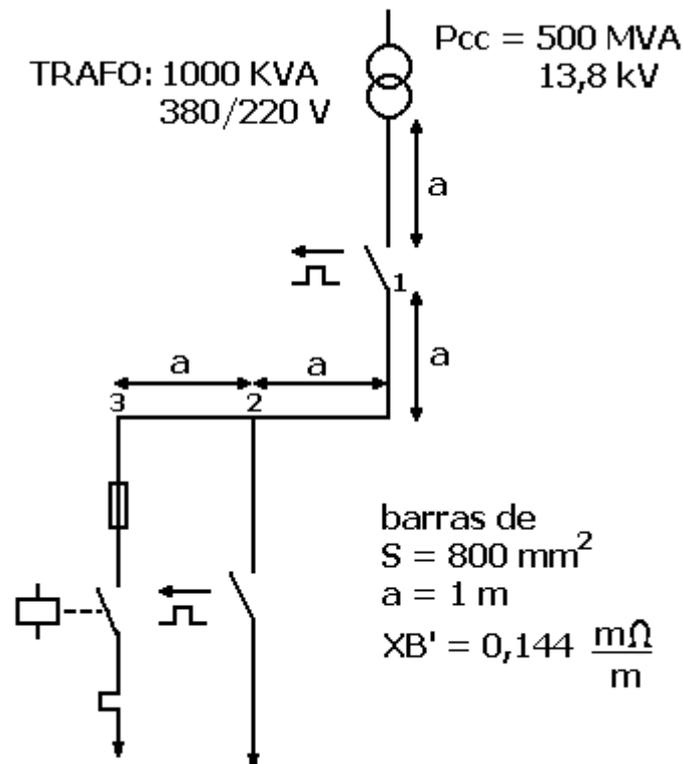


Figura 5.93

a) Cálculo da impedância de entrada:

$$R_e = 0$$

$$Z_e = X_e = \frac{U_{ns}^2}{P_{cc} \times 10^3} = \frac{380^2}{500 \times 10^3} = 0,29 \text{ m}\Omega$$

b) Cálculo da resistência, reatância e impedância do trafo:

$$Z_t = \frac{Z\% \times U_{ns}^2}{P_t \times 100} = \frac{5 \times 380^2}{1000 \times 100} = 7,22 \text{ m}\Omega$$

$$R_t = \frac{R\% \times U_{ns}^2}{P_t \times 100} = \frac{1,5 \times 380^2}{1000 \times 100} = 2,16 \text{ m}\Omega$$

$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} = \sqrt{(7,22)^2 - (2,16)^2} = 6,89 m\Omega$$

c) Cálculo da impedância das barras.

$$R_B = \rho \times \frac{l \times 10^3}{n \times A} = 0,0178 \times \frac{1 \times 10^3}{1 \times 800} = 0,022 m\Omega$$

$$X_B = X' \times \frac{l}{n} = \frac{0,144 \times 1}{1} = 0,144 m\Omega$$

$$Z_B = \sqrt{(R_B)^2 + (X_B)^2} = \sqrt{(0,022)^2 + (0,144)^2} = 0,145 m\Omega$$

d) Cálculo do nível de curto-circuito no ponto 1.

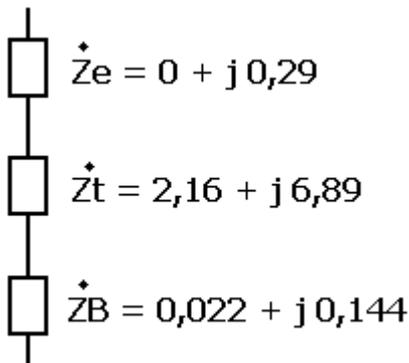


Figura 5.94

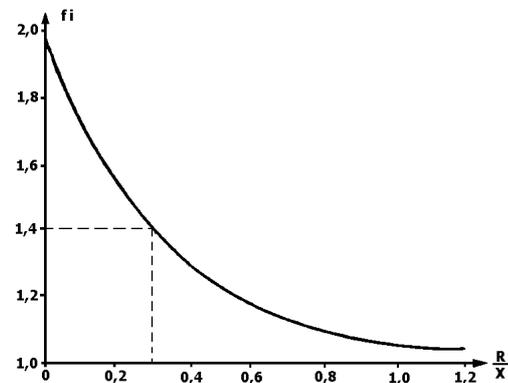


Figura 5.95

$$\overset{o}{Z}1 = (0 + 2,16 + 0,022) + j(0,29 + 6,89 + 0,144)$$

$$Z1 = \sqrt{(2,18)^2 + (7,32)^2} = 7,64 m\Omega$$

$$I_k = \frac{Uns}{\sqrt{3} \times Z1} = \frac{380}{\sqrt{3} \times 7,64 \times 10^{-3}} = 28,72 KA$$

$$\frac{R}{X} = \frac{2,18}{7,32} = 0,3$$

$$i_p = fi \times \sqrt{2} \times I_k$$

$$i_p = 1,4 \times \sqrt{2} \times 28,72 = 56,9 KA$$

e) Cálculo do nível de curto-circuito no ponto 2.

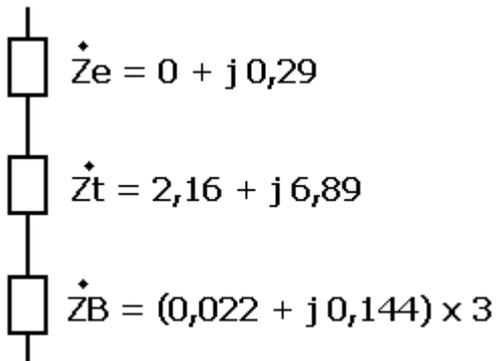


Figura 5.96

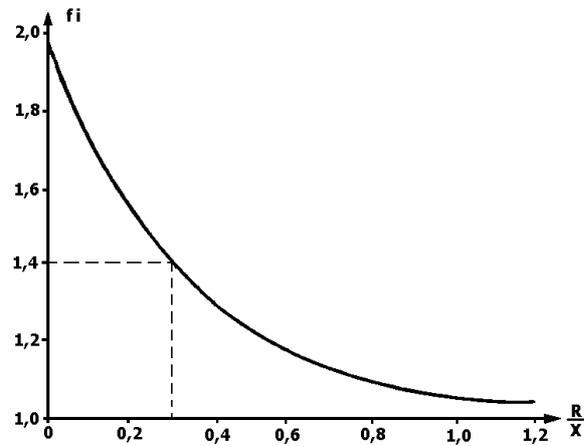


Figura 5.97

$$\overset{\circ}{Z} 2 = (0 + 2,16 + 0,066) + j(0,29 + 6,89 + 0,43)$$

$$\overset{\circ}{Z} 2 = (2,23) + j(7,61)$$

$$Z2 = \sqrt{(2,23)^2 + (7,61)^2} = 7,93 m\Omega$$

$$Ik = \frac{Uns}{\sqrt{3} \times Z2} = \frac{380}{\sqrt{3} \times 7,93 \times 10^{-3}} = 27,66 KA$$

$$\frac{R}{X} = \frac{2,23}{7,61} = 0,3$$

$$i_p = fi \times \sqrt{2} \times Ik$$

$$i_p = 1,4 \times \sqrt{2} \times 27,66 = 54,76 KA$$

f) Cálculo do nível de curto-circuito no ponto 3.

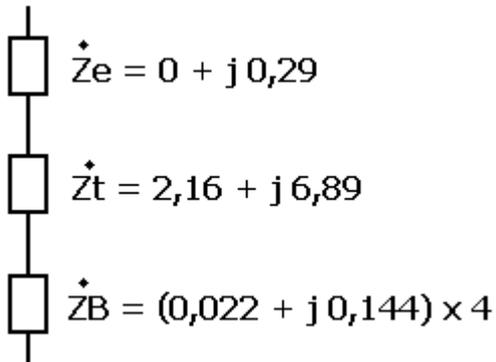


Figura 5.98

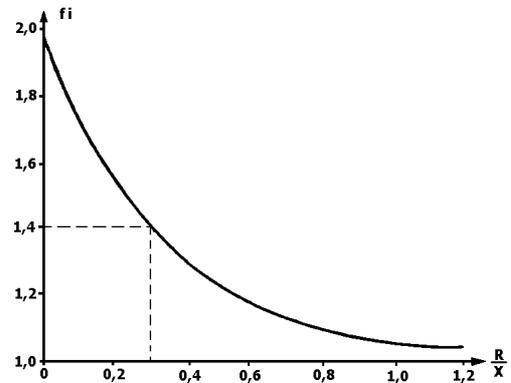


Figura 5.99

$$\overset{\circ}{Z} 2 = (0 + 2,16 + 0,088) + j(0,29 + 6,89 + 0,58)$$

$$\overset{\circ}{Z} 2 = (2,25) + j(7,96)$$

$$Z2 = \sqrt{(2,25)^2 + (7,96)^2} = 8,27 m\Omega$$

$$I_k = \frac{Uns}{\sqrt{3} \times Z2} = \frac{380}{\sqrt{3} \times 8,27 \times 10^{-3}} = 26,53 KA$$

$$\frac{R}{X} = \frac{2,25}{7,96} = 0,3$$

$$i_p = fi \times \sqrt{2} \times I_k$$

$$i_p = 1,4 \times \sqrt{2} \times 26,53 = 52,53 KA$$

2. Determinar o nível de curto-circuito da instalação baixo através do método simplificado.

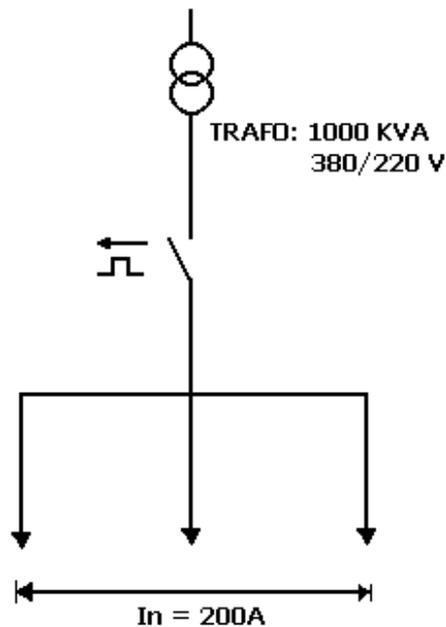


Figura 5.100

Através da tabela de valores médios de impedâncias e resistências de transformadores, temos:

$$\begin{aligned} Z\% &= 5 \\ R\% &= 1,5 \end{aligned}$$

Cálculo do nível de curto-circuito no secundário do transformador:

$$Ik = \frac{Pt \times 100}{\sqrt{3} \times Uns \times Z\%}$$

$$Ik = \frac{1000 \times 10^3 \times 100}{\sqrt{3} \times 380 \times 5} = 30,4 \text{ KA}$$

$$Z^2 = X^2 + R^2$$

logo,  $X = 4,77$ . Portanto:

$$\frac{R\%}{X\%} = \frac{1,5}{4,77} = 0,31$$

$$i_p = fi \times \sqrt{2} \times Ik$$

$$i_p = 1,4 \times \sqrt{2} \times 30,4 = 60,18 \text{ KA}$$

## 5.14 LINHA DE DISJUNTORES EM CAIXA MOLDADA WEG

### 5.14.1 CARACTERÍSTICAS:

- Duas versões de capacidade de interrupção:
  - ✓ DW...N (normal);
  - ✓ DW...H (alta capacidade)
- Ampla linha de acessórios atendendo as mais variadas aplicações.
- Compactos até 160A;
- Disparadores térmicos e magnéticos ajustáveis, a partir do modelo DWA400;
- Versões específicas para a proteção de:
  - ✓ Linha DWA – Proteção de circuitos elétricos e transformadores,
  - ✓ Linha DWM – Proteção de motores;
  - ✓ Linha DWG – Proteção de geradores.

Os disjuntores em caixa moldada WEG são divididos em 6 diferentes tamanhos, atendendo a correntes de 10A até 1600<sup>a</sup>, capacidade de interrupção de curto-circuito até 80 kA (380/415 V)

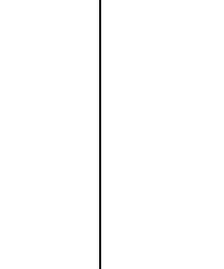
					
DWA 160				DW 161	
					
DW 400	DWA 630	DWA 800	DWA 1250	DWA 1600	

Tabela 5.14.1

### 5.14.2 ETIQUETA DE IDENTIFICAÇÃO:

Na etiqueta de identificação podemos observar as várias informações relevantes dos disjuntores WEG, como por exemplo:

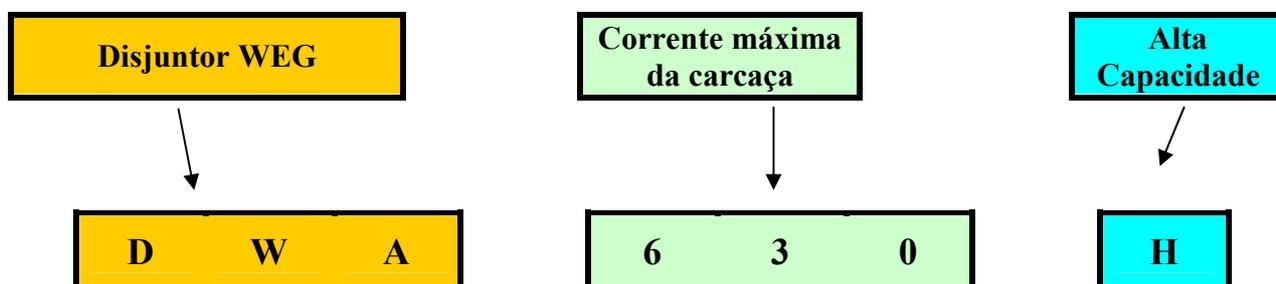
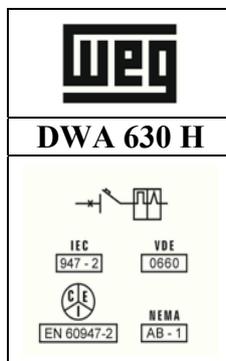


Figura 5.101

Demais informações da etiqueta:

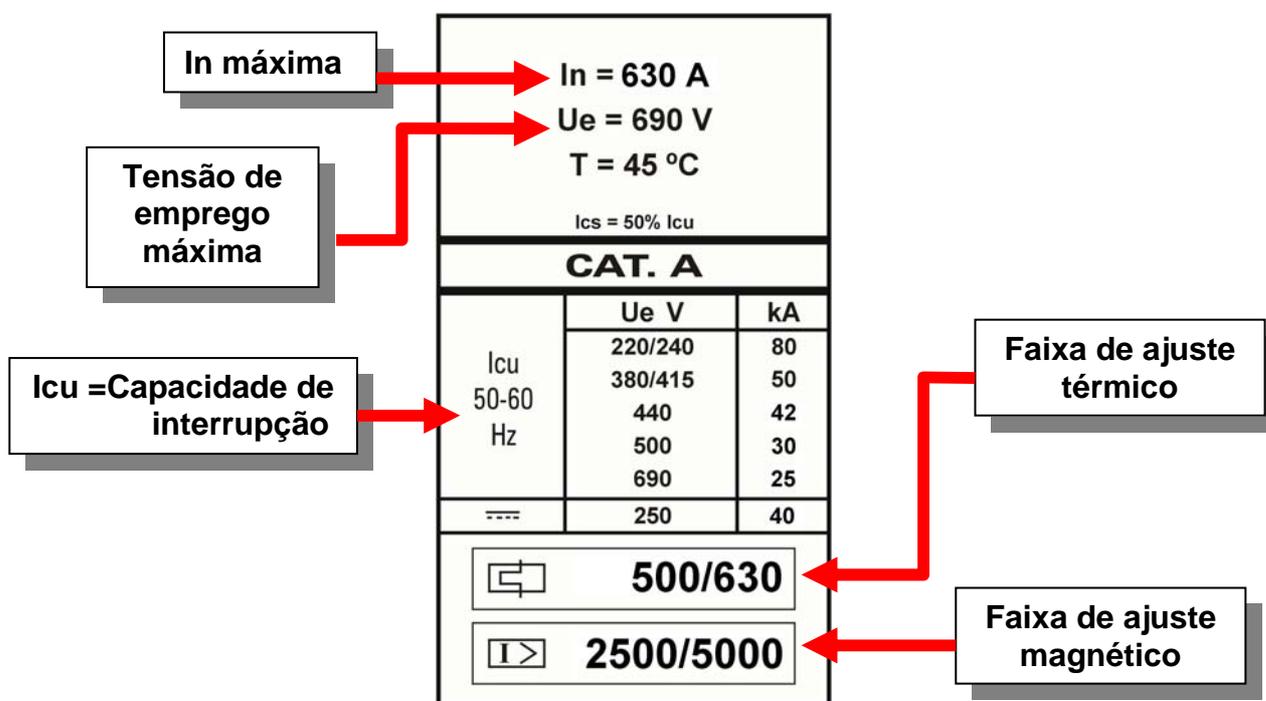


Figura 5.102

### 5.14.3 DADOS COMPLEMENTARES PARA A SELEÇÃO DE DISJUNTORES:

✓ *Disparadores Térmicos (proteção contra sobrecargas):*

- **FIXOS** : Normalmente até 160A.
- **AJUSTÁVEIS**: Opção existente normalmente acima de 160A, com as seguintes vantagens :
  - Proteção pode ser ajustada ao valor exato da carga a ser protegida;
  - Menor número de itens de estoque (um mesmo disjuntor cobre toda faixa de correntes nominais de 500 até 630A, por exemplo).

In = 630 A Ue = 690 V T = 45 °C Ics = 50% Icu		
<b>CAT. A</b>		
	Ue V	kA
Icu 50-60	220/240	80
	380/415	50
Hz	440	42
	500	30
	690	25
----	250	40
<div style="border: 2px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">  <b>500/630</b> </div>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">  <b>2500/5000</b> </div>		

Figura 5.103

✓ *Disparadores Magnéticos (proteção contra curto-circuitos):*

- **FIXOS**: Normalmente até 160A.
- **AJUSTÁVEIS**: Opção existente normalmente acima de 160A, possibilitando a vantagem de ajuste em função da carga a ser protegida e da corrente de partida do sistema.

In = 630 A Ue = 690 V T = 45 °C Ics = 50% Icu		
<b>CAT. A</b>		
	Ue V	kA
Icu 50-60	220/240	80
	380/415	50
Hz	440	42
	500	30
	690	25
----	250	40
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">  <b>500/630</b> </div>		
<div style="border: 2px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">  <b>2500/5000</b> </div>		

Figura 5.104

**Observação:** os disparadores térmicos e magnéticos são fornecidos ajustáveis como padrão em todas as linhas WEG a partir do modelo DWA 400



Figura 5.105

#### 5.14.4 FUNÇÕES ADICIONAIS DA LINHA WEG:

##### ✓ *Teste*

Permite ao operador a simulação de disparo do disjuntor, certificando-se que seu mecanismo está apto a atuar em caso de sobrecarga ou curto-circuito.



Figura 5.106

##### ✓ *Posição de Disparo da Manopla*

Permite ao operador visualizar se o disjuntor foi “desligado” manualmente ou “disparado” por sobrecarga ou curto-circuito.



Figura 5.107

#### 5.14.5 ACESSÓRIOS

##### ✓ *Internos*

- Acessórios internos são montados pelo frontal do disjuntor, retirando-se sua tampa;
- São fornecidos avulsos ou montados no disjuntor.

### Bobinas

Disparo por Subtensão



Figura 5.108

Disparo a Distância



Figura 5.109

### Contatos Auxiliares

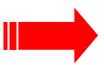
Normais



Sinalizam a posição aberto e fechado dos contatos principais do disjuntor.



De Alarme



Sinalizam quando o disjuntor é disparado por sobrecarga ou curto-circuito.



Tabela 5.14.5.1

✓ Externos

### Acionamento Motorizado

✓ Permite que o disjuntor seja ligado, desligado ou “reset” à distância.

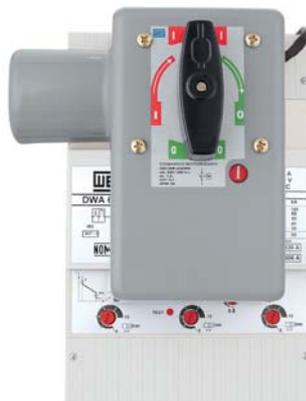


Figura 5.110

### ***Intertravamento Mecânico***

- ✓ Impede que os dois disjuntores sejam ligados ao mesmo tempo. (exemplo de aplicação: grupos geradores.)

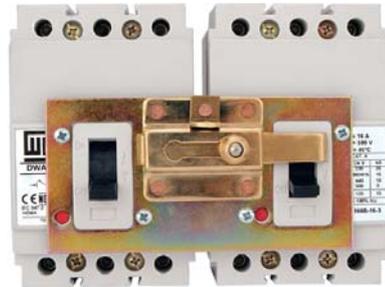


Figura 5.111

### ***Manopla Para Acionamento Rotativo em Porta de Painel***

- ✓ Permite o acionamento do disjuntor na porta do painel, sem que esta seja aberta;
- ✓ Possui eixo prolongador permitindo a montagem do disjuntor em diferentes profundidades;
- ✓ Pode ser bloqueada com cadeado na posição desligado, proporcionando segurança em manutenções;
- ✓ Grau de proteção IP 55.



Figura 5.112

### ***Prensa Cabos***

- ✓ Facilita a conexão direta de cabos no disjuntor;



Figura 5.113

### ***Conexão Traseira***

- ✓ Permite que toda fiação possa ser realizada pela parte traseira da placa de montagem do painel;
- ✓ Fornecido montado ao disjuntor. (Especificar na encomenda).



Figura 5.114

### ***Moldura para Acionamento em Porta de Painel***

- ✓ Possibilita o perfeito acabamento da abertura realizada na porta do painel, para acesso a alavanca do disjuntor.



Figura 5.115

### ***Base para Fixação Rápida***

- ✓ Permite a fixação rápida do disjuntor DW A 160 em trilho de 35mm.

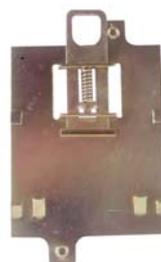


Figura 5.116

### ***Execução Extraível ou Plug-in***

- ✓ Torna o disjuntor extraível, agilizando sua retirada do painel;
- ✓ Fornecido montado ao disjuntor. (Especificar na encomenda.)

#### 5.14.6 DISJUNTORES PARA A PROTEÇÃO DE CIRCUITOS DE MOTORES (DWM)

- ✓ Proteção contra curto-circuitos específica para circuitos de motores;
- ✓ Disparo magnético:
  - Fixo e calibrado em aproximadamente  $12 \times I_n$  para correntes nominais até 150A;
  - Ajustável entre aproximadamente  $7$  a  $15 \times I_n$  para correntes nominais superiores a 150A;
  - Alta capacidade de interrupção (DW...H - M);
  - Proteção contra sobrecargas do motor, realizada por **relé térmico independente**.

#### 5.14.7 DISJUNTORES PARA A PROTEÇÃO DE GERADORES (DWG)

- ✓ Disparador magnético calibrado para atuar entre  $3$  a  $5 \times I_n$ , assegurando proteção integral ao gerador;
- ✓ Providos de disparadores térmicos para proteção contra sobrecargas;
- ✓ Acessórios e demais características conforme linha DW.

#### 5.14.8 CHAVE DE TRANSFERÊNCIA MOTORIZADA - CTM

- ✓ Proteção integral do circuito de distribuição e do grupo gerador;
- ✓ Composta por 2 disjuntores DW motorizados, intertravados mecânica e eletricamente.



Figura 5.117

#### 5.14.9 INTERRUPTORES - IWA

- ✓ Correntes nominais de 100 a 1600A;
- ✓ Corrente nominal = corrente de serviço na categoria de emprego AC-23, conforme IEC 60947-3.

$$I_n = I_e \text{ (AC-23)}$$



Figura 5.118

### 5.15 CODIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE DISJUNTORES EM CAIXA MOLDADA

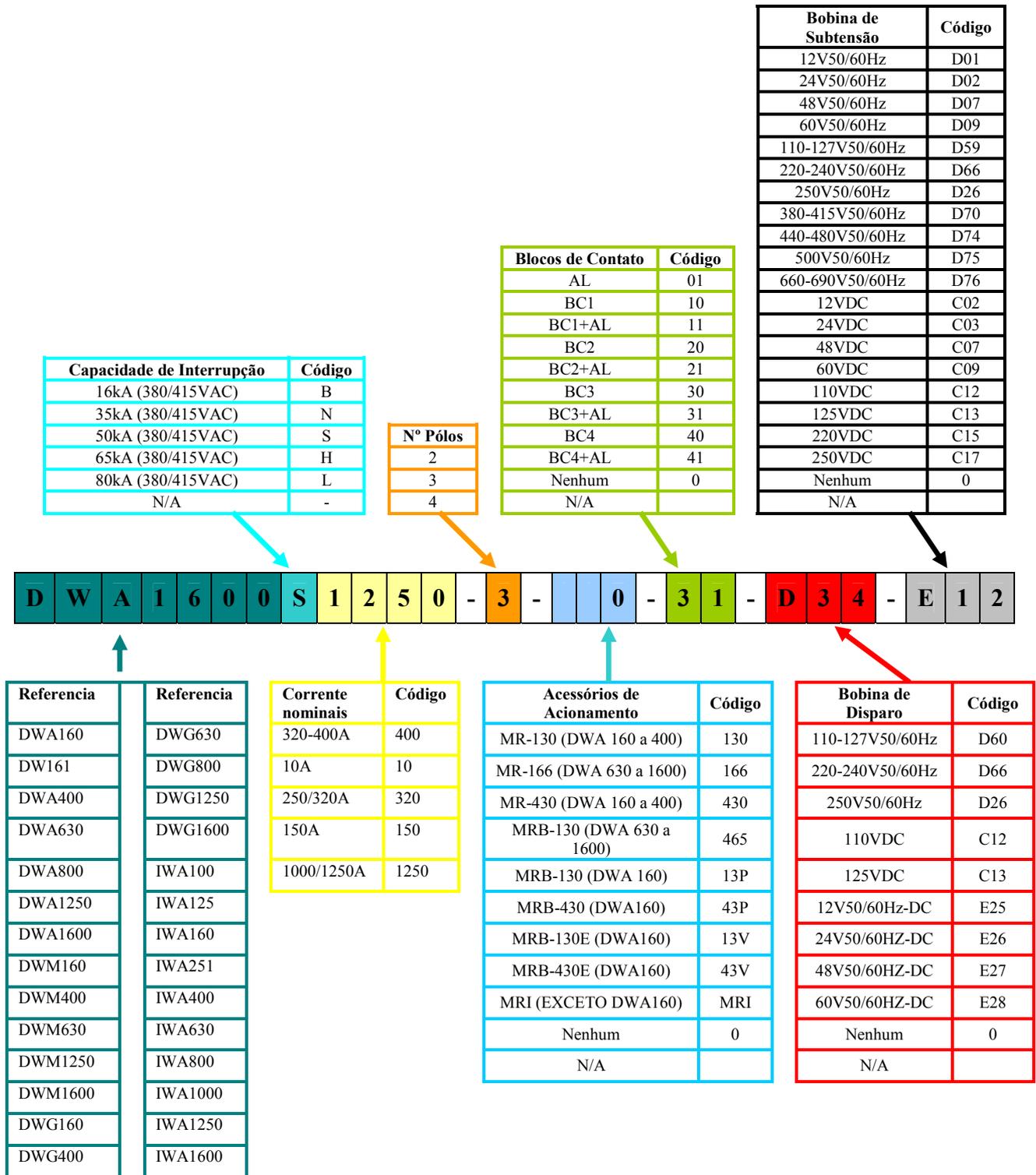


Figura 5.119

### 5.16 EXEMPLO DE SELEÇÃO

De acordo com os dados abaixo, calcular o disjuntor necessário para a proteção do circuito de entrada. Considere:

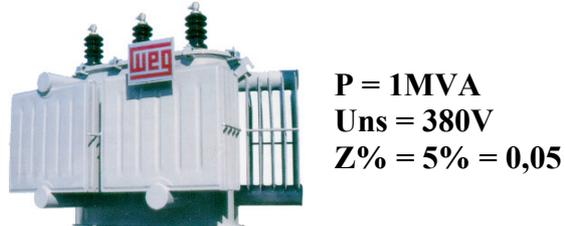


Figura 5.120

Corrente nominal:

$$I_{ns} = \frac{Pt}{\sqrt{3} \times U_{ns}}$$

$$I_{ns} = \frac{1 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 380}$$

$$I_{ns} = 1519,34 A$$

Nível de curto circuito (cálculo simplificado):

$$I_k = \frac{Pt}{\sqrt{3} \times U_{ns} \times Z\%}$$

$$I_k = \frac{1 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,05}$$

$$I_k \cong 30 kA$$

De posse destes resultados, olha-se no catálogo o disjuntor correspondente:

**Disjuntores em Caixa Moldada**  
**Tabela de escolha**



Modelos Tripolares			DWA 1250		DWA 1600	
Tensão Nominal	Un	Vca	690	690	690	690
		Vcc	250	250	250	250
Corrente permanente	Iu (45°)	A	1250	1250	1600	1600
Disparadores			Térmico e Magnético Ajustáveis			
Correntes nominais (térmico fixo) ou faixas de ajuste dos disparadores (térmico ajustáveis)		A	630/800 800/1000 1000/1250		1250 / 1600	
Faixa de ajuste dos disparadores magnéticos		(x In)	4 – 8 x In	4 – 8 x In	4 – 8 x In	4 – 8 x In
Frequência nominal		Hz	50/60	50/60	50/60	50/60
Capacidade de interrupção de curto-circuito máxima	Icu(kA)		S	H	S	H
		220/240 Vca	80	100	80	100
		380/415 Vca	50	65	50	65
		440 Vca	50	65	50	65
		500 Vca	40	50	40	50
		660/690 Vca	30	35	30	35

Tabela 5.16.1

Logo, a especificação do disjuntor escolhido será:



**DWA 1600S – 1600 – 3**

**In = 1250 .... 1600A**

**Icu = 50 kA**

Tabela 5.16.2

### 5.16.1 NÍVEL DE CURTO-CIRCUITO DA INSTALAÇÃO

A potência máxima que a rede pode conduzir quando a resistência é mínima é o que define seu nível de curto-circuito.

O valor do nível de curto-circuito da instalação decresce a medida que o painel se afasta do transformador (maior impedância  $Z$  envolvida), como por exemplo:

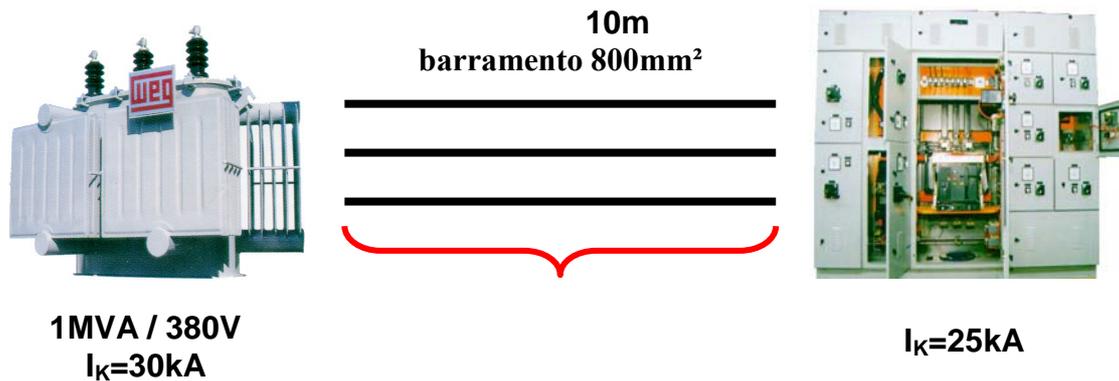


Figura 5.121

Portanto, é uma característica muito importante no momento do dimensionamento do disjuntor.

### 5.17 DISJUNTOR-MOTOR MPW 25



Figura 5 122

O disjuntor-motor MPW25 é uma solução compacta para proteção do circuito elétrico e partida/proteção de motores até 20cv, 380 V/440 V.

Possui alta capacidade de interrupção, permitindo sua utilização mesmo em instalações com elevado nível de corrente de curto-circuito. Assegura total proteção ao circuito elétrico e ao motor através de seus disparadores térmico (ajustável para proteção contra sobrecargas e dotado de mecanismo diferencial com sensibilidade a faltas de fase) e magnético (calibrado em  $12 \times I_n$  para proteção contra curtos-circuitos).

Seu acionamento é rotativo e possui indicação de disparo (TRIP), permitindo ao operador a visualização do desligamento manual do disjuntor ou de seu disparo via mecanismo de proteção. A manopla de acionamento pode ser bloqueada com cadeado ou similar na posição “desligado”, garantindo assim segurança em manutenções.

#### 5.17.1 TABELA DE SELEÇÃO

Modelo MPW 25	Faixa de ajuste de corrente	Disparo Magnético Instantâneo	Motores (4 pólos)			Referência Código	Peso (kg)
			220 V	380 V	440 V		
	0,10...0,16 A	1,9 A				MPW25-0,16	0,351
	0,16...0,25 A	3,0 A				MPW25-0,25	0,351
	0,25...0,40 A	4,8 A				MPW25-0,40	0,350
	0,40...0,63 A	7,5 A		0,16 cv 0,12 kW	0,16 / 0,25 cv 0,12 / 0,18 kW	MPW25-0,63	0,354
	0,63...1,0 A	12 A	0,16 cv 0,12 kW	0,25 / 0,33 cv 0,18 / 0,25 kW	0,33 cv 0,25 kW	MPW25-1,0	0,352
	1,0...1,6 A	19 A	0,25 / 0,33 cv 0,18 / 0,25 kW	0,50 cv 0,37 kW	0,50...1,0 cv 0,37...0,75 kW	MPW25-1,6	0,351
	1,6...2,5 A	30 A	0,50 cv 0,37 kW	0,75 / 1,0 cv 0,55 / 0,75 kW	1,5 cv 1,1 kW	MPW25-2,5	0,350
	2,5...4,0 A	48 A	0,75 / 1,0 cv 0,55 / 0,75 kW	1,5 / 2,0 cv 1,1 / 1,5 kW	2,0 cv 1,5 kW	MPW25-4,0	0,314
	4,0...6,3 A	75 A	1,5 / 2,0 cv 1,1 / 1,5 kW	3,0 cv 2,2 kW	3,0 / 4,0 cv 2,2 / 3,0 kW	MPW25-6,3	0,357
	6,3...10 A	120 A	3,0 cv 2,2 kW	4,0...6,0 cv 3,0...4,5 kW	5,0 / 6,0 cv 3,7 / 4,5 kW	MPW25-10	0,354
	10...16 A	190 A	4,0 / 5,0 cv 3,0 / 3,7 kW	7,5 / 10 cv 5,5 / 7,5 kW	7,5 / 10 cv 5,5 / 7,5 kW	MPW25-16	0,363
	16...20 A	240 A	6,0 cv 4,5 kW	12,5 cv 9,2 kW	12,5 cv 9,2 kW	MPW25-20	0,362
	20...25 A	300 A	7,5 cv 5,5 kW	15 cv 11 kW	15 cv 11 kW	MPW25-25	0,360
	25...32 A	384 A	10 cv 7,5 kW	20 cv 15 kW	20 cv 15 kW	MPW25-32	0,360

Modelo MPW 25i	Faixa de ajuste de corrente	Disparo Magnético Instantâneo	Motores (4 pólos)			Referência Código	Peso (kg)
			220 V	380 V	440 V		
	0,16 A	1,9 A				MPW25i-0,16	0,351
	0,25 A	3,0 A				MPW25i -0,25	0,351
	0,40 A	4,8 A				MPW25i -0,40	0,350
	0,63 A	7,5 A		0,16 cv 0,12 kW	0,16 / 0,25 cv 0,12 / 0,18 kW	MPW25i -0,63	0,354
	1,0 A	12 A	0,16 cv 0,12 kW	0,25 / 0,33 cv 0,18 / 0,25kW	0,33 cv 0,25 kW	MPW25i -1,0	0,352
	1,6 A	19 A	0,25 / 0,33 cv 0,18 / 0,25 kW	0,50 cv 0,37 kW	0,50...1,0 cv 0,37...0,75 kW	MPW25i -1,6	0,351
	2,5 A	30 A	0,50 cv 0,37 kW	0,75 / 1,0 cv 0,55 / 0,75kW	1,5 cv 1,1 kW	MPW25i -2,5	0,350
	4,0 A	48 A	0,75 / 1,0 cv 0,55 / 0,75 kW	1,5 / 2,0 cv 1,1 / 1,5kW	2,0 cv 1,5 kW	MPW25i -4,0	0,314
	6,3 A	75 A	1,5 / 2,0 cv 1,1 / 1,5 kW	3,0 cv 2,2 kW	3,0 / 4,0 cv 2,2 / 3,0 kW	MPW25i -6,3	0,357
	10 A	120 A	3,0 cv 2,2 kW	4,0...6,0 cv 3,0...4,5 kW	5,0 / 6,0 cv 3,7 / 4,5 kW	MPW25i -10	0,354
	16 A	190 A	4,0 / 5,0 cv 3,0 / 3,7 kW	7,5 / 10 cv 5,5 / 7,5 kW	7,5 / 10 cv 5,5 / 7,5 kW	MPW25i -16	0,363
	20 A	240 A	6,0 cv 4,5 kW	12,5 cv 9,2 kW	12,5 cv 9,2 kW	MPW25i -20	0,362
	25 A	300 A	7,5 cv 5,5 kW	15 cv 11 kW	15 cv 11 kW	MPW25i -25	0,360
	32 A	384 A	10 cv 10,5 kW	20 cv 15 kW	20 cv 15 kW	MPW25i -32	0,360

**Tabela 5.17.1.1**

### 5.17.2 CODIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE DISJUNTORES

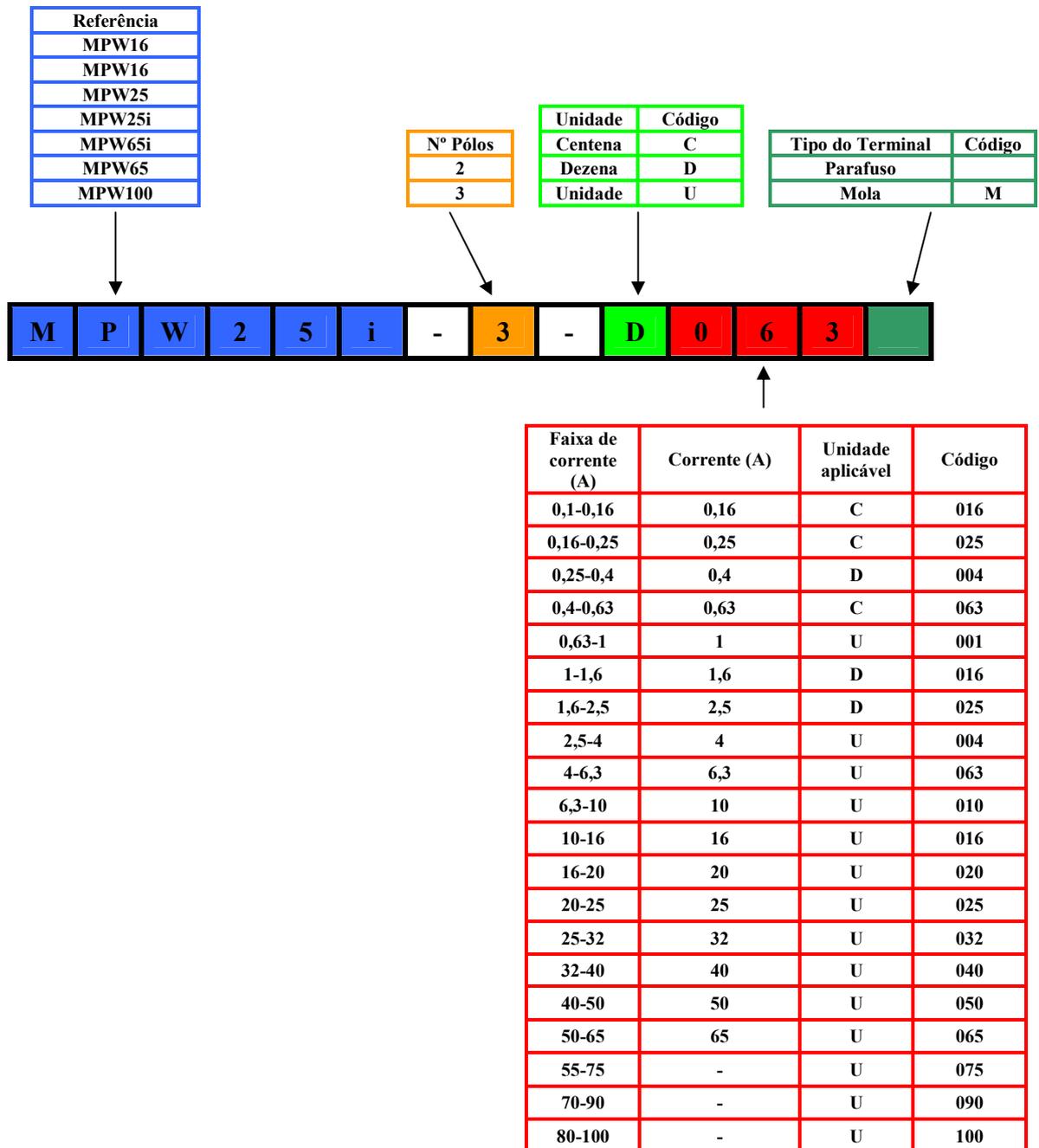
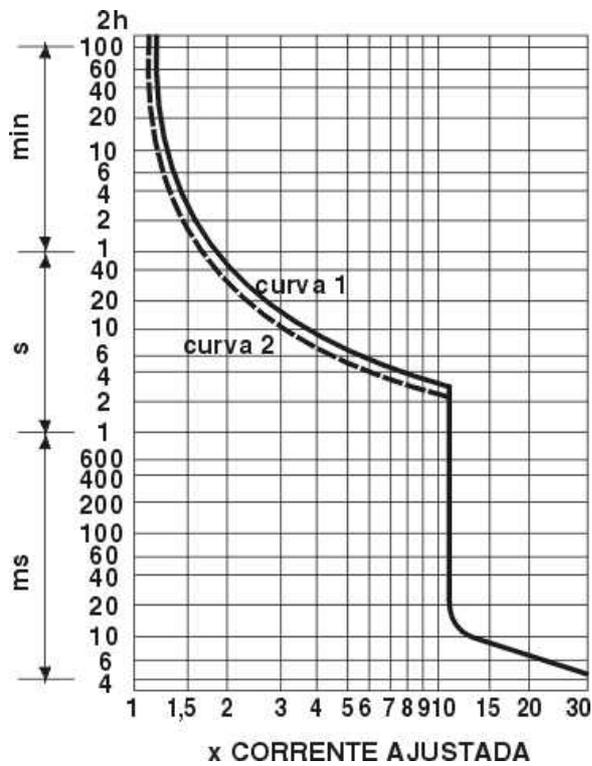
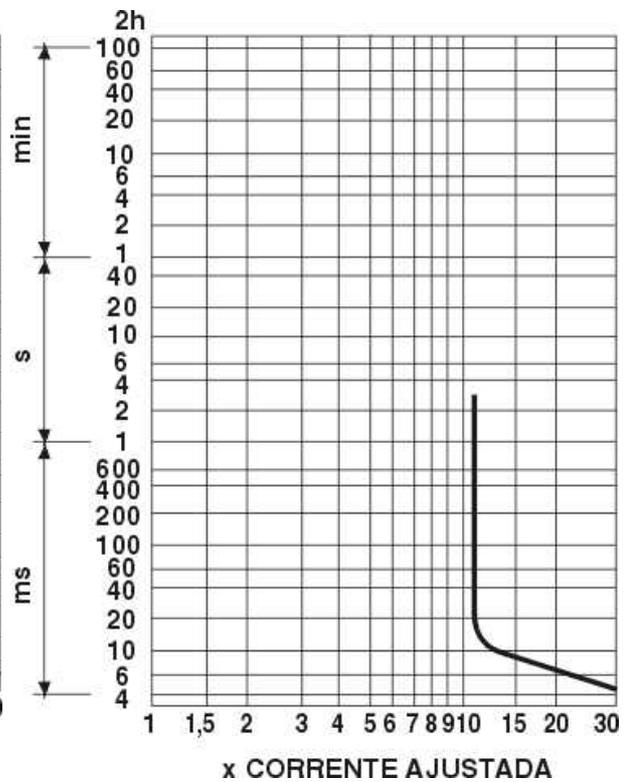


Figura 5.123

### 5.17.3 CURVAS DE DISPARO



Curva do MPW25



Curva do MPW25i

Figura 5.124

### 5.17.4 POSIÇÃO DE MONTAGEM

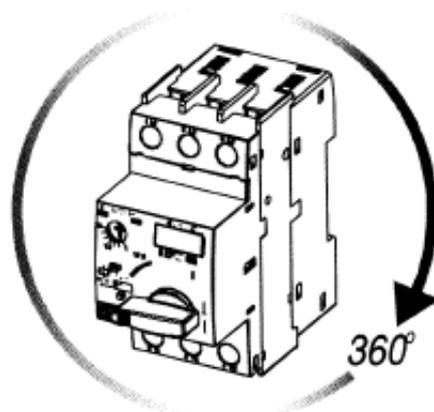


Figura 5.125

### 5.17.5 ACESSÓRIOS

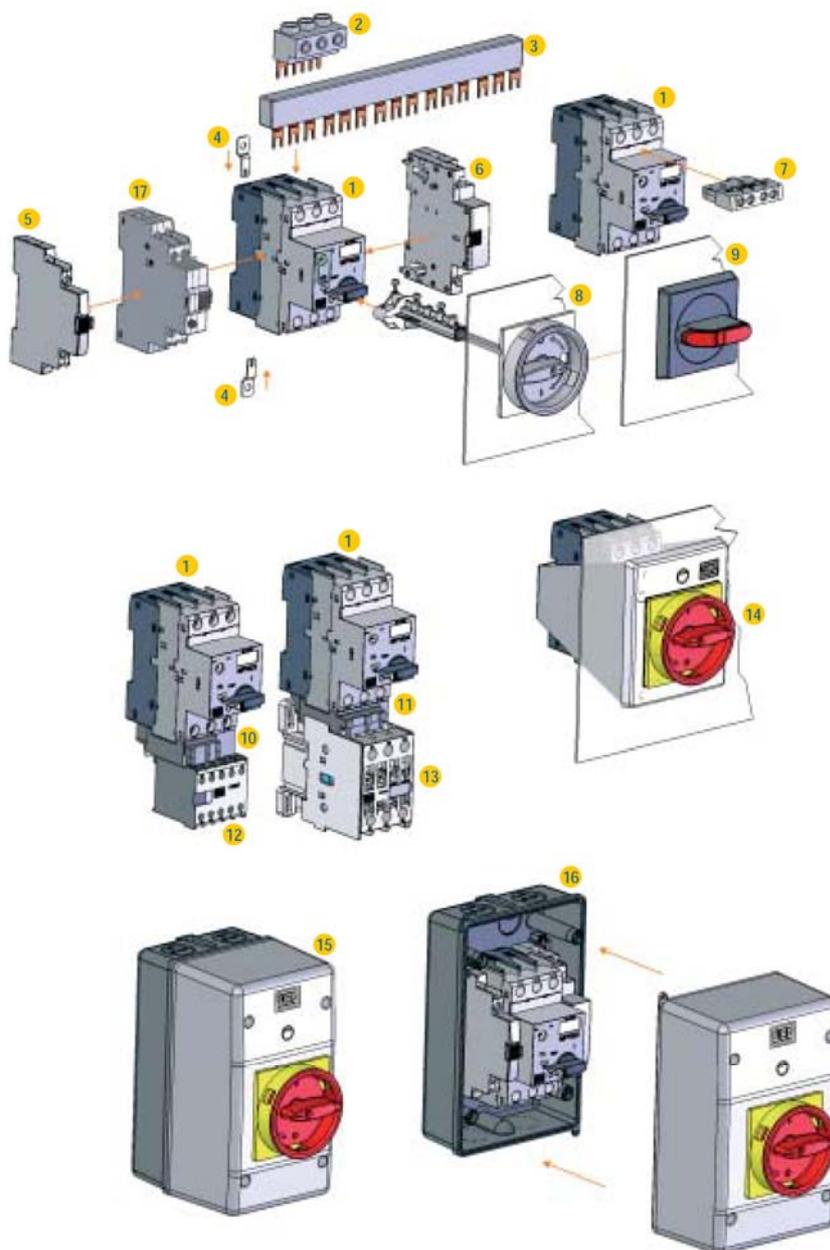


Figura 5.126

1	Disjuntor-motor (MPW 25)	10	Conector Disjuntor-motor MPW25/Contator CW07 (ECCMP-07)
2	Conector Trifásico (FTBBS)	11	Conector Disjuntor-motor MPW25/Contator CWM9...25 (ECCMP-25)
3	Barra de Distribuição (BBS)	12	Minicontator (CW07)
4	Adaptador para Fixação por parafusos (PLMP)	13	Contator (CWM9...25)
5	Bloco de Contatos Auxiliares Lateral (ACBS)	14	Placa Frontal (FME55)
6	Bobina de Subtensão (URMP) ou Bobina de Disparo à Distância (SRMP)	15	Caixa de Sobrepor (PE55)
7	Bloco de Contatos Auxiliares Frontal (ACBF)	16	Caixa de Sobrepor (LPE55)
8	Manopla Rotativa para Porta de Painel (RMMP)	17	Bloco de Alarme (TSB)
9	Manopla Rotativa para Porta de Painel (MR MPW25)		

Tabela 5.17.5.1

*Blocos de contatos*



Figura 5.127

*Caixa de sobrepôr*



Figura 5.128

*Conector disjuntor-motor/contator*



Figura 5.129

*Manopla rotativa para porta de painel*



Figura 5.130

*Barras de Distribuição*



Figura 5.131

### 5.18 LINHA DE MINIDISJUNTORES - MINIDISJUNTORES MDW



Figura 5.132

#### 5.18.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O Minidisjuntor termomagnético MDW foi desenvolvido para proteção de instalações elétricas contra sobrecarga e curto-circuito. Pode ser utilizado também para a proteção de equipamentos elétricos desde que sejam respeitados os seus dados técnicos (corrente nominal, capacidade de interrupção de curto-circuito, curva de disparo, etc.). Com correntes que variam de 2 a 70A, o MDW pode ser monopolar, bipolar, tripolar e tetrapolar.

Possui mecanismo de “disparo livre”, garantindo a atuação do minidisjuntor mesmo com a alavanca de acionamento travada na posição “ligado”. É composto também por contatos especiais de prata que garantem a segurança contra solda produzida por arco elétrico; câmara de extinção de arco que absorve a energia do arco elétrico; disparadores térmicos e magnéticos para proteção contra sobrecarga e curto-circuito, respectivamente; bornes de conexão que permitem a conexão de condutores com diâmetros diferentes, etc.

#### 5.18.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE DISPARO

O Minidisjuntor MDW atende as curvas características de disparo B e C, conforme a Norma IEC 60898, podendo ser utilizado nas mais variadas aplicações.

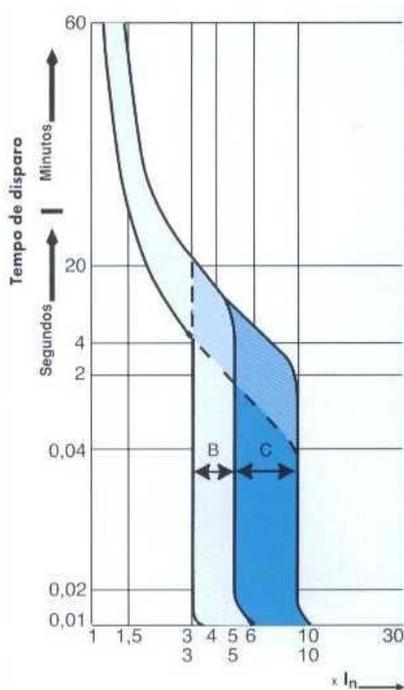


Figura 5.133

### CURVA B

O minidisjuntor de curva B tem como característica principal o disparo instantâneo para correntes de 3 a 5 vezes a corrente nominal. Sendo assim, são aplicados principalmente na proteção de circuitos com características resistivas. Ex: Lâmpadas incandescentes, chuveiros, aquecedores elétricos, etc.

### CURVA C

O minidisjuntor de curva C tem como característica o disparo instantâneo para correntes de 5 a 10 vezes a corrente nominal. Sendo assim, são aplicados para a proteção de circuitos com instalação de cargas indutivas. Ex: Lâmpadas fluorescentes, geladeiras, máquinas de lavar, motores, etc.

#### 5.18.2.1 COORDENAÇÃO DE PROTEÇÃO

Para obter-se uma seleção adequada do minidisjuntor, sua corrente nominal deve ser menor ou igual à corrente máxima admitida pelo condutor da instalação a ser protegida (consultar valores fornecidos pelos fabricantes de condutores).

#### 5.18.3 TABELA DE SELEÇÃO

In (A)	Monopolar		Bipolar		Tripolar		Tetrapolar
	Curva B	Curva C	Curva B	Curva C	Curva B	Curva C	Curva C
2	-	MDW-C2	-	MDW-C2-2	-	MDW-C2-3	-
4	--	MDW-C4	-	MDW-C4-2	-	MDW-C4-3	-
6	MDW-B6	MDW-C6	MDW-B6-2	MDW-C6-2	MDW-B6-3	MDW-C6-3	MDW-C6-4
10	MDW-B10	MDW-C10	MDW-B10-2	MDW-C10-2	MDW-B10-3	MDW-C10-3	MDW-C10-4
16	MDW-B16	MDW-C16	MDW-B16-2	MDW-C16-2	MDW-B16-3	MDW-C16-3	MDW-C16-4
20	MDW-B20	MDW-C20	MDW-B20-2	MDW-C20-2	MDW-B20-3	MDW-C20-3	MDW-C20-4
25	MDW-B25	MDW-C25	MDW-B25-2	MDW-C25-2	MDW-B25-3	MDW-C25-3	MDW-C25-4
32	MDW-B32	MDW-C32	MDW-B32-2	MDW-C32-2	MDW-B32-3	MDW-C32-3	MDW-C32-4
40	MDW-B40	MDW-C40	MDW-B40-2	MDW-C40-2	MDW-B40-3	MDW-C40-3	MDW-C40-4
50	MDW-B50	MDW-C50	MDW-B50-2	MDW-C50-2	MDW-B50-3	MDW-C50-3	MDW-C50-4
63	MDW-B63	MDW-C63	MDW-B63-2	MDW-C63-2	MDW-B63-3	MDW-C63-3	MDW-C63-4
70	-	MDW-C70	-	MDW-C70-2	-	MDW-C70-3	MDW-C70-4

Tabela 5.18.3.1

### 5.18.4 CODIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE MINI DISJUNTORES

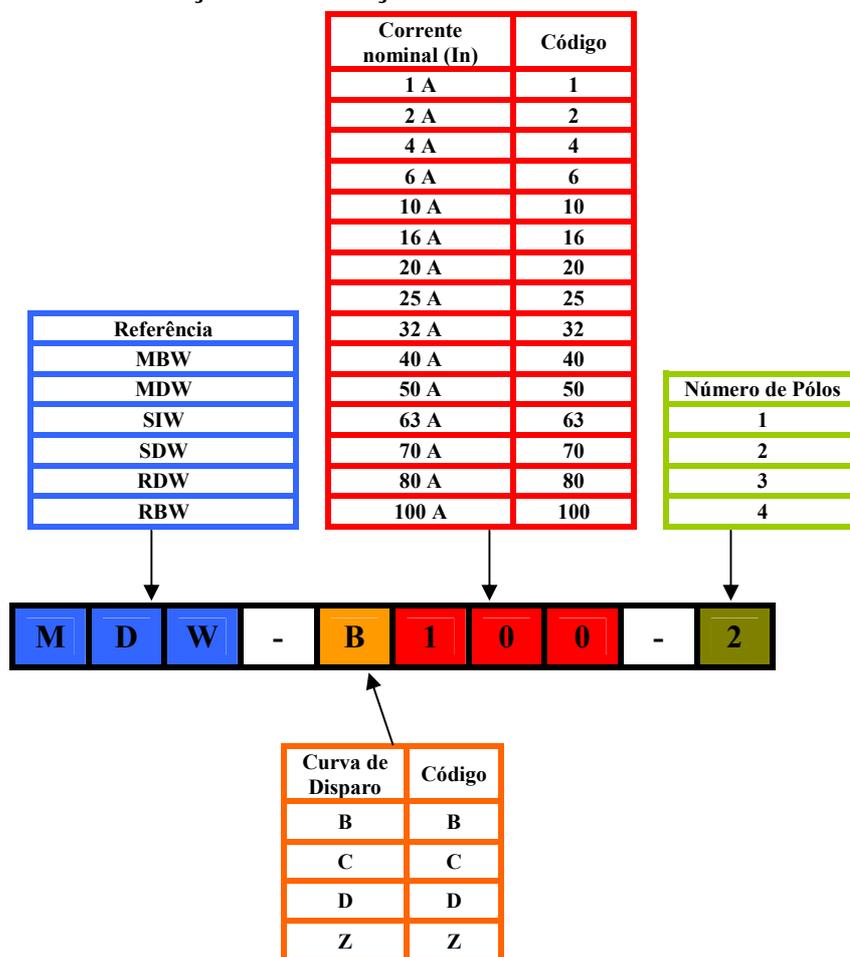


Figura 5.134

### 5.18.5 DADOS TÉCNICOS

Normas	NBR NM 60898, NBR IEC 60947-2, IEC 60947-2, IEC 60898 e VDE 0641			
Tensão nominal máxima (Vca)	440Vca - 50/60Hz			
Tensão nominal mínima (Vca)	12Vca - 50/60Hz			
Tensão nominal máxima (Vcc)	60Vcc			
Correntes nominais	2 a 70A			
Frequência	50/60Hz			
Temperatura ambiente (°C)	-20 a +50			
Curvas de disparo	Curva característica de disparo B (3 a 5 vezes In) Curva característica de disparo C (5 a 10 vezes In)			
Vida elétrica	10.000 manobras			
Vida mecânica	20.000 manobras			
Grau de proteção	IP 20			
Secção de condutores (mm <sup>2</sup> )	0,75 a 25			
Bornes de entrada	Superiores ou Inferiores			
Posição e montagem	sem restrição			
Fixação	Trilho DIN 35mm			
Capacidade de interrupção de curto circuito				
CA	NEMA AB1 127V	10kA		
	IEC 60947-2 230/400V	6kA		
	IEC 60898 230/400V	3kA		
Massa (kg)	0,100 (monopolar)	0,197 (bipolar)	0,302 (tripolar)	0,401 (tetrapolar)

Tabela 5.18.5.1

### 5.19 INTERRUPTORES SECCIONADORES SIW

Os Interruptores-seccionadores SIW possuem as mesmas carcaças dos minidisjuntores nas versões bipolar, tripolar e tetrapolar, porém são desprovidos dos disparadores térmicos e magnéticos, ou seja, não possuem curvas de disparo, tendo a função de seccionar circuitos elétricos com correntes de até 100A conforme Norma IEC 60947-3.



Figura 5.135

#### 5.19.1 TABELA DE SELEÇÃO

In (A)	Bipolar	Tripolar	Tetrapolar
40	SIW-40-2	SIW-40-3	SIW-40-4
63	SIW-63-2	SIW-63-3	SIW-63-4
70	SIW-70-2	SIW-70-3	SIW-70-4
80	SIW-80-2	SIW-80-3	SIW-80-4
100	SIW-100-2	SIW-100-3	SIW-100-4

Tabela 5.19.1.1

#### 5.19.2 EXEMPLO DE CODIFICAÇÃO:

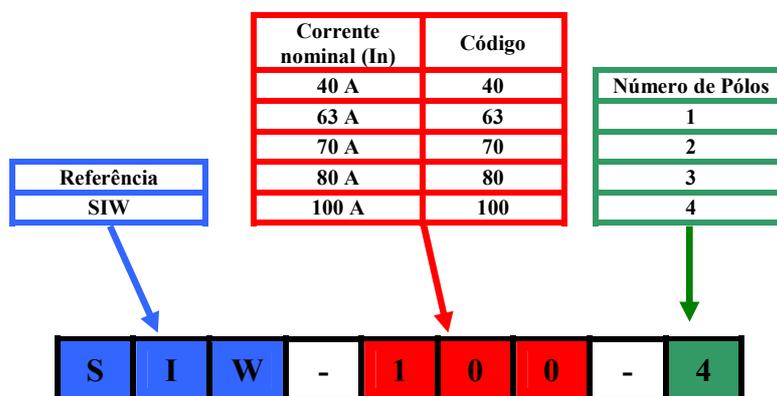


Figura 5.136

### 5.19.3 DADOS TÉCNICOS

Excetuando-se os dados de curvas características de disparo e as capacidades de interrupção de curto-circuito, os demais dados técnicos dos interruptores seccionadores são iguais aos minidisjuntores. Isto devido aos interruptores seccionadores serem desprovidos dos disparadores térmico e magnético, mas serem fabricados nas mesmas carcaças dos minidisjuntores.

### 5.20 INTERRUPTORES DIFERENCIAIS RESIDUAIS – DR'S



Figura 5.137

De acordo com a IEC 60479, que é considerado o mais completo estudo sobre os efeitos da corrente elétrica no corpo humano, tornou-se já uma abordagem clássica, quando o assunto é proteção contra choques elétricos, distinguir duas situações de choque: as associadas ao risco de contatos diretos e as associadas ao risco de contatos indiretos.

Na NBR 5410, temos que os contatos diretos são os contatos com partes vivas, isto é, partes sob tensão em serviço normal, por exemplo, uma pessoa que toca nos pinos de um plugue enquanto o retira da tomada; ou uma pessoa que toca por descuido ou imprudência nos barramentos de um quadro de distribuição. Os contatos indiretos são aqueles contatos com partes que não são vivas em condições normais. Entretanto, do ponto de vista dos efeitos no corpo humano, tanto faz se o choque é de contato direto ou indireto.

Os interruptores diferenciais residuais (DR's) são os dispositivos utilizados para proteção de pessoas e instalações quanto a contatos diretos ou indiretos e também proteção contra os efeitos de correntes de fuga terra, detectando as fugas de corrente que possam existir em circuitos elétricos.

#### 5.20.1 SENSIBILIDADE

A sensibilidade ou corrente diferencial residual nominal de atuação ( $I_{\Delta n}$ ) é o primeiro fator a considerar se um DR pode ser aplicado à proteção contra contatos indiretos e à proteção complementar contra contatos diretos; ou se ele pode ser aplicado apenas contra contatos indiretos.

O DR com sensibilidade de 30mA é considerado de alta sensibilidade e pode ser utilizado tanto na proteção contra contatos indiretos quanto na proteção complementar contra contatos diretos.

O DR com sensibilidade de 300mA é considerado de baixa sensibilidade e é utilizado na proteção contra contatos indiretos ou na proteção contra riscos de incêndio (conforme normas de instalação), limitando as correntes de falta/fuga à terra em locais que processem ou armazenem materiais inflamáveis, como papel, palha, fragmentos de madeira, plásticos, etc.

### 5.20.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O Interruptor DR mede permanentemente a soma vetorial das correntes que percorrem os condutores de um circuito. Se o circuito elétrico estiver funcionando sem problemas, a soma vetorial das correntes nos seus condutores é praticamente nula. Ocorrendo falha de isolamento em um equipamento alimentado por esse circuito, irromperá uma corrente de falta à terra. Quando isto ocorre, a soma vetorial das correntes nos condutores monitorados pelo DR não é mais nula e o dispositivo detecta justamente essa diferença de corrente. Da mesma forma, se alguma pessoa vier a tocar uma parte viva do circuito protegido, a corrente irá circular pelo corpo da pessoa, provocando igualmente um desequilíbrio na soma vetorial das correntes. Este desequilíbrio será também detectado pelo DR tal como se fosse uma corrente de falta à terra.

### 5.20.3 DIAGRAMAS DE LIGAÇÃO

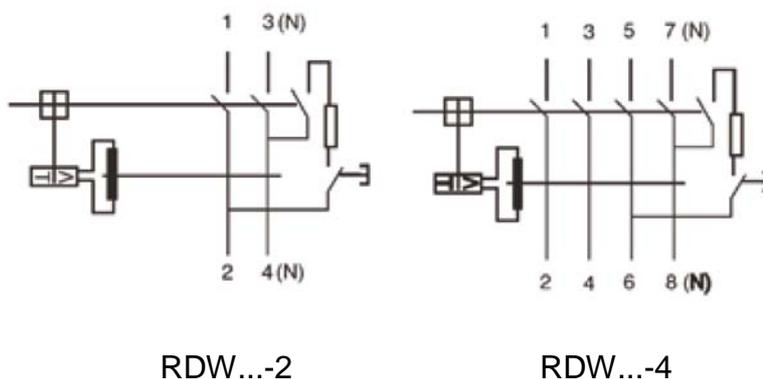


Figura 5.138

**Nota:**

- (1) Os interruptores DR's bipolares são usados normalmente em sistemas fase/neutro ou fase/fase;
- (2) Os interruptores DR's tetrapolares podem ser usados em qualquer tipo de rede;
- (3) Todos os condutores de fase, incluindo o neutro, devem ser conectados ao RBW, entretanto, o condutor terra não deve ser conectado. O condutor do neutro na saída do RBW, deve permanecer isolado em toda instalação e não deve ser conectado ao terra.
- (4) Caso utilize-se um RBW tetrapolar como bipolar, a fase deve passar pelos terminais 5-6 e o neutro por 7-8.

### 5.20.4 TABELA DE SELEÇÃO

Corrente nominal residual (mA)	Corrente nominal In (A)	Referências	
		Bipolar	Tetrapolar
30	25	RDW30-25-2	RDW30-25-4
	40	RDW30-40-2	RDW30-40-4
	63	RDW30-63-2	RDW30-63-4
	80	RDW30-80-2	RDW30-80-4
	100	RDW30-100-2	RDW30-100-4
300	25	RDW300-25-2	RDW300-25-4
	40	RDW300-40-2	RDW300-40-4
	63	RDW300-63-2	RDW300-63-4
	80	RDW300-80-2	RDW300-80-4
	100	RDW300-100-2	RDW300-100-4

Tabela 5.20.4.1

### 5.20.5 EXEMPLO DE CODIFICAÇÃO:

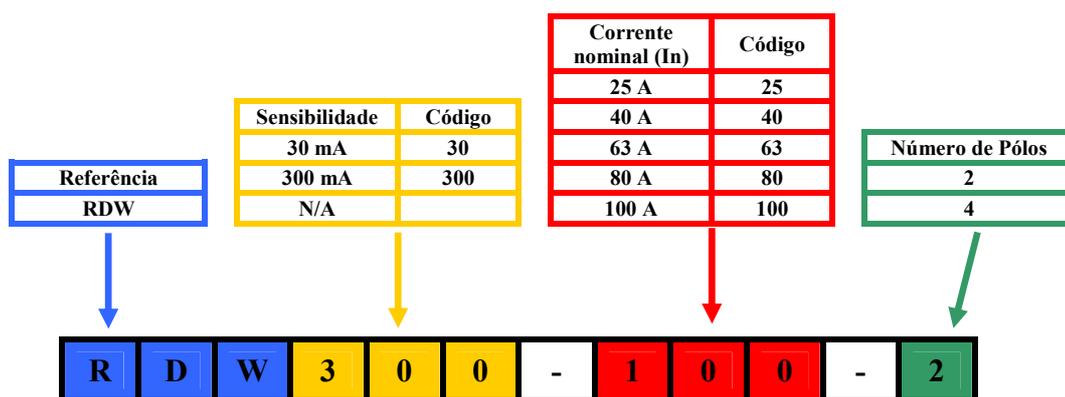


Figura 5.139

## 5.21 DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS – DPS SPW

Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) da linha SPW foram desenvolvidos para a proteção de equipamentos e instalações contra surtos e sobretensões provenientes de descargas diretas ou indiretas na rede elétrica, mais comumente causadas por raios e/ou manobras no sistema elétrico.

Independentemente do tipo ou da origem, as descargas geram um aumento repentino na tensão da rede – os surtos

e sobretensões momentâneas – que danificam equipamentos eletro-eletrônicos e a própria instalação, trazendo muitos prejuízos.



Figura 5.140

### 5.21.1 CLASSE DE PROTEÇÃO

Os DPS de Classe I são indicados para locais sujeitos a descargas de alta intensidade, característica típica de instalações e edifícios alimentados diretamente por rede de distribuição aérea, exposta a descarga atmosférica.

Recomenda-se a instalação do DPS classe I no ponto de entrada da rede elétrica na edificação.

Já para locais onde a rede elétrica não está exposta a descargas atmosféricas diretas, caso típico de instalações internas de residências e/ou edificações alimentadas por rede elétrica embutida/subterrânea, são indicados os DPS de Classe II. Recomenda-se sua instalação no quadro de distribuição.

### 5.21.2 SINALIZAÇÃO DE ESTADO

Os DPS da linha SPW possuem um sinalizador de estado, localizado no frontal do dispositivo. Os DPS podem atuar muitas vezes. A substituição do módulo é necessária apenas quando o sinalizador estiver vermelho.

Os DPS da linha SPW são do tipo Plug-in. Esta concepção permite que o usuário substitua o módulo de proteção sem necessidade de desconectar os cabos, pois a base permanece instalada.

### 5.21.3 TABELA DE SELEÇÃO

Classe de proteção	Corrente máxima de descarga, Onda 8/20µs $I_{m\acute{a}x}$ (kA)	Corrente nominal de descarga, onda 8/20µs $I_n$ (kA)	Corrente máxima de impulso $I_{imp}$ (kA)	Referências
II	12	5	-	SPW275-12
II	20	10	-	SPW275-20
II	45	20	-	SPW275-45
II / I	60	30	12,5	SPW275-60/12,5

Tabela 5.21.3.1

### 5.21.4 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

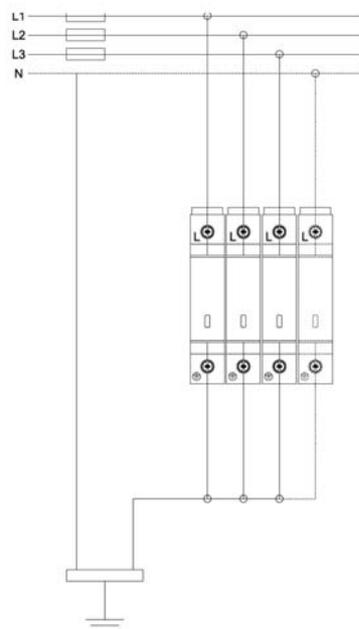


Figura 5.141

## 5.22 COMANDO E SINALIZAÇÃO

Elementos de comando são utilizados no ligamento e desligamento de circuitos elétricos, assim como sua sinalização. Possui contatos NA e NF que se invertem ao acionar manualmente e retornam a posição de repouso através da mola.

A linha BW de botões e sinaleiros WEG apresenta formas ergonômicas e um elegante design, com as mais variadas combinações de funções.

### 5.22.1 MONTAGEM

O sistema de engate dos contatos no frontal (botão, comutador ou sinaleiro) é feita através de flanges especiais de encaixe rápido. O novo sistema mecânico das flanges permite sua remoção de uma maneira prática e rápida sem a utilização de ferramentas, apenas com um simples aperto.

Os blocos permitem suas montagens ou remoções individuais sem interferência nos demais. Podem ser conectados rapidamente (apenas um “click”) e desconectados com a utilização de uma chave de fenda comum.

O design ergométrico do novo anel de fixação rosqueável possibilita o aperto manual do dispositivo, dispensando o uso de chaves. Um aperto mais leve e seguro para a fixação dos Botões e Sinaleiros WEG.

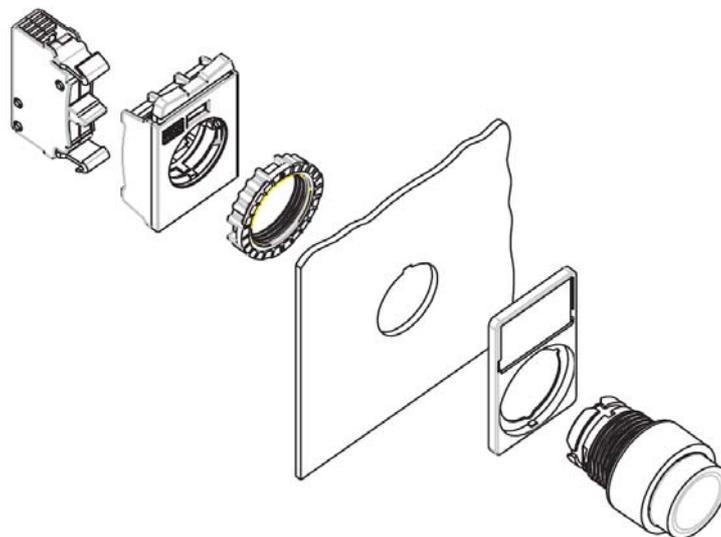


Figura 5.142

### 5.22.2 ENCAIXE E POSICIONAMENTO

Todas as unidades possuem um anel de vedação especialmente projetado para garantir Grau de Proteção IP 66 (IEC 60529).

Um pequeno “dente” evita que o botão gire durante a montagem. Este “dente” pode ser removido para instalação em furo redondo.

### 5.22.3 SEGURANÇA E CONFIABILIDADE

- ✓ Pontes de contatos de alta eficiência, deslizante e auto-limpantes.
- ✓ Contatos de prata pura (Ag100), garantem nas mais diversas aplicações o máximo de confiabilidade e a possibilidade de utilização em circuitos de comando com baixos níveis (5mA/12V).
- ✓ Contatos NF com sistema “Positive Break”, que garante a interrupção do circuito.

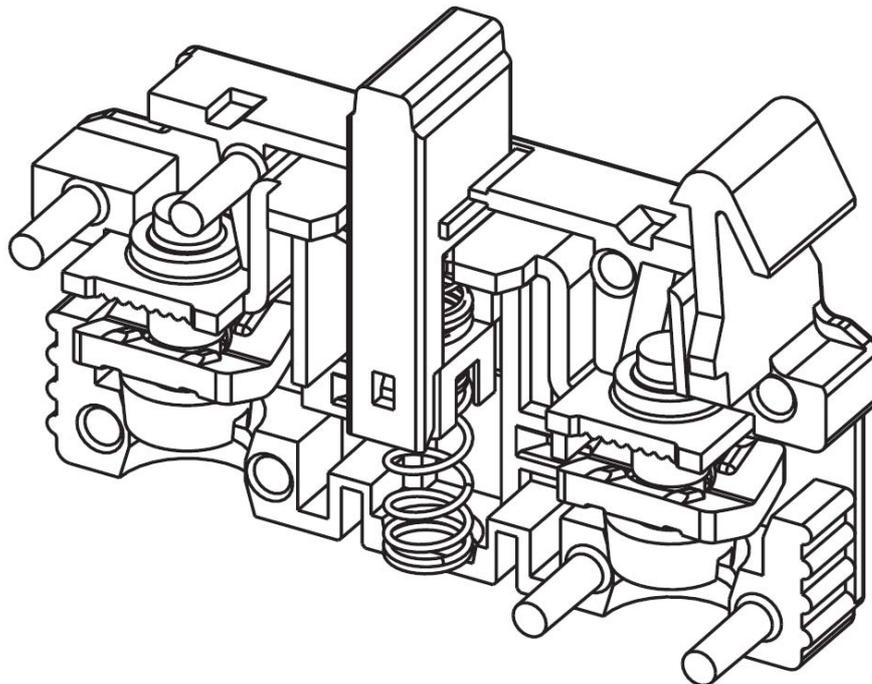
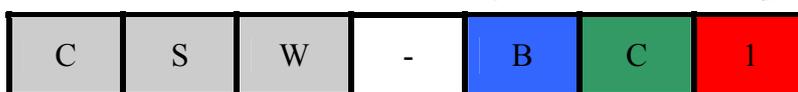
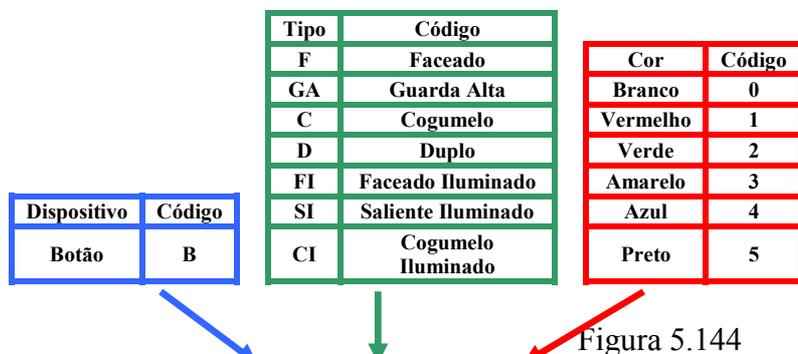


Figura 5.143

### 5.2.2.4 LINHA DE BOTÕES



Faceado		Guarda Alta		Cogumelo 40 mm					
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ BF0</li> <li>● BF1</li> <li>● BF2</li> <li>● BF3</li> <li>● BF4</li> <li>● BF5</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ BGA0</li> <li>● BGA1</li> <li>● BGA2</li> <li>● BGA3</li> <li>● BGA4</li> <li>● BGA5</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● BC1</li> <li>● BC2</li> </ul>					
Faceado Iluminado		Saliente/Saliente Iluminado		Cogumelo Iluminado					
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ BFI0</li> <li>● BFI1</li> <li>● BFI2</li> <li>● BFI3</li> <li>● BFI4</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ BSI0</li> <li>● BSI1</li> <li>● BSI2</li> <li>● BSI3</li> <li>● BSI4</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ BCI0</li> <li>● BCI1</li> <li>● BCI2</li> <li>● BCI3</li> <li>● BCI4</li> </ul>					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Botão Duplo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"></td> </tr> </tbody> </table>						Botão Duplo			
Botão Duplo									

Tabela 5.22.4.1

### 5.22.5 LINHA DE BOTÕES DE EMERGÊNCIA

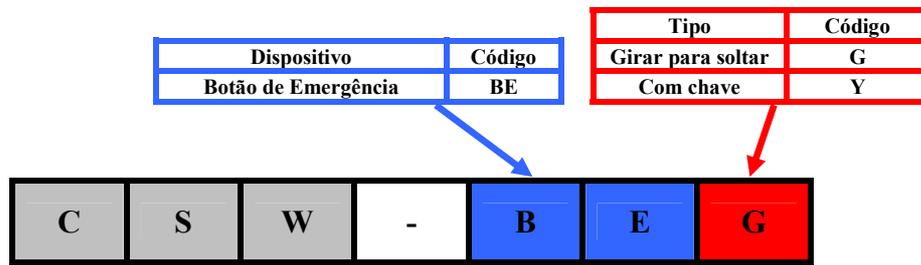


Figura 5.145



Tabela 5.22.5.1

### 5.22.6 SINALEIROS

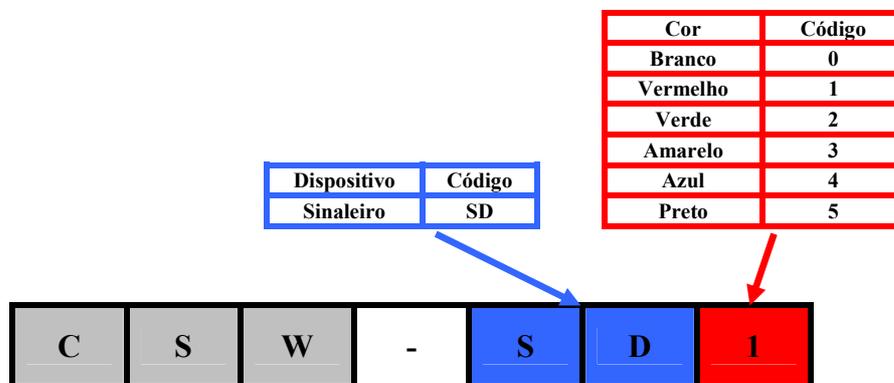


Figura 5.146

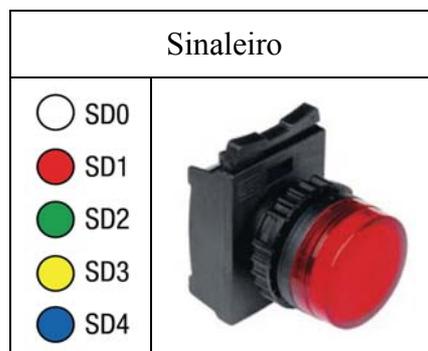


Tabela 5.22.6.1

5.22.7 COMUTADORES

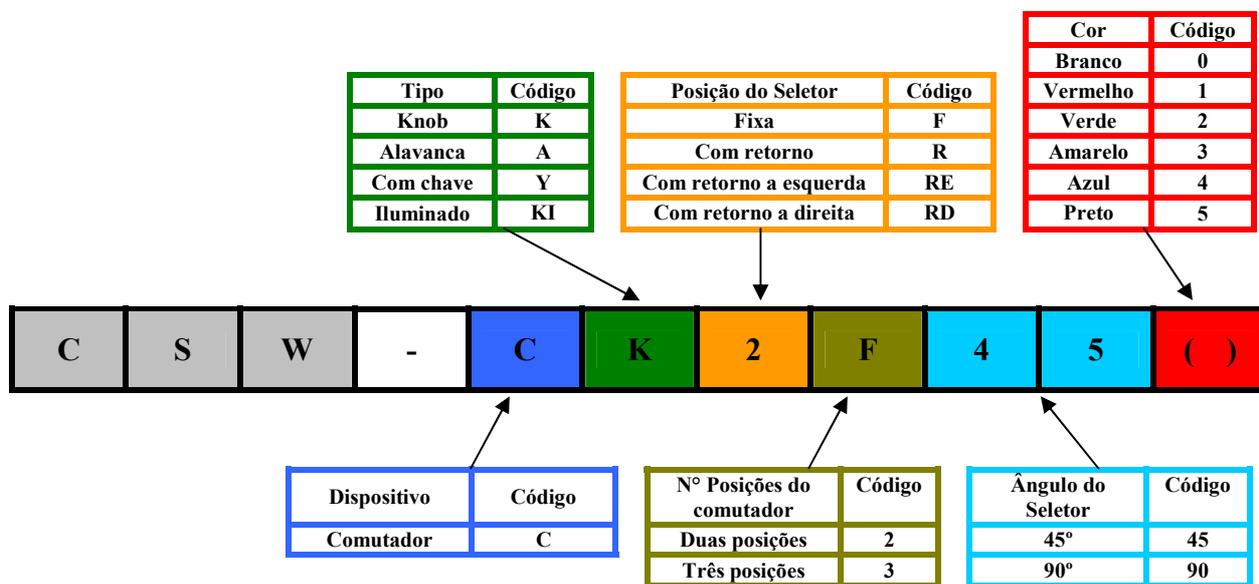


Figura 5.147

Knob (curto)	Alavanca	Com Chave	Iluminado
CK2F45	CA2F45	CY2F45	
CK2R45	CA2R45	CY2R45	
CK2F90	CA2F90	CY2F90	CKI2F90( _ )
CK2R90	CA2R90	CY2R90	
CK3F45	CA3F45	CY3F45	CKI3F45( _ )
CK3R45	CA3R45	CY3R45	CKI3R45( _ )
CK3RE45	CA3RE45	CY3RE45	CKI3RE45( _ )
CK3RD45	CA3RD45	CY3RD45	CKI3RD45( _ )
CK3F45ZB	CA3F45ZB	CY3F45ZB	
CK3R45ZB	CA3R45ZB	CY3R45ZB	
CK3F45U	CA3F45U	CY3F45U	
CK3R45U	CA3R45U	CY3R45U	

Tabela 5.22.7.1

### 5.22.8 BLOCOS DE CONTATOS

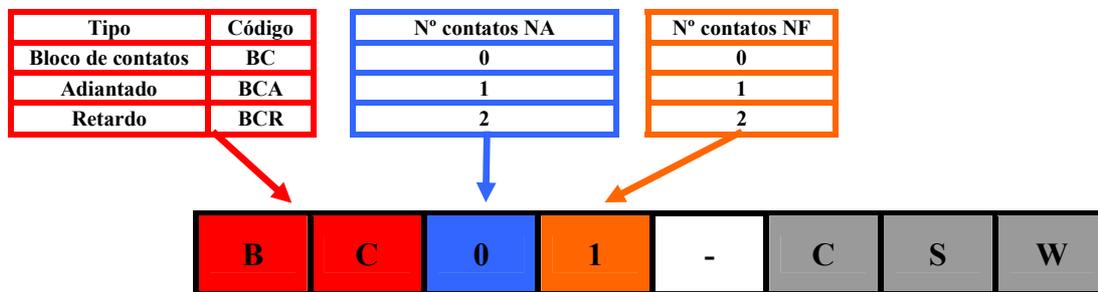


Figura 5.148

Simplex		Duplo	
BC01 - 1NF		BC11 - 1NA/1NF	
BC10 - 1NA		BC20 - 2NA	
BCA10 - 1NAa (adiantado)		BC02 - 2NF	
BCR01 - 1NFr (retardado)			

Tabela 5.22.8.1

### 5.22.9 BLOCOS DE ILUMINAÇÃO COM LED INTEGRADO

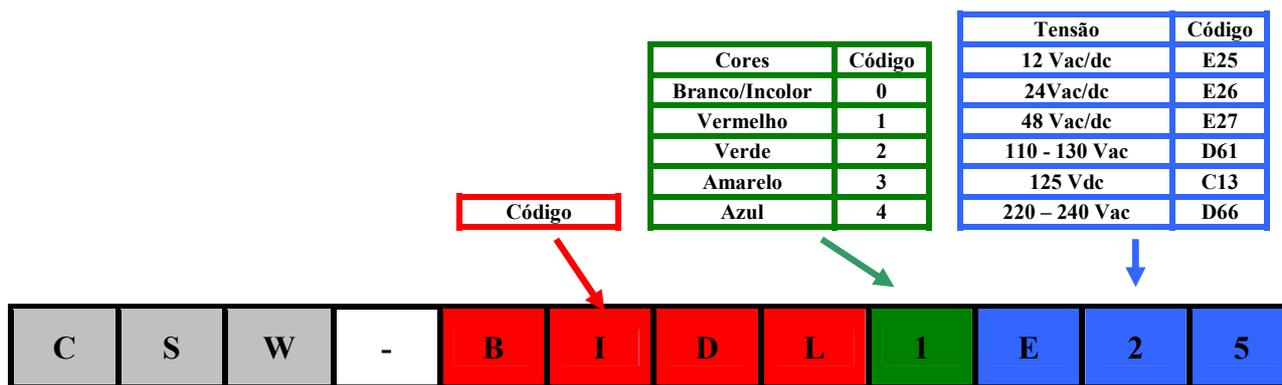


Figura 5.149

BIDL	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0 Incolor</li> <li>● 1 Vermelho</li> <li>● 2 Verde</li> <li>● 3 Amarelo</li> <li>● 4 Azul</li> </ul>	

Tabela 5.22.9.1

### 5.22.10 BLOCOS PARA ILUMINAÇÃO

Alimentação Direta Vac/Vdc		Resistor + Diodo - Vac	
<p>BID</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para lâmpadas com soquete Ba9s - tensão máxima 380V (2W)</li> <li>- Lâmpada não inclusa</li> </ul>		<p>BIRD D66</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentação do bloco 220-240Vac</li> <li>- Lâmpada incandescente inclusa soquete Ba9s - tensão 120V ou 130V</li> </ul>	

Tabela 5.22.10.1

### 5.22.11 BLOCOS PARA ILUMINAÇÃO COM LED INTEGRADO

BR	
<p>Para botões BF, BGA, BC, BFI, BSI e BCI.</p> <p><i>Nota: Utilizar somente com contatos simples. Para contato NA utilizar o tipo NAa (adiantado).</i></p>	

Tabela 5.22.11.1

5.22.12 BLOCO REDUTOR DE TENSÃO

BRT	
Ue	Composição
220 Vdc	BRT-E31+BIDL125Vdc
380 – 415 Vac	BRT-E32+BIDL220-240Vac



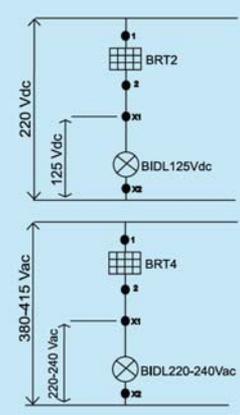


Tabela 5.22.12.1

## 5.22.13 IDENTIFICAÇÃO DE BOTÕES SINALEIROS

IDENTIFICAÇÃO DE BOTÕES SEGUNDO NORMAS IEC 60073 / VDE 0199			
Cores		Significado	Aplicações Típicas
	Vermelho	Parar, desligar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parada de um ou mais motores.</li> <li>• Parada de unidades de uma máquina.</li> <li>• Parada de ciclo de operação.</li> <li>• Parada em caso de emergência.</li> <li>• Desligar em caso de sobreaquecimento perigoso.</li> </ul>
		Emergência	
	Verde	Partir, ligar, pulsar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partida de um ou mais motores.</li> <li>• Partir unidades de uma máquina.</li> <li>• Operação por pulsos.</li> <li>• Energizar circuitos de comandos.</li> </ul>
	Preto		
	Amarelo	Intervenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retrocesso.</li> <li>• Interromper condições anormais.</li> </ul>
	Azul	Qualquer função exceto as acima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reset de relés térmicos.</li> <li>• Comando de funções auxiliares.</li> </ul>
	Branco		
IDENTIFICAÇÃO DE SINALEIROS SEGUNDO NORMAS IEC 60073 / VDE 0199			
Cores		Significado	Aplicações Típicas
	Vermelho	Condições anormais, perigo ou alarme.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura excede os limites de segurança .</li> <li>• Aviso de paralisação (ex.:sobrecarga).</li> </ul>
	Amarelo	Atenção, cuidado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O valor de uma grandeza aproxima-se de seu limite.</li> </ul>
	Verde	Condição de serviço segura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicação de que a máquina está pronta para operar.</li> </ul>
	Branco	Circuitos sob tensão, funcionamento normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina em movimento.</li> </ul>
	Azul	Informações especiais, exceto as acima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinalização de comando remoto.</li> <li>• Sinalização de preparação da máquina.</li> </ul>

Tabela 5.22.13.1

## 5.23 ESCOLHA DO TIPO DE CHAVE

### 5.23.1 PARTIDA DIRETA

Neste caso o motor parte com valores de conjugado (torque) e corrente de partida plenos, pois suas bobinas recebem tensão nominal conforme as figuras abaixo:

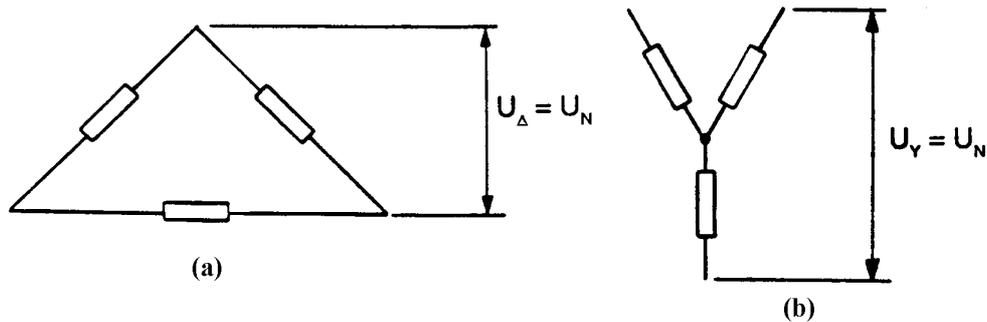


Figura 5.150 – Ligação e tensão em triângulo ( $U_{\Delta}$ ) (a); Ligação e tensão em estrela ( $U_Y$ ) (b).

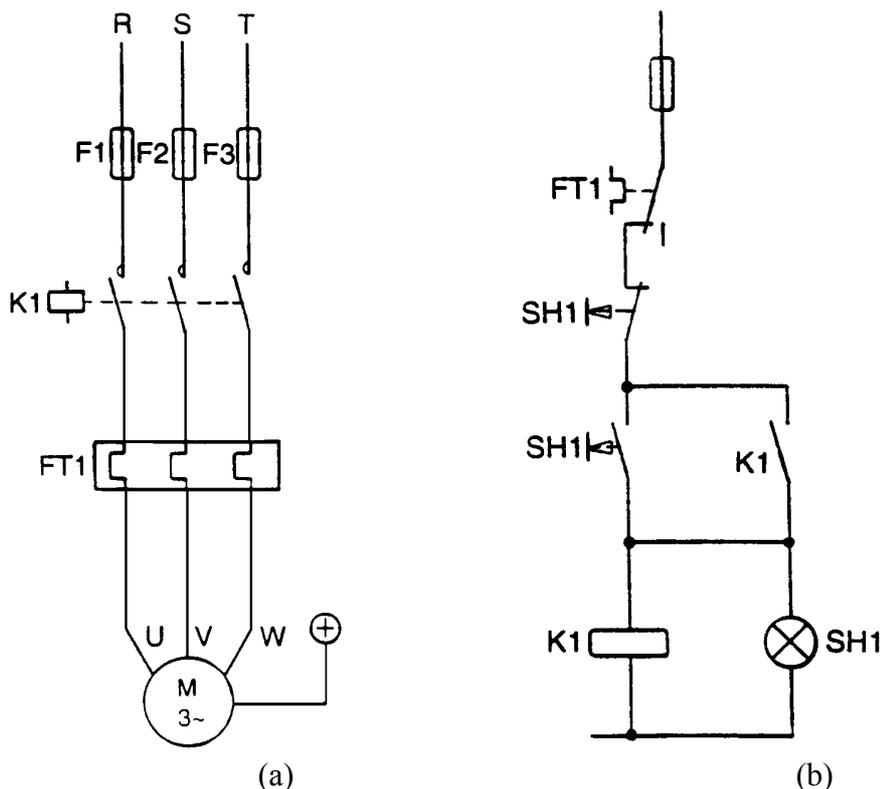


Figura 5.151 – Diagrama de força (a); Diagrama de comando (b)

Sempre que a instalação permitir, o tipo de partida deve ser direta, já que o motor foi projetado para estas condições (corrente e tensões nominais).

A corrente elevada de partida do motor ocasiona as seguintes conseqüências prejudiciais:

- Acentuada queda de tensão no sistema de alimentação da rede, o que ocasiona interferências em equipamentos instalados no sistema;
- Exigência de superdimensionamento de condutores e componentes pois se não feito isto, ocorre a redução drástica da vida útil destes;
- A imposição das concessionárias de energia elétrica, que limitam a queda de tensão na rede;

Para evitar estes problemas, pode-se utilizar um sistema de partida com redução de tensão e conseqüente redução da corrente.

### 5.23.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Consiste na alimentação do motor com redução de tensão nas bobinas, durante a partida.

Na partida executa-se ligação estrela no motor (apto a receber tensão de estrela –  $U_Y$ ), porém, alimenta-se com tensão de triângulo ( $U_\Delta$ ), ou seja, tensão da rede. Assim, as bobinas do motor recebem aproximadamente 58% ( $1/\sqrt{3}$ ) da tensão que deveriam receber.

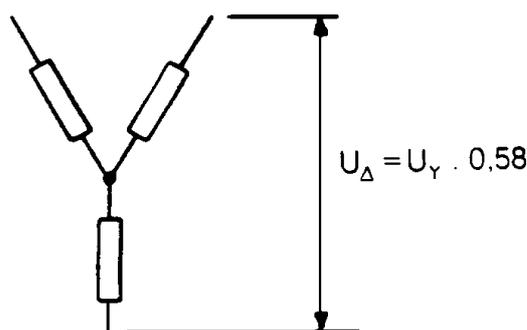


Figura 5.152 – Ligação estrela com tensão de triângulo ( $U_\Delta$ )

Após a partida o motor deve ser ligado em triângulo, assim as bobinas passam a receber a tensão nominal.

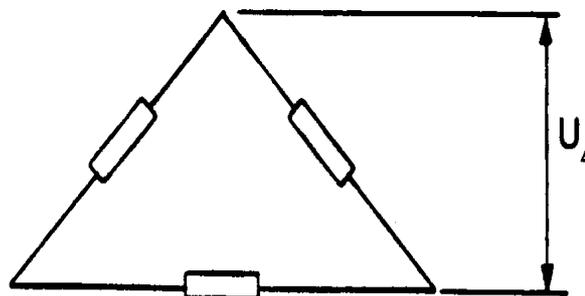


Figura 5.153 – Ligação triângulo com tensão de triângulo

Este tipo de chave proporciona redução da corrente de partida para aproximadamente 33% de seu valor para partida direta.

Apropriada para máquinas com conjugado resistente de partida até  $1/3$  do conjugado de partida do motor.

A chave estrela-triângulo é aplicada quase que exclusivamente para partidas de máquinas em vazio, ou com pouca carga. Somente depois de se ter atingido a rotação nominal a carga plena poderá ser aplicada.

O conjugado resistente da carga não deve ultrapassar o conjugado de partida do motor, nem a corrente no instante da comutação deve atingir valores inaceitáveis (muito elevados), pois neste caso aquela redução de corrente do primeiro instante da partida não ocorreu no segundo momento.

Ocorrem situações em que este tipo de partida não pode ser empregado, como é mostrado na figura a seguir.

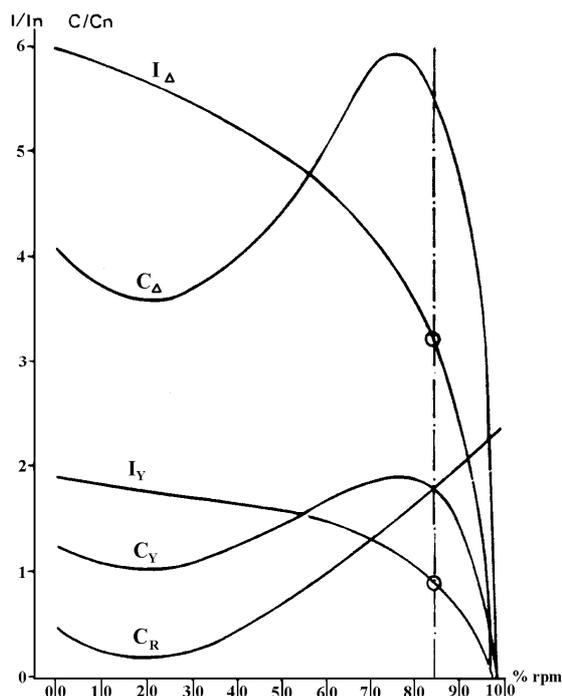


Figura 5.154 – Comportamento da corrente na partida estrela-triângulo

O alto conjugado resistente ( $C_R$ ) faz com que na partida em estrela o motor acelere no máximo até 85% da rotação nominal e aí ocorre a comutação.

Neste ponto a corrente que era aproximadamente igual à nominal, vai para 320% o que não traz vantagem pois na partida a corrente era de 190%.

Na figura 5.17.6, observa-se um motor com as mesmas características, mas o conjugado resistente ( $C_R$ ) é bem menor.

Na ligação estrela o motor acelera até 93% da rotação nominal e neste ponto a corrente é cerca de 50% e aí ocorre a comutação, subindo a corrente para 170%, ou seja, praticamente igual à corrente de partida em estrela. Neste caso a partida estrela-triângulo foi bem aplicada pois não só reduziu a corrente de partida como acelerou o motor suficientemente.

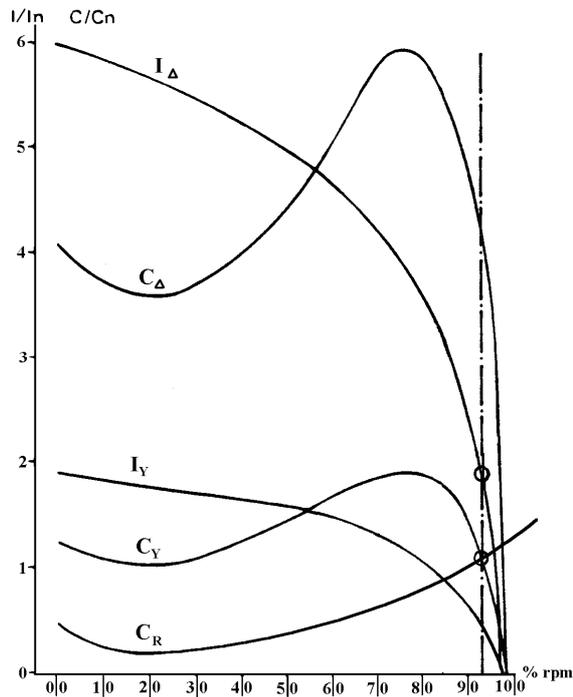


Figura 5.155 – Comportamento da corrente na partida estrela-triângulo

É fundamental para a chave de partida estrela-triângulo que o motor tenha possibilidade de ligação em dupla tensão, (220/380V, 380/660V, 440/760V) e que a menor tensão coincida com a tensão da rede. Os motores deverão ter no mínimo seis bornes de ligação.

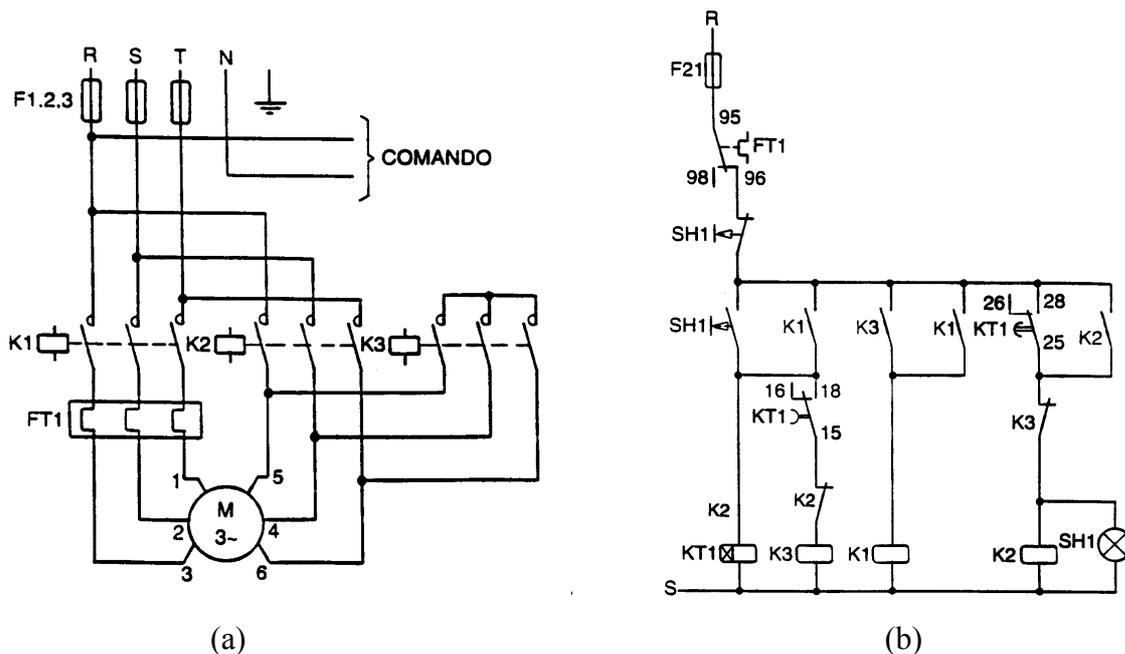


Figura 5.156 – Diagrama de força (a) e comando (b), com relé de tempo YΔ

### 5.23.2.1 SEQUÊNCIA OPERACIONAL (COM RELÉ DE TEMPO ESTRELA-TRIÂNGULO)

O botão pulsador S1 aciona o relé de tempo KT1, que através do seu contato 15-18 energiza o contator estrela K3. Este, por seu contato 13-14 alimenta a bobina do contator de rede K1.

**O motor inicia a rotação em Estrela:** O contator K1 retém-se por seu contato 43-44, e o contato 13-14 deste mantém a energização do relé de tempo KT1 e do contator estrela K3. Após decorrida a temporização selecionada em KT1, o mesmo abre seu contato 15-18, desenergizando o contator K3. Após decorrido o tempo pré-estabelecido de 100ms (fixo) o contato 25-28 do relé de tempo fecha-se, energizando o contator triângulo K2.

**O motor passa para a ligação Triângulo:** O religamento, mesmo que acidental, de K3 é evitado pela existência do contato 21-22 de K2 no circuito de alimentação da bobina de K3.

### 5.23.3 PARTIDA COMPENSADORA

Esta chave de partida alimenta o motor com tensão reduzida em suas bobinas, na partida.

A redução de tensão nas bobinas (apenas durante a partida) é feita através da ligação de um auto-transformador em série com as mesmas. Após o motor ter acelerado as bobinas voltam a receber tensão nominal.

A redução da corrente de partida depende do Tap em que estiver ligado o auto-transformador.

- TAP 65% → redução para 42% do seu valor de partida direta;
- TAP 80% → redução para 64% do seu valor de partida direta.

A chave de partida compensadora pode ser usada para motores que partem sob carga. O conjugado resistente de partida da carga deve ser inferior à metade do conjugado de partida do motor.

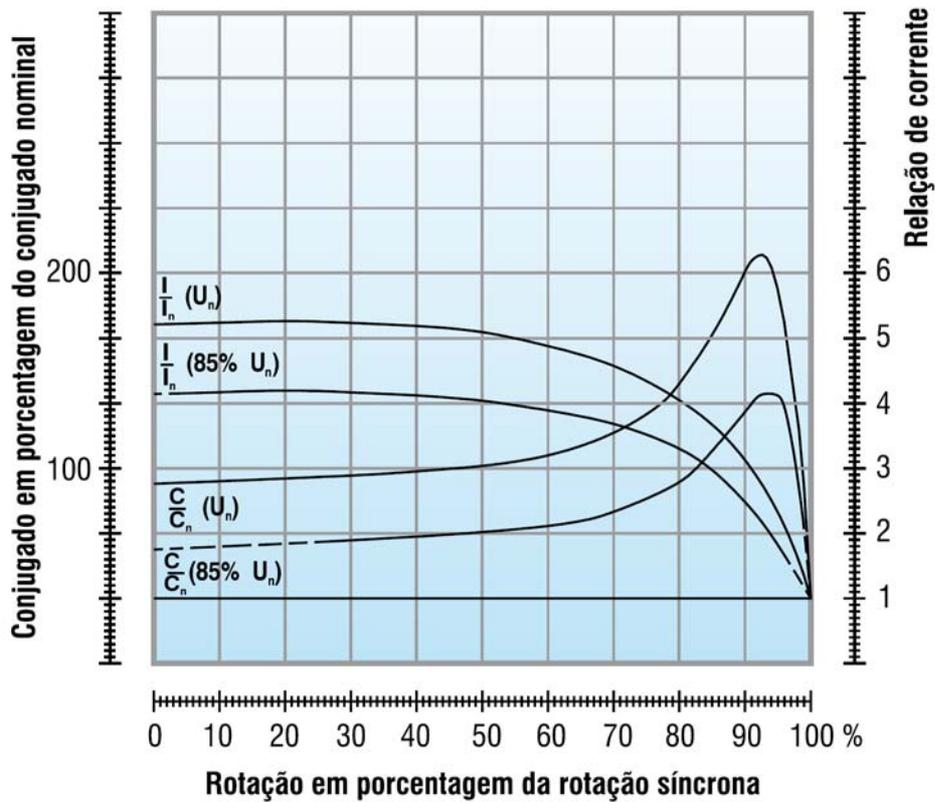


Figura 5.157 – Características de partida de motor com chave compensadora

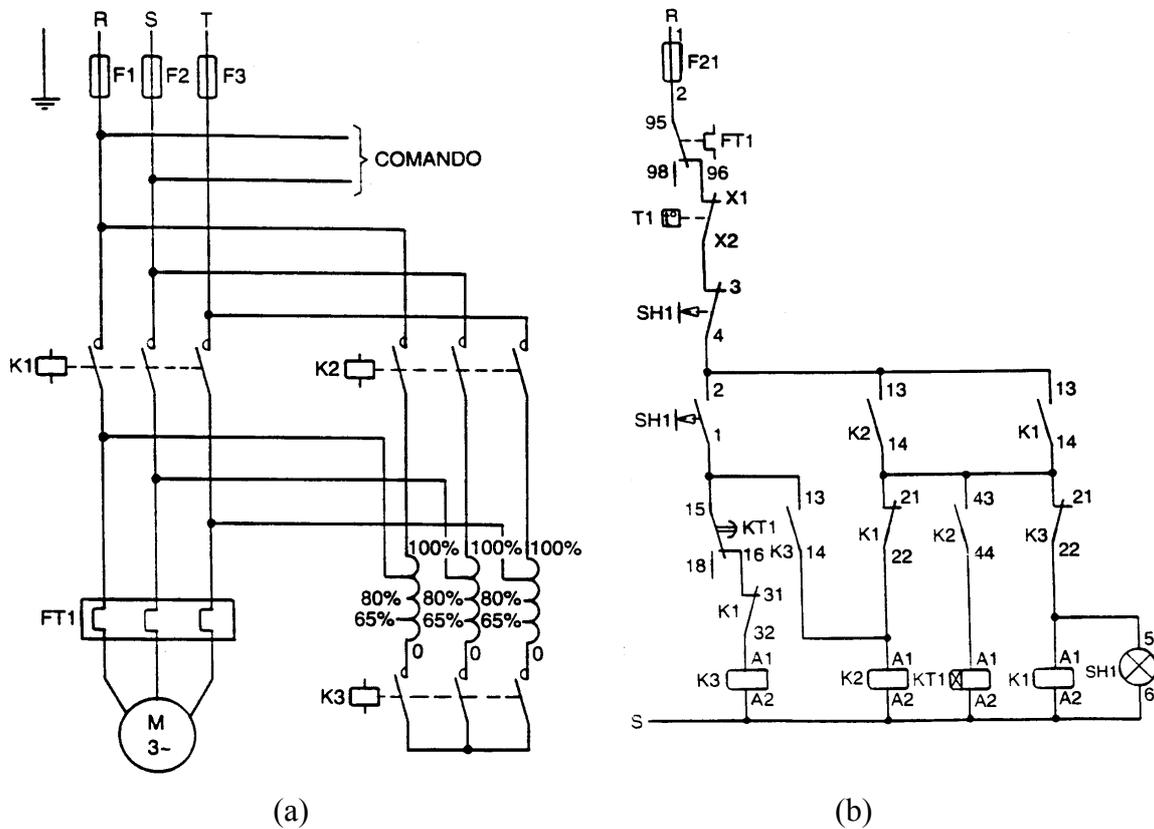


Figura 5.158 – Diagrama de força (a) e comando (b)

**Seqüência operacional:** pressionando-se o botão pulsador S1 é acionado o contator K3 que curto-circuita o secundário do auto-transformador. Este, através do seu contato 13-14, energiza a bobina do contator K2 que conecta o auto-transformador à rede.

**O motor parte sob tensão reduzida:** o contator K2 retém-se por seu contato 13-14, e o contator K3 por este mesmo contato e por seu contato 13-14.

Simultaneamente a energização de K2 ocorre a energização do relé de tempo KT2, que principia a temporização.

Após o decurso desta o contato 15-16 de KT1 que atua sobre o circuito da bobina de K3, comuta.

O contator K3 é desenergizado e fecha seu contato 21-22, situado no circuito da bobina do contator de rede K1, e este em conjunto com o contato 13-14 de K2, energiza-a.

O contator K1 mantém-se por seu contato 13-14 e, através de 21-22 e 31-32 desenergiza K3 e K2 respectivamente.

**O motor passa a funcionar sob tensão nominal:** o contato 31-32 de K1 impossibilita o acionamento, mesmo que acidental, do contator K3. Sob condições normais só é possível uma nova partida caso tenha sido acionado o pulsador SH0, ou pela abertura do contato 95-96 de FT1, em caso de sobrecarga.

#### 5.23.4 PARTIDA SÉRIE-PARALELO

O motor parte com tensão reduzida em suas bobinas. A chave série-paralelo proporciona uma redução de corrente para 25% do seu valor para partida direta.

Apropriada para cargas com partida necessariamente em vazio, pois o conjugado de partida fica reduzido a  $\frac{1}{4}$  de seu valor par tensão nominal (partida direta).

Este tipo de chave é utilizada para motores de 4 tensões e no mínimo 9 cabos. Dividem-se em:

##### a) Triângulo Série Paralelo ( $\Delta$ - $\Delta\Delta$ )

Chave de partida própria para motor com a execução dos enrolamentos em 220/380/440/660V ou 220/440V. A tensão da rede deve ser necessariamente 220V.

Na partida executa-se a ligação triângulo série ( $\Delta$ ) (apto a receber 440V) e aplica-se tensão de triângulo paralelo (220V). Logo as bobinas recebem 50% da tensão nominal.

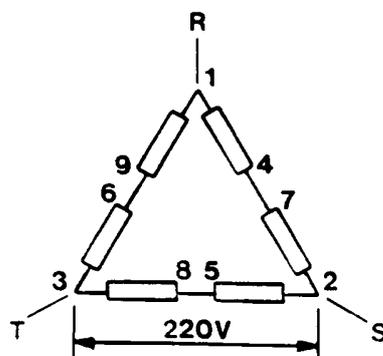


Figura 5.159 – Ligação triângulo série ( $\Delta$ ) com tensão 220V

Após a partida o motor deve ser ligado em triângulo paralelo ( $\Delta\Delta$ ) assim as bobinas passam a receber tensão nominal (220V).

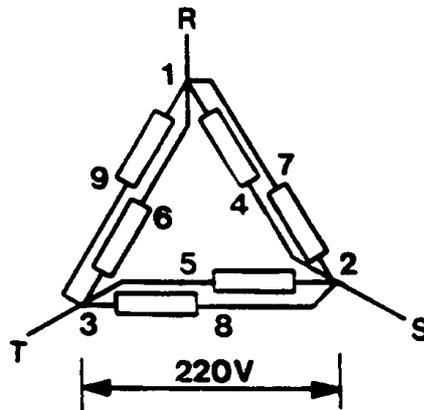


Figura 5.160 – Ligação triângulo paralelo ( $\Delta\Delta$ ) com tensão 220V

**b) Estrela Série-Paralelo (Y-YY)**

Chave própria para motor com execução dos enrolamentos em 220/380/440/760V ou 380/760V. A tensão da rede deve ser necessariamente 380V.

Na partida executa-se a ligação estrela-série (apto a receber 760V) e aplica-se tensão de estrela-paralelo (380V). Logo as bobinas recebem 50% de tensão nominal.

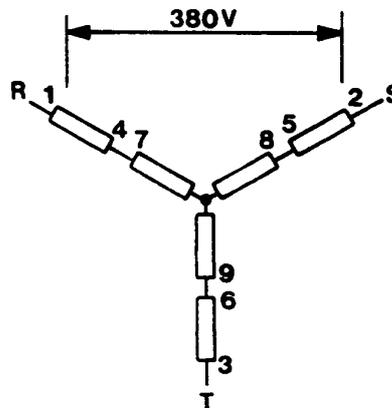


Figura 5.161 – Ligação estrela-série (Y) com tensão 380V

Após a partida o motor deve ser ligado em estrela paralelo (YY), assim as bobinas passam a receber tensão nominal (220V).

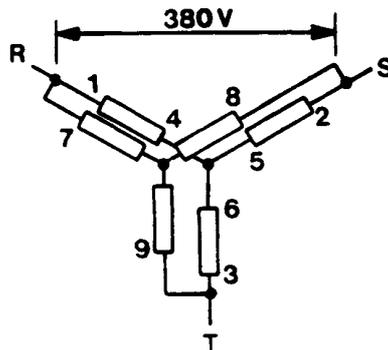


Figura 5.162 – Ligação estrela-paralelo com tensão 380V

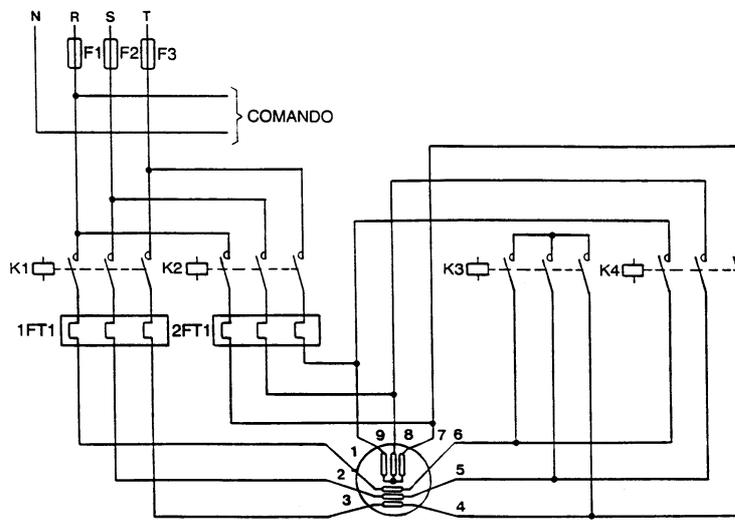


Figura 5.163– Diagrama de força

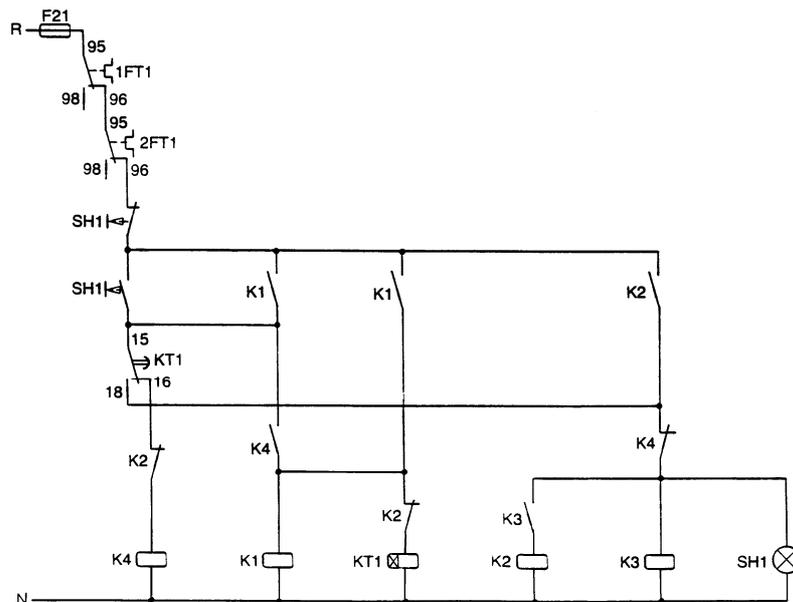


Figura 5.164 – Diagrama de comando

**Seqüência operacional:** o botão pulsador S1 aciona o contator K4, que conecta em série os seis conjuntos de bobinas do motor e este por seu contato 13-14 energiza o contator de conexão a rede K1.

**O motor inicia rotação em conexão estrela-série:** o contator K1, mantém-se por seu contato 13-14 e o contator K4 por este mesmo contato e por seu contato 13-14.

Os contatores K2 e K3 são impossibilitados, desde o início do ciclo, de energizarem-se, visto a existência do contato 21-22 do contator K4.

No momento da energização do contator de conexão à rede K1, ocorre simultaneamente a energização do relé de tempo KT1, e inicia-se a temporização.

Após o decurso desta, o contato 15-16 de KT1, comuta, assumindo a condição 15-18. O contator K4 é desenergizado e fecha seu contato 21-22, por intermédio deste e do contato de KT1, agora na posição 15-18 dá-se a energização de K3.

Este por sua vez fecha seu contato 13-14 energizando K2.

**O motor passa à conexão estrela-paralelo (dupla estrela):** os contatores de rede K2 e estrela K3 mantêm-se pelo contato 13-14 de K2.

O contato 21-22 do contator de rede K2 impossibilita a ligação, mesmo que acidental, do contator de conexão série K4. Uma nova partida, em condições normais, não é possível senão após o desligamento, por intermédio do botão pulsador S0, ou no caso de sobrecarga pela abertura dos contatos 95-96 dos relés de sobrecarga 1FT1 e/ou 2FT1.

**Nota:** o contato 13-14 de K3, inserido no circuito da bobina de K2 gera a dependência de um conjunto de bobinas em relação ao outro, de forma a jamais permitir que sob condições normais, um destes opere isoladamente.

### 5.23.5 COMPARATIVO ESTRELA TRIÂNGULO X COMPENSADORA

<b>Estrela-Triângulo</b>	<b>Compensadora</b>
Custo menor	Custo maior
Menores dimensões	Tipo de chave com maiores dimensões
Deve partir praticamente a vazio	Admite partidas com carga (pode variar o tap conforme exigência da carga) Ex.: partidas longas
Corrente de partida reduzida para 33%	Corrente de partida reduzida: <ul style="list-style-type: none"> <li>• No tap 80% para 64%;</li> <li>• No tap 65% para 42%.</li> </ul>

Tabela 5.23.5.1

### 5.23.6 ESCOLHA DA CHAVE EM FUNÇÃO DO MOTOR E DA REDE

Possibilidade de utilização de uma chave de partida em função da tensão da rede e de sua combinação de tensões (execução dos enrolamentos).

MOTOR			TIPO DE CHAVE DE PARTIDA				
Execução dos enrolamentos	Número de Cabos	Tensão da Rede	Direta	Estrela-Triângulo	Compensadora	Triângulo Série-Paralelo	Estrela Série-Paralelo
220	3	220	X		X		
380	3	380	X		X		
440	3	440	X		X		
220/380	6	220	X	X	X		
		380	X		X		
220/440	6	220	X		X	X	
		440	X		X		
380/660	6	380	X	X	X		
440/Y	6	440	X	X	X		
220/380/440/YY	9/12	220	X	X	X		
		380	X		X		X
		440	X	X	X		

Tabela 5.23.6.1

**Obs.:** as chaves assinaladas podem ser utilizadas para respectiva execução de enrolamento, número de cabos e tensão de rede.

Y e YY representam o esquema de execução dos enrolamentos em 760V, porém, sua utilização é somente para partida estrela-triângulo, ou seja, não se trata de uma tensão nominal.

## 5.24 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES BÁSICOS DA CHAVE

Os critérios práticos de dimensionamento apresentados neste capítulo baseiam-se:

- Nas características dos componentes da chave;
- Nas seguintes condições de serviço:
  - Regime de serviço contínuo. Outros regimes, consultar a WEG Acionamentos.
  - Fator de serviço (FS) considerado um (1). Caso seja necessário utilizar um FS maior que um, este deverá ser considerado também no dimensionamento dos componentes de força e dos cabos de alimentação do motor.
  - Fator de segurança: deve ser considerado um fator de segurança no dimensionamento dos componentes básicos da chave para assegurar seu bom desempenho e vida útil, que podem ser prejudicados por:
    - a) Oscilações na rede (queda de tensão);
    - b) Altas corrente de partida (acima de  $6 \times I_n$ );
    - c) Tempos de partida muito longos.

**Obs:** Muitas vezes, no dimensionamento dos componentes de uma chave, depara-se com questões ligadas ao fator custo X benefício, fazendo com que se opte por uma composição mais econômica e conseqüentemente prejudicando o chamado fator de segurança.

### *Nomenclatura deste capítulo:*

- $I_n$  – corrente nominal do motor;
- $I_e$  – capacidade do contator, conforme categoria de emprego;
- $I_p$  – corrente de partida do motor;
- $I_p/I_n$  – fator para obter “ $I_p$ ”;
- $I_F$  – corrente nominal do fusível;
- $I_{FMÁX}$  – corrente máxima do fusível para contadores e relés;
- $T_p$  – tempo de partida;
- $I_L$  – corrente de linha;
- $Z$  – impedância do motor;
- $I_\Delta$  – corrente de fase em triângulo;
- $I_Y$  – corrente de fase em estrela;
- $U_n$  – tensão nominal da rede;
- $IK1$  – corrente no contator K1;
- $IK2$  – corrente no contator K2;
- $IK3$  – corrente no contator K3;
- $IK4$  – corrente no contator K4;
- $K$  – fator de redução de tensão;
- $I_S$  – corrente no secundário do auto-transformador;
- $I_{PR}$  – corrente no primário;
- $Z_{EQ}$  – impedância equivalente;
- $I_R$  – corrente reduzida para ligação série.

### 5.24.1 CHAVE DE PARTIDA DIRETA

#### 5.24.1.1 CORRENTE NO TRECHO

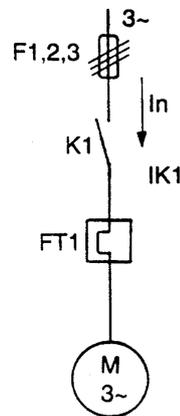


Figura 5.165 – Diagrama unifilar – Partida Direta

#### 5.24.1.2 ROTEIRO DE CÁLCULO

- Contator

$$K1 \rightarrow I_e \geq I_n \quad (5.18.1)$$

- Relé de sobrecarga

$$FT1 \rightarrow I_n \quad (5.18.1)$$

- Fusível de força

$$F1,2,3$$

- 1) Com  $I_p$  e  $T_p$ , mais uma curva característica de um fusível (tipo D ou NH), obtém-se o valor de  $I_F$ .
- 2)  $I_F \geq 1,20 \times I_n$ ;
- 3)  $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet K1$ ;  $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet FT1$

#### **Exemplo:**

Dimensionamento dos componentes de força de uma partida direta para acionar um motor trifásico de 30cv, IV pólos em rede de 380V/60Hz (trifásica com neutro).

#### **Solução:**

Do catálogo de motores WEG Auto Rendimento Plus, pode-se tirar os seguintes valores referentes ao motor:

- $I_n = 42,12 \text{ A}$ ;
- $I_p/I_n = 7,0$ ;

### **Contator**

Para dimensionar o contator, deve-se lembrar da fórmula 5.18.1, ou seja:

$$K1 \rightarrow I_e \geq I_n$$

$$K1 \rightarrow I_e \geq 42,12A$$

Logo o contator indicado será o CWM 50 (50A em AC3 – catálogo de contadores WEG).

- Número de contatos auxiliares

Em uma chave de partida direta, normalmente necessita-se, apenas de um contato auxiliar “NA”, visto no diagrama de comando ( o contator CWM 50 já possui um contato NA e um NF);

- Tensão de comando: 220V/60Hz.

Portanto o contator a ser especificado será CWM 50-11-30-V25/63A

### **Relé de sobrecarga**

$$FT \rightarrow I_n$$

Portanto o relé a ser escolhido pelo catálogo de contadores e relés WEG será o RW67-2D3-U057 (40...57)/100 A.

### **Fusíveis F1, F2, F3**

$$I_p = \frac{I_p}{I_n} \times I_n$$

$$I_p = 7,0 \times 42,12$$

$$I_p = 294,8 \cong 295 \text{ A.}$$

Considerando o tempo de partida  $T_p = 5s$ , e tomando como base uma curva característica de um fusível (catálogo de fusíveis WEG), tem-se:

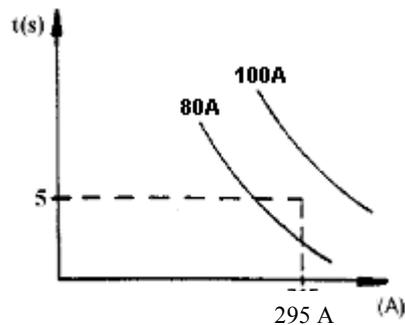


Figura 5.166

Em função de  $I_p$  e  $T_p$ , obtém-se um fusível de 100A ( $I_F = 100A$ ).  
Deve-se, ainda, verificar se o fusível atende as especificações 2 e 3, ou seja:

$$I_F \geq 1,20 \times I_n;$$

$I_F \geq 50,5A$ , o que é verificado, e ainda:

$$I_F \leq I_{FMÁX} \cdot K1;$$

$$I_F \leq 100A$$

$$I_F \leq I_{FMÁX} \cdot FT1;$$

$$I_F \leq 100A$$

o que também é verificado. Portanto, os fusíveis selecionados serão:

$$3 \times \text{FNH00-100U} + 3 \times \text{B00NH}$$

5.24.1.3 DIAGRAMA PADRÃO WEG

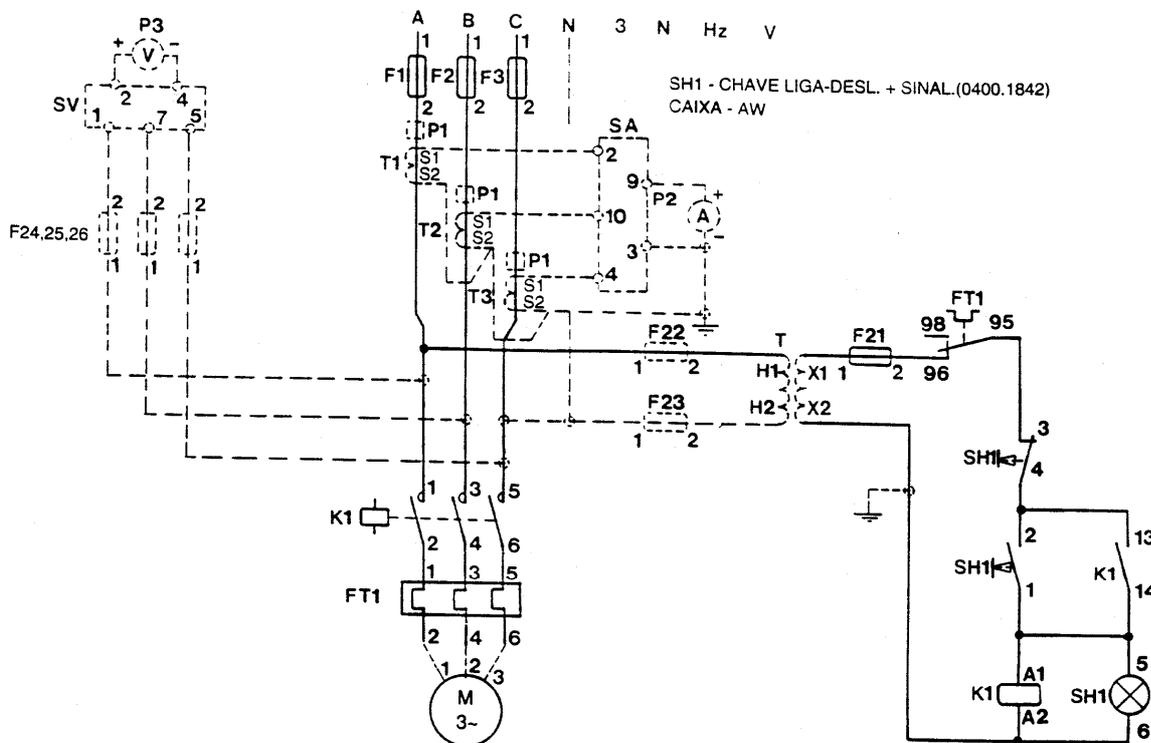


Figura 5.167 – Partida Direta

## 5.25 CHAVE DE PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

### 5.25.1 CORRENTES NOS TRECHOS

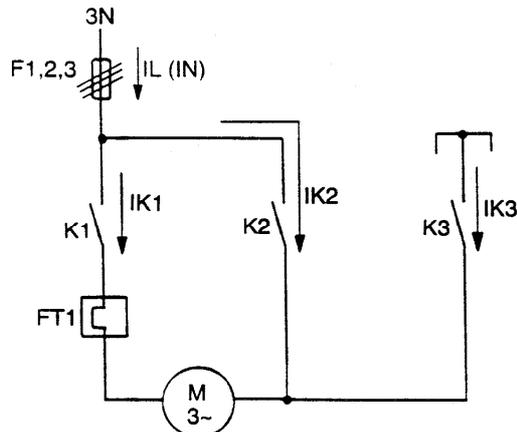


Figura 5.168

#### Contatores K1 e K2

Na ligação triângulo verifica-se a corrente que circula nos contatores “K1” e “K2”, são IK1 e IK2;

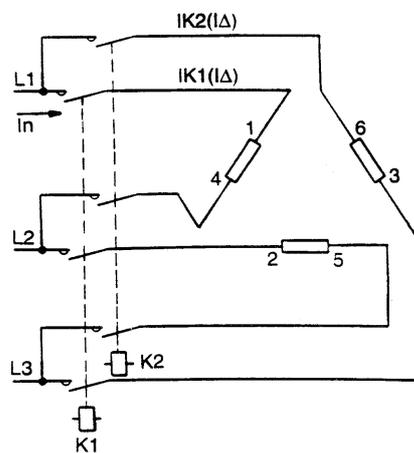


Figura 5.169 – Ligação triângulo

$$I_L = I_n$$

$$I_{\Delta} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Como } I_{\Delta} = IK1 = IK2 = \frac{I_n}{\sqrt{3}} = 0,58 \times I_n$$

$$Z = \frac{U_n}{\frac{I_n}{\sqrt{3}}} = \frac{U_n \times \sqrt{3}}{I_n}$$

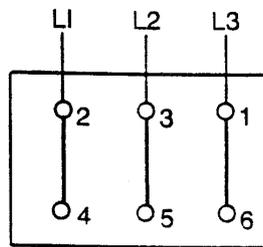


Figura 5.170 – Ligação dos terminais do motor em triângulo

### Contator K3

Na ligação estrela (Y) verifica-se que a corrente que circula no contator “K3” é IK3.

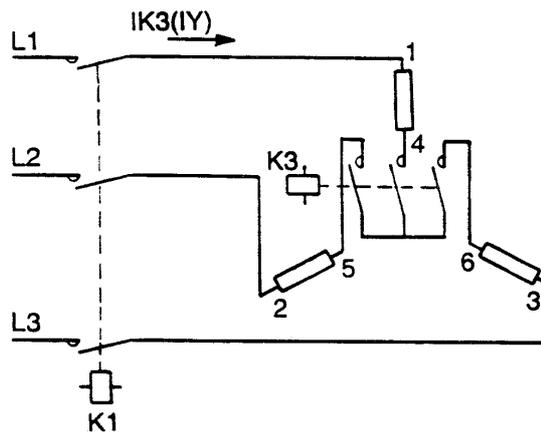


Figura 5.171 – Ligação estrela

$$I_Y = \frac{U_n}{Z} = \frac{U_n}{\frac{U_n \times \sqrt{3}}{I_n}}$$

$$I_Y = \frac{I_n}{3} = 0,33 \times I_n$$

Portanto  $IK3 = 0,33 \times I_n$

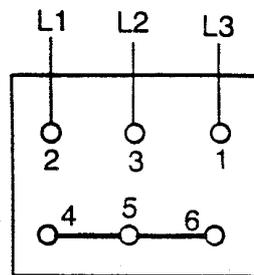


Figura 5.172 – Ligação dos terminais do motor em estrela

### Relé de sobrecarga FT1

$$IFT1 = IK1$$

$$IFT1 = 0,58 \times I_n$$

### Corrente de partida ( $I_p$ )

A corrente na partida é reduzida para 33% da corrente de partida sob ligação nominal (partida direta).

Esta relação é verdadeira pelas mesmas razões do dimensionamento do contator K3.

Então:

$$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,33$$

Resumindo, tem-se:

- $IK1 = IK2 = \frac{I_n}{\sqrt{3}} = 0,58 \times I_n$
- $IK3 = 0,33 \times I_n$
- $IFT1 = 0,58 \times I_n$
- $I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,33$

### 5.25.2 ROTEIRO DE CÁLCULO

- **Contatores**

$$K1 = K2 \rightarrow I_e \geq (0,58 \times I_n) \quad (5.19.1)$$

$$K3 \rightarrow I_e \geq (0,33 \times I_n) \quad (5.19.2)$$

- **Relé de Sobrecarga**

$$FT1 \rightarrow I_e \geq (0,58 \times I_n) \quad (5.19.3)$$

- **Fusíveis**

F1,2,3

1) Com  $I_p$  e  $T_p$ , mais uma curva característica de um fusível (tipo D ou NH), obtém-se o valor de  $I_F$ .

2)  $I_F \geq 1,20 \times I_n$ ;

3)  $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet K1$ ;       $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet FT1$

*Nota: Normalmente não se verifica esta condição para K3 pelo fato de ele somente participa do instante da partida, diminuindo assim o risco sobre o mesmo.*

- **Relé de tempo**

$$KT \rightarrow RTW.03.220 - Y\Delta$$

**Exemplo:** Dimensionamento dos componentes de força de uma partida estrela-triângulo para acionar um motor trifásico de 30cv, IV pólos (380/660V), em rede de 380V/60Hz (trifásica com neutro).

**Solução:**

Do catálogo de motores WEG Alto Rendimento Plus, pode-se tirar os seguintes valores referentes ao motor:

- $I_n = 42,64A$ ;
- $I_p/I_n = 7,0$ ;

**Contatores**

Para dimensionar os contatores, deve-se lembrar da fórmulas 5.19.1 e 5.19.2, ou seja:

$$K1 = K2 \rightarrow I_e \geq (0,58 \times I_n)$$

$$I_e \geq (0,58 \times 42,64)$$

$$I_e \geq 24,7A$$

Logo o contator indicado será o CWM 25 (25A em AC3 – catálogo de contatores WEG).

$$K3 \rightarrow I_e \geq (0,33 \times I_n)$$

$$I_e \geq (0,33 \times 42,64)$$

$$I_e \geq 14,07A$$

Logo o contator indicado será o CWM 18 (18A em AC3 – catálogo de contadores WEG).

- **Número de contatos auxiliares**

Em uma chave de partida estrela-triângulo, normalmente necessita-se, para o contator K1 dois contatos NA, para os contadores K2 e K3, um contato NA e um NF.

- **Tensão de comando: 220V/60Hz, para os três contadores.**

Portanto, os contator a serem especificados serão:

- ⇒ 02 CWM 25-10-30-V25/50 A;
- ⇒ 01 CWM 18-10-30-V25/35 A;
- ⇒ 01 BCXMF 10;
- ⇒ 02 BCXMF 01.

#### Relé de sobrecarga

$$\begin{aligned} \text{FT1} &\rightarrow I_e \geq (0,58 \times I_n) \\ I_e &\geq (0,58 \times 42,64) \\ I_e &\geq 24,7 \text{ A} \end{aligned}$$

Portanto o relé a ser escolhido pelo catálogo de contadores e relés WEG será o RW27-1D-3-U032 (22...32)/ 63 A.(catálogo de contadores e relés WEG).

#### Fusíveis F1, F2, F3

$$\begin{aligned} I_p &= \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,33 \\ I_p &= (7,0 \times 42,64) \times 0,33 \\ I_p &= 98,5 \cong 99 \text{ A.} \end{aligned}$$

Considerando o tempo de partida  $T_p = 10\text{s}$ , e tomando como base uma curva característica de um fusível (catálogo de fusíveis WEG), tem-se:

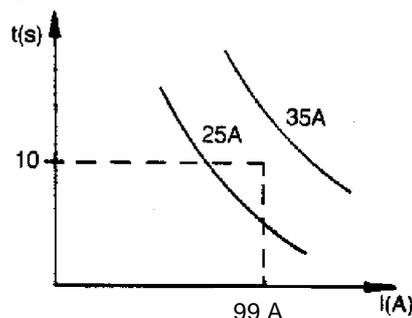


Figura 5.173

Em função de  $I_p$  e  $T_p$ , obtém-se um fusível de 35A ( $I_F = 35A$ ).

Deve-se, ainda, verificar se o fusível atende as especificações 2 e 3, ou seja:

$$I_F \geq 1,20 \times I_n ;$$

$$I_F \geq 51,2A , \text{ o que } \mathbf{n\tilde{a}o} \text{ é verificado, e ainda:}$$

$$I_F \leq I_{FM\acute{A}X} \bullet K1 K2 ;$$

$$I_F \leq 50A$$

$$I_F \leq I_{FM\acute{A}X} \bullet FT1 ;$$

$$I_F \leq 63A$$

Como uma das condições acima não foi satisfeita, opta-se pela configuração de seis fusíveis, onde os fusíveis são separados em dois circuitos conforme figura 5.19.8. Neste caso:

$$I_F \geq 1,20 \times I_n \times 0,58$$

$$I_F \geq 29,68A$$

portanto, agora, foi verificada a primeira condição. Especificando os fusíveis, tem-se:

- 6 x TFW 63;
- 6 x FDW 35;
- 6 x APW 63;
- 6 x PAW 35;
- 6 x BAW 63.

#### **Relé de tempo**

KT1 → RTW – ET .02 - U003S E05

5.25.3 DIAGRAMA PADRÃO WEG

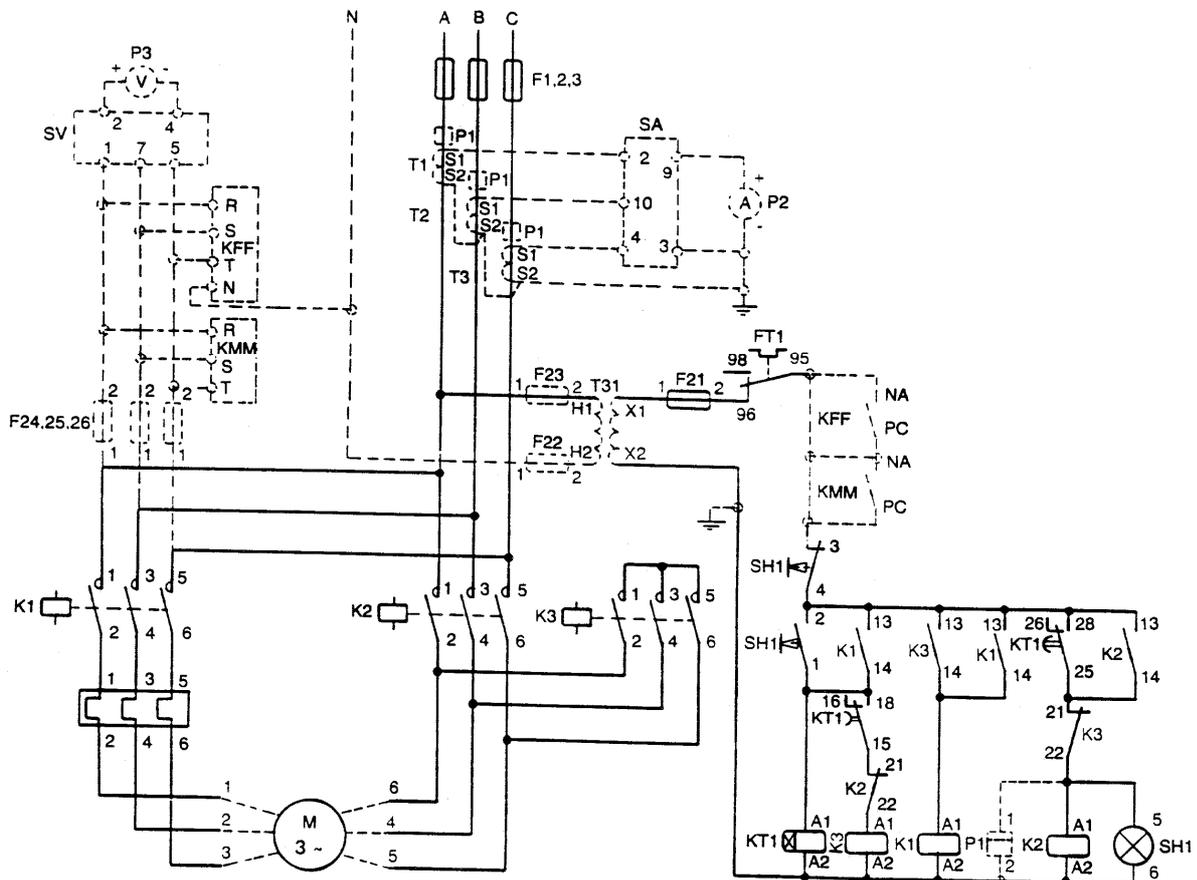


Figura 5.174 – Partida estrela-triângulo utilizando a configuração com três fusíveis

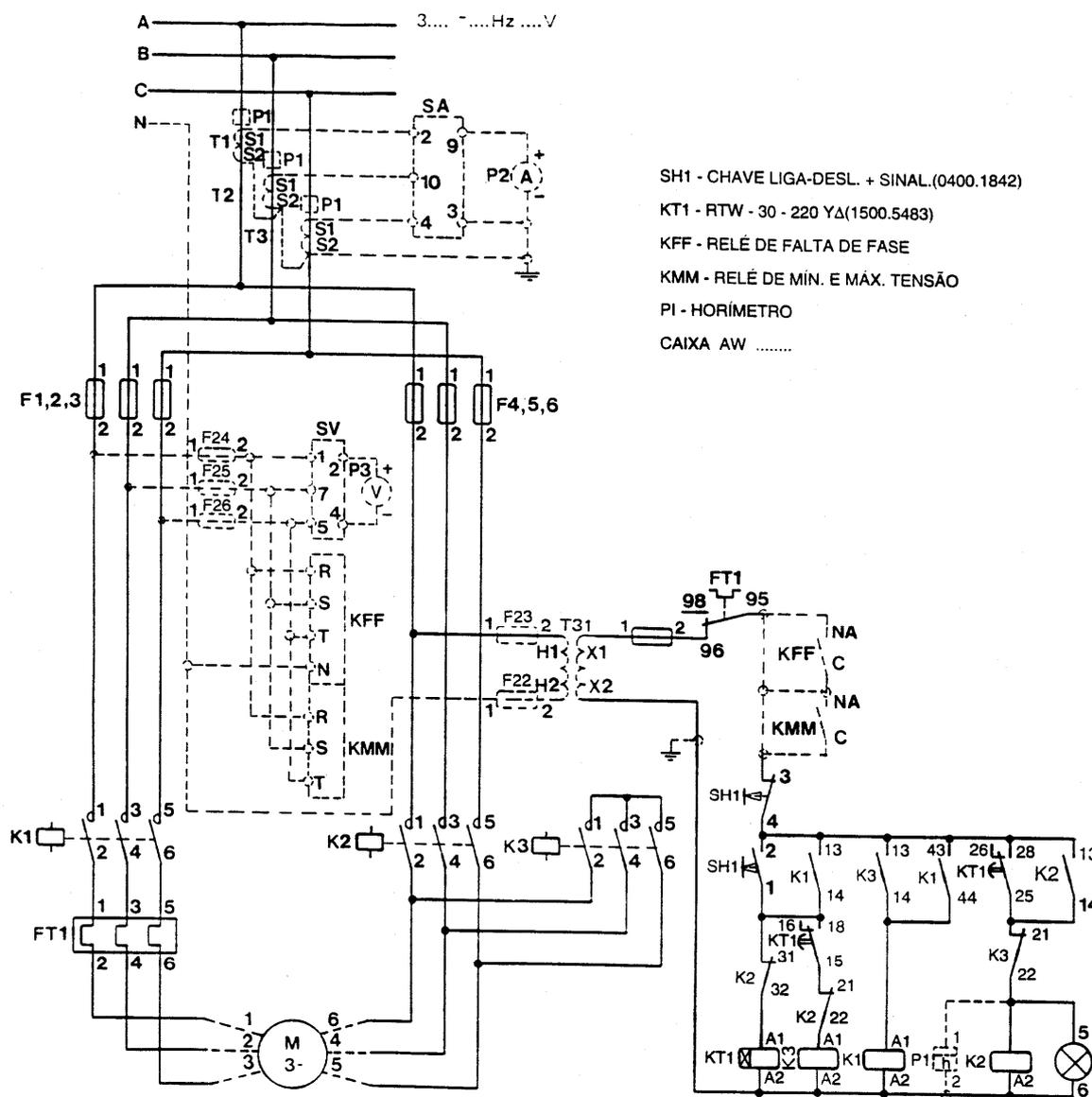


Figura 5.175 – Diagrama utilizado quando no diagrama da figura acima não é possível dimensionar os fusíveis satisfazendo a 1ª condição

## 5.26 CHAVE DE PARTIDA COMPENSADORA

### 5.26.1 CORRENTE NOS TRECHOS

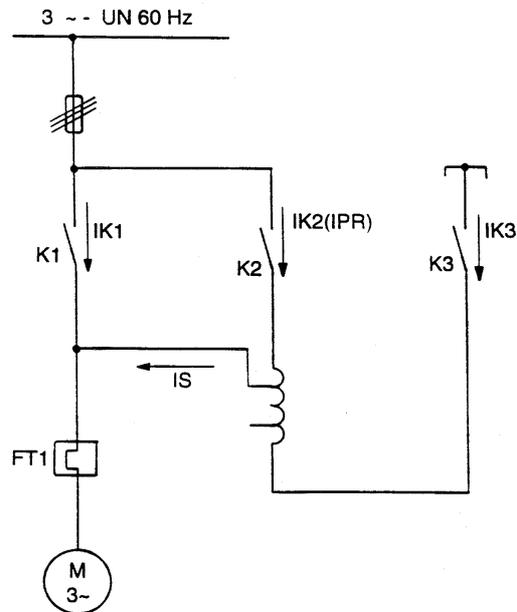


Figura 5.176

**Contator K1**

$$IK1 = I_n \quad (5.20.1)$$

**Contator K2**

Considerando-se “Z” constante tem-se que:

- Em condições normais com tensão nominal ( $U_n$ ):

$$Z = \frac{U_n}{I_n}$$

- Com tensão reduzida ( $U_n \times K$ ):

$$Z' = \frac{K \times U_n}{I_s}$$

Como  $Z = Z'$ , tem-se:

$$\frac{U_n}{I_n} = \frac{K \times U_n}{I_s} \quad \rightarrow \quad I_s = K \times I_n$$

Como a potência a ser dissipada no auto-trafo é a mesma tanto no primário ( $P_{PR}$ ) como no secundário ( $P_S$ ), tem-se que:

$$P_S = U_S \times I_S \quad U_S = K \times U_n \quad I_S = K \times I_n$$

$$P_{PR} = U_{PR} \times I_{PR} \quad U_{PR} = U_n \quad I_{PR} = IK2$$

$$\begin{aligned} P_S &= P_{PR} \\ U_S \times I_S &= U_{PR} \times I_{PR} \\ (K \times U_n) \times (K \times I_n) &= U_n \times IK2 \\ IK2 &= K^2 \times I_n \end{aligned} \quad (5.20.2)$$

**Contator K3**

$$IK3 = I_S - I_{PR}$$

Referindo a expressão à “ $I_n$ ”:

$$\begin{aligned} I_{PR} &= IK2 = K^2 \times I_n \\ I_S &= K \times I_n \end{aligned}$$

Logo:

$$IK3 = (K \times I_n) - (K^2 \times I_n)$$

$$IK3 = (K - K^2) \times I_n \quad (5.20.3)$$

A tabela a seguir está em acordo com as expressões desenvolvidas anteriormente:

Auto-trafo com Tap's em % de $U_n$	Fator de redução (K)	Correntes	
		IK2	IK3
85	0,85	$0,72 \times I_n$	$0,13 \times I_n$
80	0,80	$0,64 \times I_n$	$0,16 \times I_n$
65	0,65	$0,42 \times I_n$	$0,23 \times I_n$
50	0,50	$0,25 \times I_n$	$0,25 \times I_n$

Tabela 5.26.1.1

**Nota:** como os Tap's mais usados são 65% e 80%, onde deveremos dimensionar a chave para o pior caso (maior corrente no ramal). Por exemplo, se tivéssemos uma partida compensadora com os tap's de 65% e 80% disponíveis em nosso auto-transformador, com dimensionaríamos os contadores e o relé de sobrecarga? (lembrando que devemos adotar sempre o pior caso):

- $IK1 = I_n$ ;
- $IK2 = 0,64 \times I_n$ ; - neste caso, a pior condição é o tap de 80%.
- $IK3 = 0,23 \times I_n$ ; - neste caso, a pior condição é o tap de 65%.
- $IFT1 = I_n$ .

**Corrente de partida ( $I_p$ )**

A redução da corrente de partida é proporcional ao quadrado do fator de redução (K). Esta relação é verdadeira pelos mesmos motivos do dimensionamento do contator K2.

Tap 80% (80% da $U_n$ )	Tap 65% (65% da $U_n$ )
$K = 0,80$	$K = 0,65$
$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times K^2$	$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times K^2$
$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times (0,8)^2$	$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times (0,65)^2$
$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,64$	$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,42$

Tabela 5.26.1.2

Utiliza-se o pior caso (maior corrente) para tornar a chave apta para ambas situações, então:

$$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,64$$

### 5.26.2 ROTEIRO DE CÁLCULO

- **Contatores**

$$K1 \rightarrow I_e \geq I_n \quad (5.20.4)$$

$$K2 \rightarrow IK2 = K^2 \times I_n \quad (5.20.5)$$

$$K3 \rightarrow IK3 = (K - K^2) \times I_n \quad (5.20.6)$$

- **Relé de Sobrecarga**

$$FT1 \rightarrow I_n \quad (5.20.7)$$

- **Fusíveis**

F1,2,3

1) Com  $I_p$  e  $T_p$ , mais uma curva característica de um fusível (tipo D ou NH), obtém-se o valor de  $I_F$ .

2)  $I_F \geq 1,20 \times I_n$ ;

3)  $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet K1$ ;  $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet FT1$

*Nota: não é necessário verificar esta condição para K2 e K3*

- **Auto-transformador de partida T1**

O dimensionamento do auto-transformador de partida deve ser feito levando em consideração a quantidade de partidas por hora, tensão, frequência e potência do motor a ser acionado.

- **Relé de tempo (KT1)**

KT → RTW - RE .01 – U030S E05

**Exemplo:** Dimensionamento dos componentes básicos de uma partida compensadora (Com tap's de 80% e 65%) para acionar um motor trifásico de 30cv, 380V, IV pólos, em rede de 380V/60Hz (trifásica com neutro).

**Solução:**

Do catálogo de motores WEG Alto Rendimento Plus, pode-se tirar os seguintes valores referentes ao motor:

- $I_n = 42,64A$ ;
- $I_p/I_n = 7,0$ ;

**Contatores**

Para dimensionar os contatores, deve-se lembrar da fórmulas 5.20.4, 5.20.5 e 5.20.6, ou seja:

$$K1 \rightarrow I_e \geq I_n$$
$$I_e \geq 42,64A$$

Logo o contator indicado será o CWM 50 (50A em AC3 – catálogo de contatores WEG).

$$K2 \rightarrow IK2 = K^2 \times I_n$$
$$I_e \geq (0,64 \times 42,64)$$
$$I_e \geq 27,29A$$

Logo o contator indicado será o CWM 32 (32A em AC3 – catálogo de contatores WEG).

$$K3 \rightarrow IK3 = (K - K^2) \times I_n$$
$$I_e \geq (0,23 \times 42,64)$$
$$I_e \geq 9,81A$$

Logo o contator indicado será o CWM 12 (12A em AC3–catálogo de contatores WEG).

- **Número de contatos auxiliares**

Em uma chave de partida compensadora, normalmente necessita-se, para o contator K1 um contato NA e dois contatos NF, para o contator K2 dois contatos NA e para o contator K3, um contato NA e um NF.

- **Tensão de comando: 220V/60Hz, para os três contatores.**

Portanto, os contator a serem especificados serão:

- ⇒ 01 CWM 50-11-30-V25/100 A;
- ⇒ 01 CWM 32-10-30-V25/63 A;
- ⇒ 01 CWM 12-11-30-V25/25 A;
- ⇒ 01 BCXMF 10;
- ⇒ 01 BCXMF 01.

#### **Relé de sobrecarga**

$$FT1 \rightarrow I_e \geq I_n$$

$$I_e \geq 42,64A$$

Portanto o relé a ser escolhido pelo catálogo de contatores e relés WEG será o RW67-2D3-U57 (40...57)/100 A.(catálogo de contatores e relés WEG).

#### **Fusíveis F1, F2, F3**

$$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,64$$

$$I_p = (7,5 \times 42,64) \times 0,64$$

$$I_p = 191 A$$

Considerando o tempo de partida  $T_p = 15s$ , e tomando como base uma curva característica de um fusível (catálogo de fusíveis WEG), tem-se:

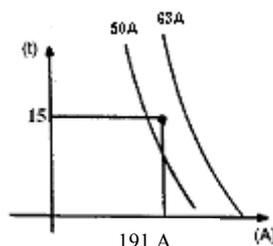


Figura 5.177

Em função de  $I_p$  e  $T_p$ , obtém-se um fusível de 63A ( $I_F = 63A$ ).

Deve-se, ainda, verificar se o fusível atende as especificações 2 e 3, ou seja:

$$I_F \geq 1,20 \times I_n; \quad I_F \geq 51,17A, \text{ o que é verificado, e ainda:}$$

$$I_F \leq I_{FMÁX} \cdot K1;$$
$$I_F \leq 100A$$

$$I_F \leq I_{FMÁX} \cdot FT1;$$
$$I_F \leq 100A$$

Como as condições acima foram satisfeitas, o fusível a ser escolhido será o de 63A. Especificando-os, tem-se:

- 3 x F1NH63;
- 3 x B1NH.

***Auto-transformador***

T1 → 30cv, 10 partidas/hora, com termostato, tap's de 65% e 80%.

***Relé de tempo***

KT1 → RTW - RE .01 – U030S E05

5.26.3 DIAGRAMA PADRÃO WEG

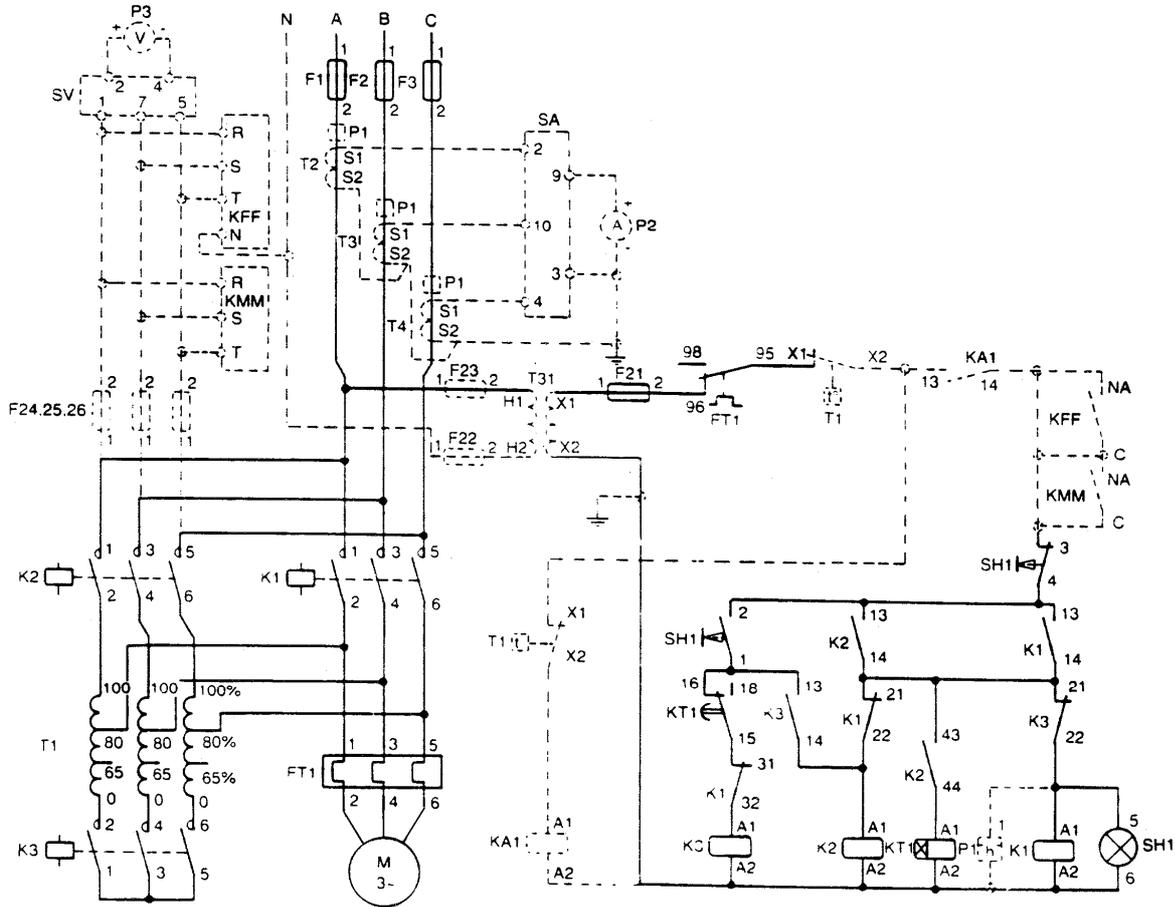


Figura 5.178

## 5.27 CHAVE DE PARTIDA ESTRELA SÉRIE PARALELA

### 5.27.1 CORRENTE NOS TRECHOS

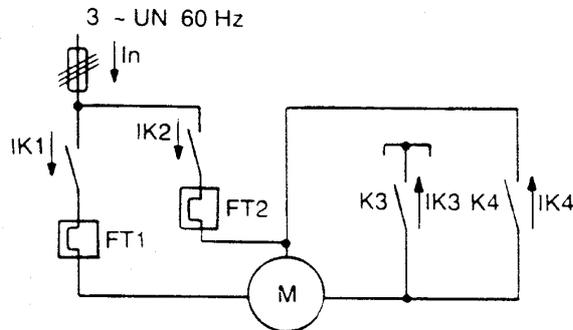


Figura 5.179

#### Contatores K1, K2, K3

Inicialmente analisa-se as bobinas do motor em paralelo.

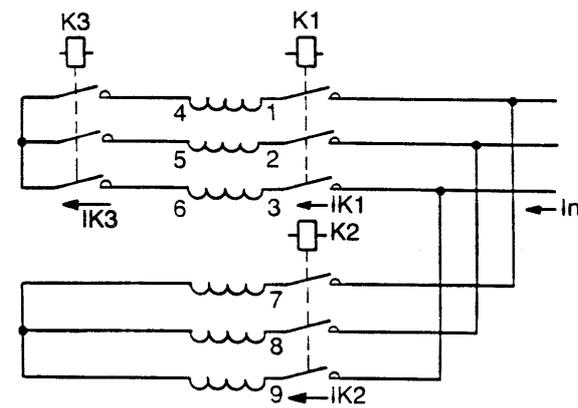


Figura 5.180 – Ligação em paralelo

$$I_n = \frac{U_n}{Z_{EQ}} = \frac{U_n}{\frac{Z}{2}} = \frac{2 \times U_n}{Z}$$

Onde:

$$Z_{EQ} = \frac{Z \times Z}{Z + Z} = \frac{Z \times Z}{2 \times Z} = \frac{Z}{2}$$

Como as impedâncias são iguais, a corrente se subdivide, ou seja: tem o mesmo valor nos dois ramais:

$$IK1 = IK2 = IK3 = \frac{I_n}{2} = 0,5 \times I_n$$

### Contator K4

Para definição deste contator analisa-se a ligação série:

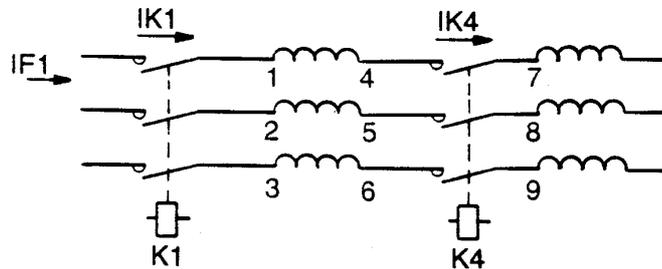


Figura 5.181

$$I_R = IK1 = IK4 = \frac{U_n}{Z_{EQ}}$$

$$Z_{EQ} = Z + Z = 2 \times Z, \quad \text{logo} \quad I_R = \frac{U_n}{2 \times Z}$$

Sabendo-se que  $I_n = 2 \times \left( \frac{U_n}{Z} \right)$ , então:

$$Z \times I_n = 2 \times U_n \quad \rightarrow \quad U_n = \frac{Z \times I_n}{2}$$

$$I_R = \frac{I_n}{4} = 0,25 \times I_n$$

$$IK1 = IK4 = 0,25 \times I_n$$

**Nota:** o contator K1 está inserido nas duas ligações. Dimensiona-se este para o pior caso ( $0,5 \times I_n$ ).

### Relé de sobrecarga

$$IFT1 = IK1 = 0,5 \times I_n;$$

$$IFT2 = IK2 = 0,5 \times I_n$$

Então:

$$IK1 = IK2 = IK3 = 0,5 \times I_n$$

$$IK4 = 0,25 \times I_n$$

$$IFT1 = IFT2 = 0,5 \times I_n$$

A corrente na partida é reduzida para aproximadamente 25% da corrente de partida sob ligação nominal. Esta relação é verdadeira pelos mesmos motivos do dimensionamento do contator K4.

$$I_p = \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,25$$

### 5.27.2 ROTEIRO DE CÁLCULO

- **Contatores**

$$K1 = K2 = K3 \rightarrow I_e \geq (0,5 \times I_n) \quad (5.21.1)$$

$$K4 \rightarrow I_e \geq (0,25 \times I_n) \quad (5.21.2)$$

- **Relé de Sobrecarga**

$$FT1 \rightarrow 0,5 \times I_n \quad (5.21.3)$$

- **Fusíveis**

F1,2,3

- 1) Com  $I_p$  e  $T_p$ , mais uma curva característica de um fusível (tipo D ou NH), obtém-se o valor de  $I_F$ .
- 2)  $I_F \geq 1,20 \times I_n$ ;
- 3)  $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet K1$ ;       $I_F \leq I_{FMÁX} \bullet FT1$

*Nota: não é necessário verificar esta condição para K4*

- **Relé de tempo**

$$KT \rightarrow RTW - RE .01 - U030S E05$$

**Exemplo:** Dimensionamento dos componentes básicos de uma chave de partida estrela série paralelo para acionar um motor trifásico de 30cv, 220/380/660/Y, IV pólos, em rede de 380V/60Hz (trifásica com neutro).

**Solução:**

Do catálogo de motores WEG, pode-se tirar os seguintes valores referentes ao motor:

- $I_n = 42,08A$ ;
- $I_p/I_n = 7,5A$ ;

**Contatores**

Para dimensionar os contatores, deve-se lembrar da fórmulas 5.21.1 e 5.21.2, ou seja:

$$K1 = K2 = K3 \rightarrow I_e \geq (0,5 \times I_n)$$

$$I_e \geq (0,5 \times 42,08)$$

$$I_e \geq 21,04A$$

Logo o contator indicado será o CWM 25 (25A em AC3 – catálogo de contadores WEG).

$$\begin{aligned}K4 \rightarrow I_e &\geq (0,25 \times I_n) \\ I_e &\geq (0,25 \times 42,08) \\ I_e &\geq 10,52A\end{aligned}$$

Logo o contator indicado será o CWM 12 (12A em AC3 – catálogo de contadores WEG).

- **Número de contatos auxiliares**

Em uma chave de partida estrela série paralelo, normalmente necessita-se, para o contator K1 dois contatos NA, para o contator K2 um contato NA e dois contatos NF, para o contator K3 um contato NA e para o contator K4 um contato NA e um NF.

- **Tensão de comando: 220V/60Hz, para os três contadores.**

Portanto, os contator a serem especificados serão:

- ⇒ 03 CWM 25-10-30-V25/45 A;
- ⇒ 01 CWM 12-10-30-V25/25 A;
- ⇒ 01 BCXMF 10;
- ⇒ 03 BCXMF 01.

**Relé de sobrecarga**

$$\begin{aligned}FT1, FT2 \rightarrow I_e &\geq 0,5 \times I_n \\ I_e &\geq 22,3A\end{aligned}$$

Portanto o relé a ser escolhido pelo catálogo de contadores e relés WEG será o RW27-1D3-U032 (22...32)/63 A.(catálogo de contadores e relés WEG).

**Fusíveis F1, F2, F3**

$$\begin{aligned}I_p &= \left( \frac{I_p}{I_n} \times I_n \right) \times 0,25 \\ I_p &= (7,5 \times 42,08) \times 0,25 \\ I_p &= 78,9 A \cong 79A\end{aligned}$$

Considerando o tempo de partida  $T_p = 10s$ , e tomando como base uma curva característica de um fusível (catálogo de fusíveis WEG), tem-se:

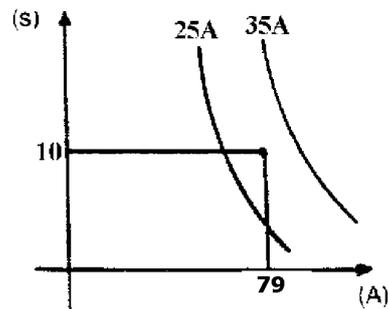


Figura 5.182

Em função de  $I_p$  e  $T_p$ , obtém-se um fusível de 35A ( $I_F = 35A$ ).  
Deve-se, ainda, verificar se o fusível atende as especificações 2 e 3, ou seja:

$$I_F \geq 1,20 \times I_n; \quad I_F \geq 50,5A, \text{ o que não é verificado, e ainda:}$$

$$I_F \leq I_{FMÁX} \bullet K1, K2, K3;$$

$$I_F \leq 50A$$

$$I_F \leq I_{FMÁX} \bullet FT1, FT2;$$

$$I_F \leq 63A$$

Como uma das condições acima não foi satisfeita, opta-se pelo esquema de seis fusíveis, conforme figura 5.20.6, onde eles são separados em dois circuitos. Neste caso:

$$I_F \geq 1,20 \times I_n \times 0,25$$

$$I_F \geq 12,62A$$

portanto, agora, foi verificada a primeira condição. Especificando os fusíveis, tem-se:  
Especificando-os, tem-se:

- 6 x TFW63;
- 6 x FDW35;
- 6 x APW63;
- 6 x PAW35;
- 6 x BAW63.

#### Relé de tempo

KT1 → RTW - RE .01 – U030S E05

5.27.3 DIAGRAMA PADRÃO WEG

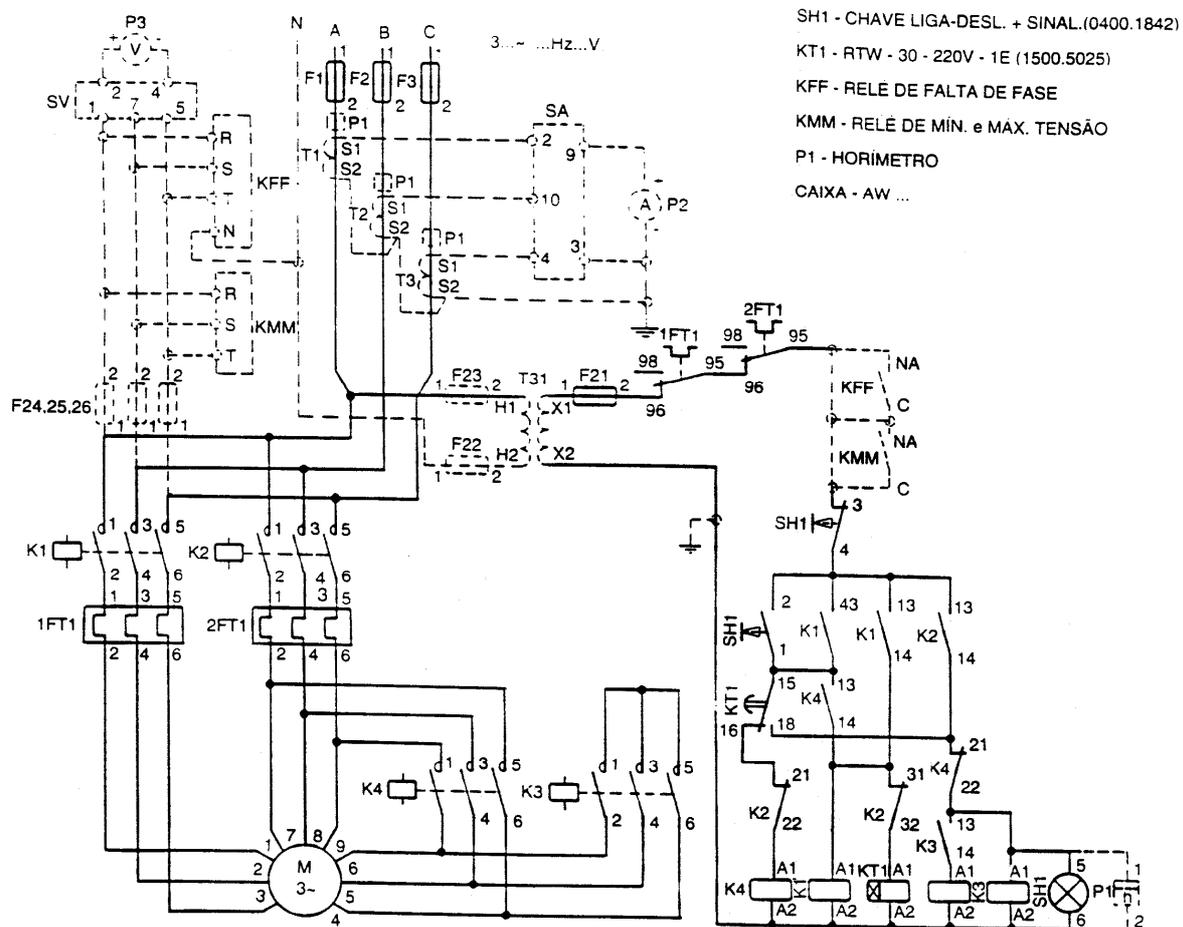


Figura 5.183 – Partida estrela série paralelo com três fusíveis



### 5.28 EQUIPAMENTOS OPCIONAIS

OPCIONAIS PARA CHAVES ESTRELA-TRIÂNGULO E COMPENSADORA E SÉRIE PARALELO														
Potência (cv)			Amperímetro exat. 1,5% escala (1)	T1, T2, T3			Voltímetro exatidão ret. Escala (1)	Conjunto fusível retarda. Tipo D (A)	KFF				S2	S3
220V	380V	440V		Relação (A)	Classe Exatid. potência	Tipo			P3(V)	Fusíveis 24,25,26	FF	TR		
	7,5	7,5	0-15/30				15-5	1.2C 2.5	BDE 64P	Em 220V escala de 0-250V Em 380V, 440V escala de 0-500V	2A	Relé falta de fase 220V, 60Hz	Relé falta de fase 380V, 60Hz, sem neutro	Relé falta de fase 380V, 60Hz, com neutro
5-6	10	10-12,5	0-20/40	20-5										
7,5	12,5	15	0-25/50	25-5										
	15	20	0-30/60	30-5										
10-12,5	20-25	25	0-40/80	40-5										
15	30	30	0-50/100	50-5	3.1C 2.5	BDE 67E								
20		40	0-60/120	60-5										
25	40	50	0-75/150	75-5										
30	50-60	60-75	0-100/200	100-5	1.2C 2.5	BDX 74A								
40-50	75	100	0-150/300	150-5										
60-75	100-125	125-150	0-200/400	200-5										
	150	175	0-250/500	250-5										
100	175	200	0-300/600	300-5	0.6C 2.5	BDX 74A								
125-150	200-250	250-300	0-400/800	400-5										
175	300	350	0-500/1000	500-5	0.3C 2.5	BDX 74A								
200	350	400-450	0-600/1200	600-5										
250-300	400 450-500	500	0-800/1600	800-5										

Tabela 5.28.1

- Amperímetro ligado a TC, voltímetro ligado direto, medidores com formato 72x72 mm

## 5.29 DIAGRAMA DE CHAVES ESPECIAIS

Os diagramas apresentados neste capítulo são genéricos e sugestivos, pois a configuração das ligações dependem muito das necessidades específicas de cada aplicação e também da criatividade do projetista.

O dimensionamento das chaves especiais (chaves de uso esporádico) deve respeitar as características dos componentes e os critérios de dimensionamento.

### 5.29.1 REVERSÃO DIRETA

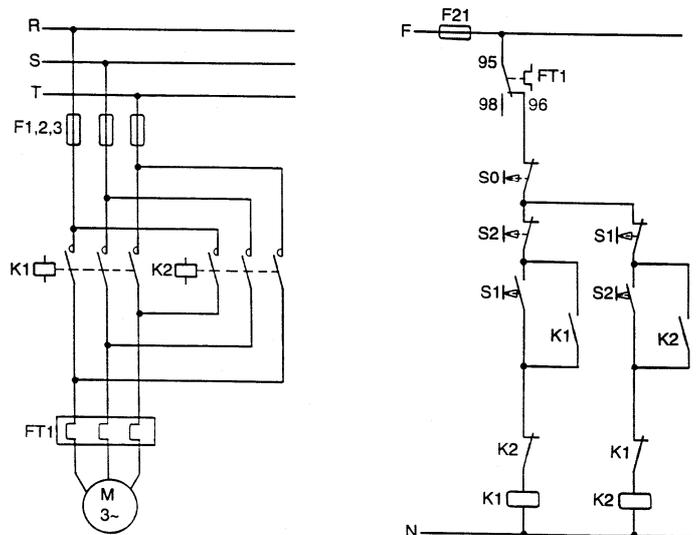


Figura 5.185 – Diagrama de força e comando

### 5.29.2 PARTIDA DIRETA COM FRENAGEM

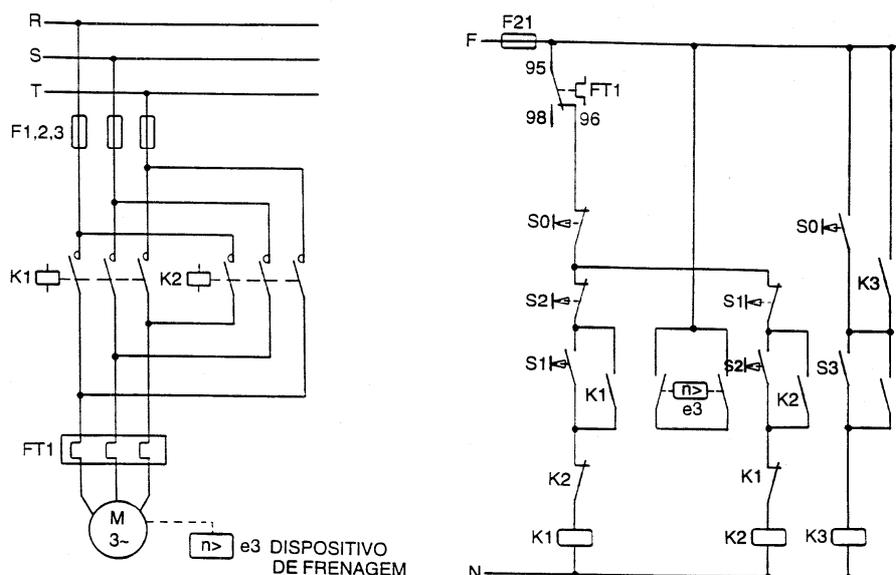


Figura 5.186

### 5.29.3 COMANDO POR BOTÃO FIM DE CURSO

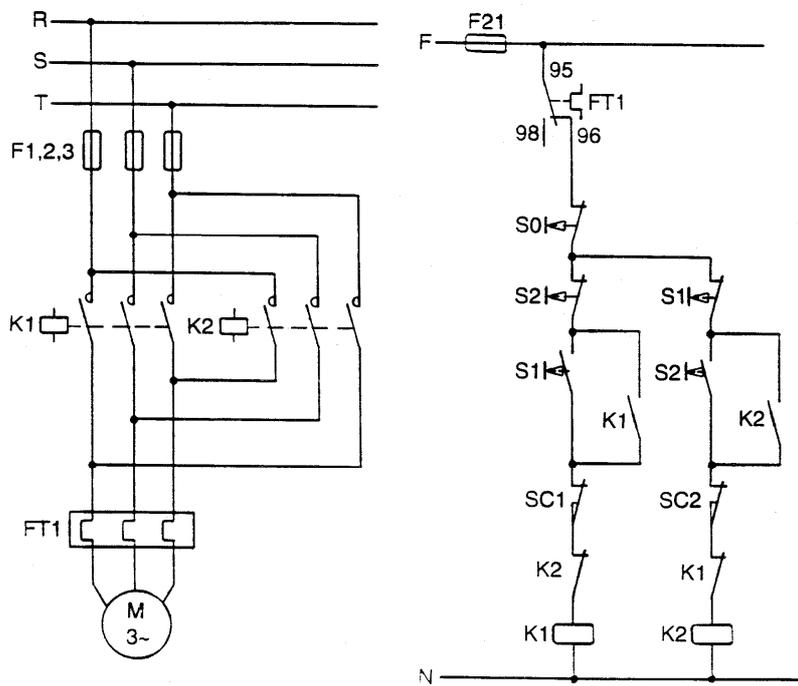


Figura 5.187

### 5.29.4 COMANDO POR PRESSOSTATO

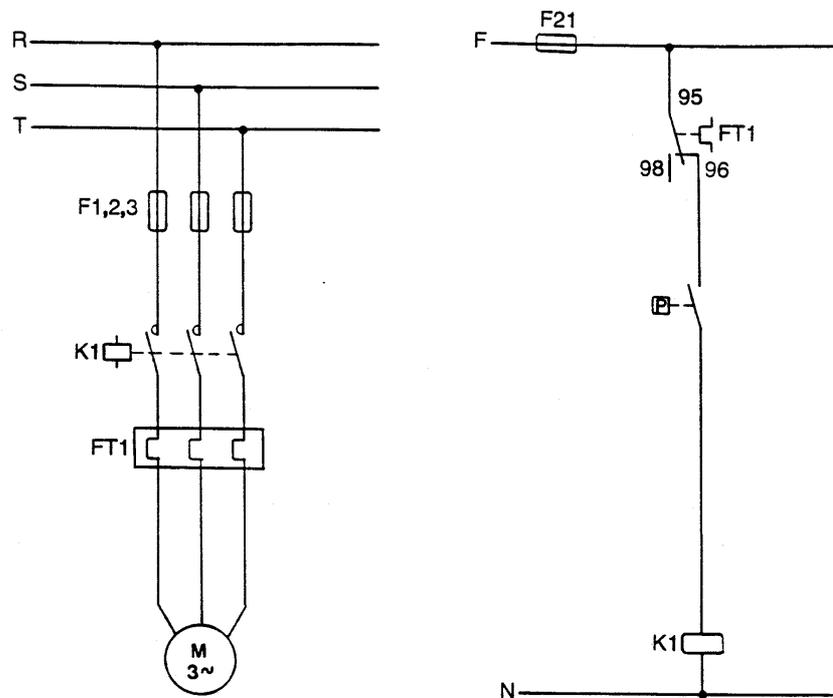


Figura 5.188

### 5.29.5 PROTEÇÃO TÉRMICA POR TERMISTOR

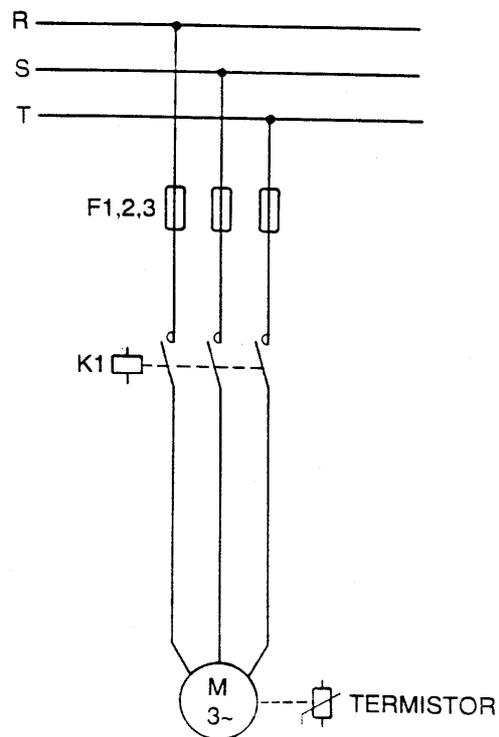


Figura 5.189

### 5.29.6 MOTOR DE DUAS ROTAÇÕES COM DOIS ENROLAMENTOS SEPARADOS

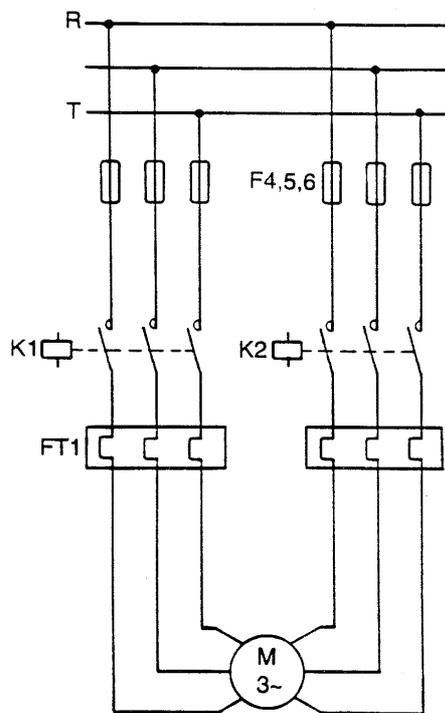


Figura 5.190

### 5.29.7 MOTOR DAHLANDER

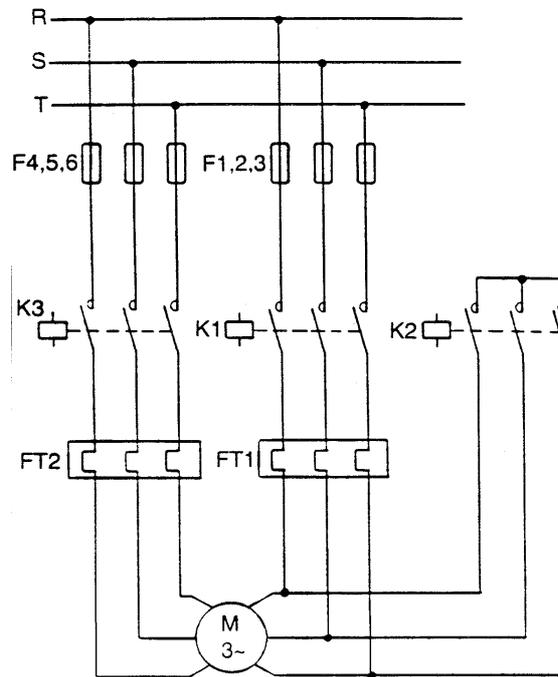


Figura 5.191

### 5.29.8 ESTRELA-TRIÂNGULO COM REVERSÃO

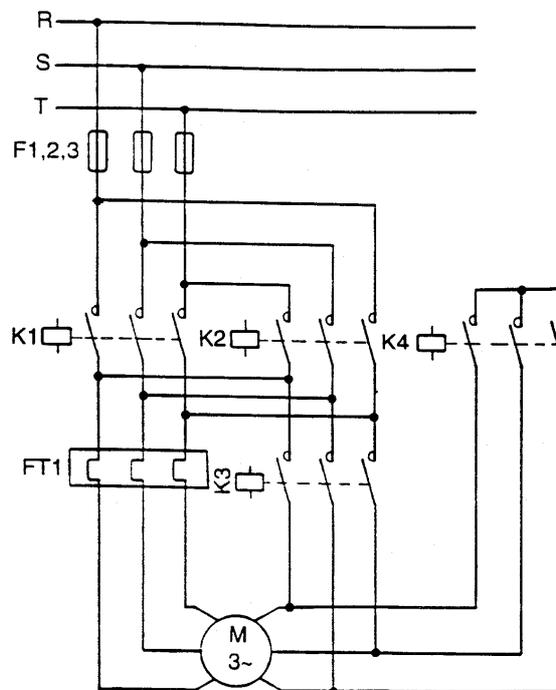


Figura 5.192

### 5.29.9 PARTIDA COMPENSADORA COM APENAS UM AUTO TRANSFORMADOR

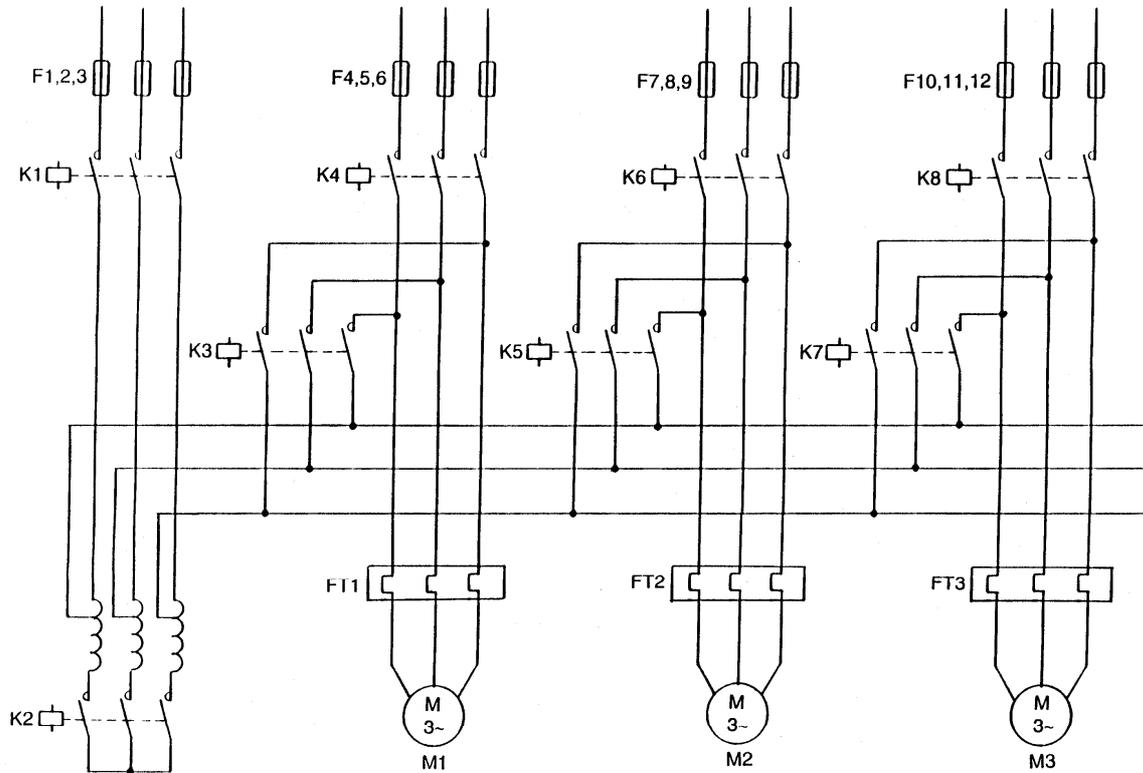


DIAGRAMA DE FORÇA

Figura 5.193

## 5.30 CONDIÇÃO DE SERVIÇOS DE CHAVES

### 5.30.1 QUEDA DE TENSÃO

É importante salientar que a queda de tensão é um dos principais problemas operacionais de circuitos elétricos em baixa tensão.

#### 5.30.1.1 CIRCUITOS ALIMENTADORES DE MOTORES ELÉTRICOS

Conforme NBR 5410, a queda de tensão entre a origem da instalação e os terminais do motor deve ser igual ou inferior aos valores a seguir:

- 5%, para instalações alimentadas diretamente por ramal de baixa tensão, a partir de uma rede de distribuição pública de baixa tensão.

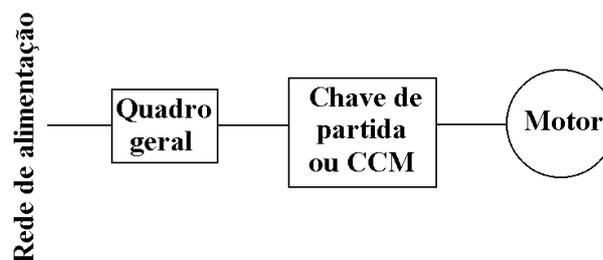


Figura 5.194

- 8%, para instalações alimentadas diretamente por uma subestação de transformação a partir de uma instalação de alta tensão ou que possuam fonte própria.

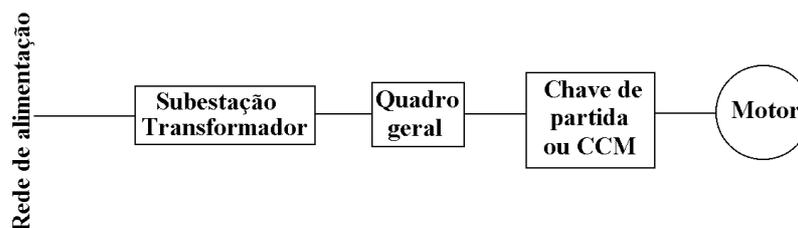


Figura 5.195

*Nota:* em qualquer um dos casos acima, a queda de tensão parcial nos circuitos terminais (chaves de partida por exemplo), deve ser igual ou inferior a 2%.

#### 5.30.1.2 MOTORES DE INDUÇÃO

Segundo a norma NBR 7094, o motor deve funcionar satisfatoriamente com 10% da variação de tensão, à frequência nominal.

Desempenho do motor	Tensão 20% acima da nominal	Tensão 10% acima da nominal	Tensão 10% abaixo da nominal
Conjugado de partida / conjugado máximo	Aumenta 54%	Aumenta 26%	Diminui 24%
Corrente de partida	Aumenta 27%	Aumenta 13%	Diminui 12%
Corrente de plena carga (In)	Aumenta 5%	Diminui 2%	Aumenta 8%
Rotação	Aumenta 1%	Aumenta 0,3 %	Diminui 1%
Rendimento	Diminui 2%	Diminui 0,3 %	Diminui 1%
Fator de potência	Diminui 19%	Diminui 7%	Aumenta 4%
Temperatura	Aumenta 18°C	Aumenta 2°C	Aumenta 9°C
Ruído magnético sem carga	Aumento perceptível	Ligeiro aumento	Ligeira diminuição

Tabela 5.30.1.2.1 – Efeito aproximado da variação de tensão

### 5.30.1.3 CIRCUITOS DE COMANDO

A queda de tensão permitida pela norma VDE 0100, é 5%.

### 5.30.1.4 COMPONENTES DE COMANDO

Componentes de comando	Queda de tensão	Sobretensão
Bobina de contatores WEG	20%	10%
Relés eletrônicos WEG	15%	10%
Transformador de comando	5%	5%

Tabela 5.30.1.4.1 – Limites de variação de tensão

Caso a “queda de tensão” no circuito de comando ultrapasse os valores especificados anteriormente, acarretará instabilidade de comando, que provoca ricochete e arco elétrico.

Por esses motivos pode-se afirmar que a queda de tensão excessiva é o principal causador de colamento de contatos e queima de bobinas de contatores.

### 5.30.1.5 PRINCIPAIS CAUSADORES DE QUEDA DE TENSÃO

- Correntes de partidas elevadas;
- Partidas longas de motores;
- Cabos subdimensionados;
- Transformadores subdimensionados;
- Linhas extensas.

### 5.30.2 LIMITES DE TEMPERATURA

A norma VDE 0670 estabelece que chaves de partida e CCM's devem trabalhar com limites de temperaturas ambiente entre  $-5$  e  $40$  °C. Para temperaturas acima de  $40$  °C, deve-se adotar soluções específicas como a utilização de ventiladores e aumento das dimensões físicas da chave.

### 5.30.3 LIMITES DE ALTITUDE

Com o aumento da altitude, há uma diminuição da densidade do ar, influenciando na tensão desruptiva e conseqüentemente, na tensão e corrente de serviço, assim como na capacidade de dissipação do calor.

A norma IEC 60158, determina que a altitude no local de instalação na deve exceder a 2000m. Já a NBR 6808, relativa a Conjuntos de Manobra e Controle de Baixa Tensão, em razão da gama de equipamentos envolvidos nestas instalações, limita a altitude inicialmente em 1000m e em seguida apresenta a tabela abaixo, com fatores de correção para uso em locais com altitudes acima de 1000m. valores intermediários podem ser obtidos por interpolação linear.

Fatores de correção			
Altitude máxima (m)	Tensão nominal	Corrente nominal	Elevação de temperatura
1000	1,0	1,0	1,0
1500	0,95	0,99	0,98
3000	0,80	0,96	0,92

Tabela 5.30.3.1 Fatores de correção para altitude (NBR6808)

### 5.30.4 POSIÇÃO DE MONTAGEM

Os painéis devem ser instalados na vertical sendo que os componentes normalmente admitem inclinações limites com a vertical. Inclinações diferentes das especificadas pelo componentes causam redução da vida útil deste, principalmente em contadores.

### **5.30.5 VIBRAÇÕES**

Sob vibração ou impactos violentos, os componentes da chave (contatores e relés de sobrecarga, relés eletrônicos, etc), podem apresentar modificações em seus estados de operação, devendo ser instalados sobre superfície rígida.

Para a fixação de painéis (chaves) em paredes de alvenaria ou diretamente no piso, recomenda-se que estes seja rigidamente chumbados.

### **5.30.6 GRAUS DE PROTEÇÃO**

Os graus de proteção dos equipamentos elétricos são definidos no capítulo 1.7.5.1.

## **5.31 INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE CHAVES**

### **5.31.1 TRANSPORTE**

Os painéis devem ser erguidos pelos olhais de suspensão. Porém, no caso de pequenos painéis, os olhais já não são necessários.

Portanto, em ambos os casos é importante que se obedeça sempre as indicações fora da embalagem para colocá-los na posição correta (setas). O levantamento ou depósito deve ser suave, sem choques, sob pena de danificar os componentes internos. Após o transporte é necessário reapertar todas as conexões.

### **5.31.2 ARMAZENAGEM E LONGAS PARADAS DE CHAVES (EX: IRRIGAÇÃO)**

Quando os painéis não forem imediatamente instalados, devem ser armazenados em local seco, isento de poeira e gases corrosivos. O painel (chave) deve ser armazenado em posição vertical.

Os painéis podem sofrer redução da resistência de isolamento quando armazenados em ambientes úmidos (principalmente em transformadores de comando e auto-transformadores).

Para prevenção destes problemas pode-se instalar no interior dos painéis calefadores (resistências desumidificadoras) com ou sem termostato, evitando-se assim que ocorra a condensação e conseqüente aparecimento de umidade.

Após a armazenagem ou longas paradas deve-se tomar as seguintes providências:

- Limpar os componentes de eventuais poeiras e resíduos;
- Secar o painel. O processo de secagem deve continuar até que sucessivas medições da resistência de isolamento indiquem que esta atingiu um valor constante acima do valor indicado;
- É extremamente importante impor uma boa ventilação no interior do painel durante a operação de secagem para assegurar que a umidade seja efetivamente removida;
- calor para desumidificação pode ser obtido de fontes externas (por exemplo: estufa);
- Medir a resistência de isolamento. O valor mínimo em baixa tensão ( $\leq 500V$ ) é  $0,5M\Omega$ ;
- Reapertar todas as conexões;
- Energizar o painel sem carga e verificar o seu funcionamento.

### **5.31.3 RECOMENDAÇÕES PARA PRIMEIRA PARTIDA DE MOTORES**

- Verificar se o mesmo poderá rodar livremente, removendo-se todos os dispositivos de bloqueio e calços usados durante o transporte;
- Verificar se o motor está corretamente fixado e se os elementos de acoplamento estão corretamente montados e alinhados;
- Certificar-se de que a tensão e a frequência estão de acordo com o indicado na placa de identificação;

- Observar se as ligações estão de acordo com o esquema de ligação impresso na placa de identificação e verificar se todos os parafusos e porcas dos terminais estão devidamente apertados;
- Verificar se o motor está devidamente aterrado. Desde que não haja especificações exigindo montagem isolada do motor, será necessário aterrá-lo, obedecendo as normas vigentes para ligação de máquinas elétricas à terra. Para isso deverá ser usado o parafuso identificado pelo símbolo geralmente existente na caixa de ligação ou no pé da carcaça;
- Acionar o motor desacoplado para verificar se está girando livremente e no sentido desejado. Para inverter a rotação de motor trifásico, basta inverter as ligações à rede de dois terminais quaisquer;
- Medir a resistência de isolamento e secar o motor se necessário.

#### **5.31.4 ATERRAMENTO**

Toda instalação deve ser aterrada. É providencial que se aterre as seguintes partes da instalação:

- Neutro do transformador de potência;
- Carcaça metálica de motores, auto-transformadores, transformadores de comando e medição, capacitores, etc.
- As estruturas da chave (painel);
- Pára-raios.

O aterramento das partes acima é necessário, principalmente, porque:

- Protegem as pessoas contra contatos em partes metálicas eventualmente energizadas;
- Protegem as instalações contra descargas atmosféricas;
- Garante o correto funcionamento dos equipamentos;
- Permite uma utilização confiável e correta das instalações.

#### **5.31.5 CONEXÕES ELÉTRICAS**

As conexões devem proporcionar um bom contato para que sejam evitados aquecimentos, perdas de energia e instabilidade no circuito de comando. É fato que as conexões afrouxam no transporte da chave. Por esse motivo recomenda-se que sejam reapertados, antes do funcionamento, todos os parafusos e porcas.

Sempre que houver parada para manutenção é providencial o reaperto de todos os pontos de conexão.

### 5.31.6 MANUTENÇÃO EM CHAVES DE PARTIDA

#### 5.31.6.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

##### a) *PREVENTIVA*

Toda instalação deve ser periodicamente verificada por pessoas qualificadas, devendo o intervalo entre as verificações ser compatível com a importância da instalação.

Deve ser dada especial atenção aos seguintes pontos:

- A conservação das medidas que coloquem partes vivas fora de alcance;
- O estado dos condutores e suas ligações, principalmente os de proteção;
- Verificar se os eletrodutos estão corretamente conectados ao painel, protegendo mecanicamente os cabos;
- O estado dos cabos flexíveis que alimentem aparelhos móveis, assim como seus dispositivos de proteção;
- O estado dos dispositivos de proteção e manobra, principalmente quanto ao desgaste provocado por arcos e afrouxamento de contatos;
- Nunca limar ou lixar contatos;
- Verificar se as entradas e saídas de cabos estão vedadas, evitando a entrada de pequenos animais;
- O ajuste dos dispositivos de proteção e a correta utilização dos fusíveis;
- O valor da resistência de isolamento em relação à terra;
- O valor da resistência dos eletrodos de aterramento;
- Toda instalação (ou parte) que pareça perigosa deve ser imediatamente desenergizada e só recolocada em serviço após reparação satisfatória;
- Verificar o estado geral dos pára-raios.

##### b) *CORRETIVA*

Toda falha ou anomalia constatada no equipamento elétrico ou em seu funcionamento, deve ser comunicada a pessoas qualificadas para fins de reparação. Isto deve ser feito principalmente quando os dispositivos de proteção contra as sobrecorrentes ou contra os choques elétricos atuarem sem causa conhecida.

### 5.31.7 SUBSTITUIÇÃO DE FUSÍVEIS

Em caso de atuação (queima) de um dos fusíveis de uma das três fases, devido a correntes de curto-circuitos, recomenda-se a substituição dos outros dois, pois sem dúvida, estes outros dois sofreram um processo de envelhecimento precoce e terão, necessariamente, alteradas as suas características funcionais, o que pode vir a comprometer seriamente a segurança da instalação. Para a substituição dos fusíveis de comando valem as mesmas considerações.

### 5.31.8 SUBSTITUIÇÃO DE CONTATOS DE CONTADORES

Esta prática é comum apenas para contatos de força, já que o desgaste dos contatos auxiliares é considerado desprezível.

Os contatos de força devem ser substituídos quando o seu desgaste for superior a 2/3 da espessura inicial. Deve-se substituir os três contatos simultaneamente. Sempre que ocorrer a troca dos contatos é de suma importância verificar o estado da câmara de extinção.

### 5.31.9 AJUSTES EM RELÉS DE SOBRECARGA E DE TEMPO

#### a) Relé de Sobrecarga

Para que o relé ofereça, também, uma proteção eficaz contra falta de fase (lembrando que ele não é um elemento de proteção contra falta de fase, porém, se ajustado para a corrente de trabalho poderá ser sensível à falta de fase), é necessário que seja ajustado para a corrente de trabalho (medida no funcionamento) e não para a corrente nominal (valor de placa do motor).

#### b) Relé de Tempo

O relé de tempo deve ser ajustado para o tempo de partida, que é o tempo necessário para o motor atingir no mínimo 90% da rotação síncrona.

#### Determinação do tempo de partida

Na teoria, é calculado em função do conjugado e inércia da carga e do motor.

$$t_a = 2\pi \times n_N \times \left( \frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right)$$

Onde:

- $t_a$  – tempo de aceleração (segundos);
- $J_m$  – momento de inércia do motor ( $\text{kgm}^2$ );
- $J_{ce}$  – momento de inércia da carga referida ao eixo do motor ( $\text{kgm}^2$ );
- $n_N$  – rotação nominal (rps);
- $C_{mméd}$  – conjugado médio de aceleração do motor (Nm);
- $C_{rméd}$  – conjugado médio de aceleração da carga (Nm).

Na prática, é cronometrado. Através de um tacômetro verifica-se quando o motor atinge 90% da rotação síncrona (instante ideal para a comutação). Se não dispuser de tacômetro, a partida pode ser observada com um alicate amperímetro. O motor estará apto a comutar quando a corrente atingir valores em torno da nominal.

Na figura 5.25.1 observa-se que um relé regulado abaixo do tempo de partida do motor (60% da velocidade síncrona), provoca um pico na comutação. Como as chaves de partida estrela-triângulo e compensadora são utilizadas com o objetivo de reduzir o pico de partida, conclui-se que esta comutação é inadequada, pois está próxima do próprio pico de partida do motor.

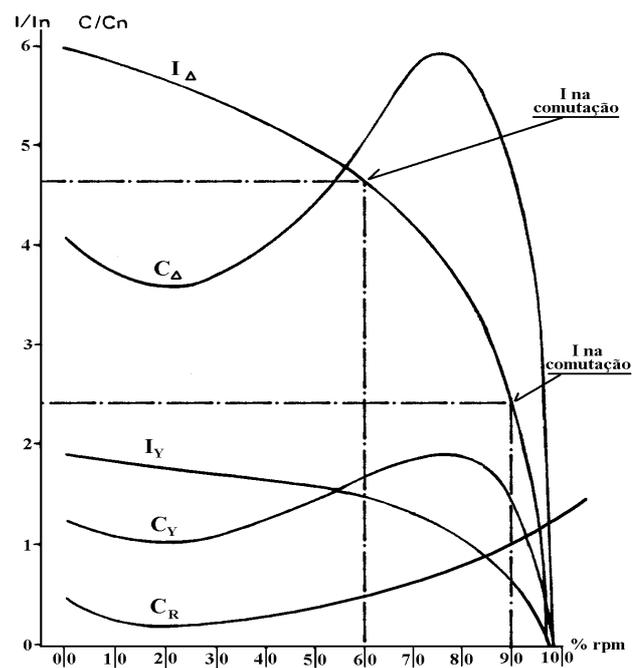


Figura 5.196

### 5.31.10 PRINCIPAIS DEFEITOS E SUAS CAUSAS EM CHAVES DE PARTIDAS

#### Contator não liga

- Fusível de comando queimado;
- Relé térmico desarmado;
- Comando interrompido;
- Bobina queimada
  - Por sobretensão;
  - Ligada em tensão errada;
  - Queda de tensão (principalmente CC);
  - Corpo estranho no entreferro.

#### Contator não desliga

- Linhas de comando longas (efeito de “colamento” capacitivo);
- Contatos soldados
  - Correntes de ligação elevadas (por exemplo, comutação de transformadores a vazio);
  - Comando oscilante;
  - Ligação em curto-circuito;
  - Comutação YΔ defeituosa.

***Contator desliga involuntariamente***

- Quedas de tensão fortes por oscilações da rede ou devido a operação de religadores.

***Faiscamento excessivo***

- Instabilidade da tensão de comando
  - Regulação pobre da fonte;
  - Linhas extensas e de pequena seção;
  - Correntes de partida muito altas;
  - Subdimensionamento do transformador de comando com diversos contadores operando simultaneamente.

***Fornecimento irregular de comando***

- Botões com defeito;
- Fins-de-curso com defeito.

***Contator zumba (ruído)***

- Corpo estranho no entreferro;
- Anel de curto circuito quebrado;
- Bobina com tensão ou frequência errada;
- Superfície dos núcleos, móvel e fixo, sujas ou oxidadas, especialmente após longas paradas;
- Oscilação de tensão ou frequência no circuito de comando;
- Quedas de tensão durante a partida de motores.

***Relé atuou***

- Relé inadequado ou mal regulado;
- Tempo de partida muito longo;
- Frequência de ligações muito alta;
- Sobrecarga no eixo;
- Falta de fase;
- Rotor bloqueado/travado.

***Bimetálicos azuis, recozidos ou resistência de aquecimento queimada***

- Sobrecarga muito elevada;
- Fusíveis superdimensionados;
- Queda de uma fase (motor zumba);
- Elevado torque resistente (motor bloqueia);
- Curto-circuito.

## 5.32 SOFT – STARTER

### 5.32.1 INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade na otimização de sistemas e processos industriais, algumas técnicas foram desenvolvidas, principalmente levando-se em consideração conceitos e tendências voltados a automação industrial. Olhando para o passado podemos claramente perceber o quanto estas técnicas tem contribuído para este fim.

Um dos mais claros exemplos são os sistemas de acionamento para motores de indução, largamente utilizado em praticamente todos os segmentos, seja ele residencial ou industrial.

Em particular nós iremos analisar e avaliar, uma técnica que tornou-se muito utilizada na atualidade, as chaves de partida soft-starters.

Estes equipamentos eletrônicos vem assumindo significativamente o lugar de sistemas previamente desenvolvidos, em grande parte representados por sistemas eletromecânicos. Em nosso estudo faremos uma comparação entre estes vários sistemas e os que utilizam as soft-starters.

### 5.32.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento das soft-starters está baseado na utilização de tiristores (SCR's), ou melhor, de uma ponte tiristorizada na configuração anti-paralelo, que é comandada através de uma placa eletrônica de controle, a fim de ajustar a tensão de saída, conforme uma programação feita anteriormente pelo usuário. Esta estrutura é apresentada na figura abaixo.

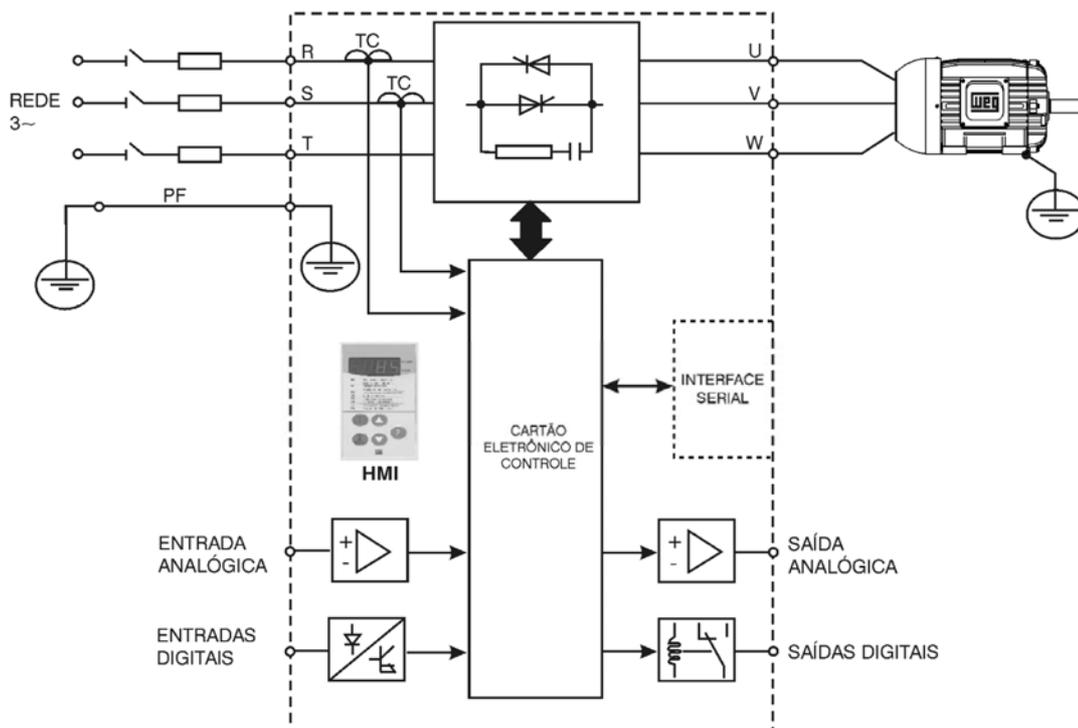


Figura 5.197 - Bloco diagrama simplificado

Como podemos ver a soft-starter controla a tensão da rede através do circuito de potência, constituído por seis ou quatro SCRs, dependendo do modelo, onde variando o ângulo de disparo dos mesmos, variamos o valor eficaz de tensão aplicada ao motor. A seguir faremos uma análise mais atenciosa de cada uma das partes individuais desta estrutura, já que notamos nitidamente que podemos dividir a estrutura acima em duas partes, o circuito de potência e o circuito de controle.

### 5.32.2.1 CIRCUITO DE POTÊNCIA

Este circuito é por onde circula a corrente que é fornecida para o motor. É constituída basicamente pelos SCRs e suas proteções, e os TCs (transformadores de corrente).

- O circuito RC representado no diagrama é conhecido como circuito *snubber*, e tem como função fazer a proteção dos SCRs contra  $dv/dt$ .
- Os transformadores de corrente fazem a monitoração da corrente de saída permitindo que o controle eletrônico efetue a proteção e manutenção do valor de corrente em níveis pré-definidos (função limitação de corrente ativada).

### 5.32.2.2 CIRCUITO DE CONTROLE

Onde estão contidos os circuitos responsáveis pelo comando, monitoração e proteção dos componentes do circuito de potência, bem como os circuitos utilizados para comando, sinalização e interface homem-máquina que serão configurados pelo usuário em função da aplicação.

Atualmente a maioria das chaves soft-starters disponíveis no mercado são microprocessadas, sendo assim, totalmente digitais. Alguns fabricantes ainda produzem alguns modelos com controle analógico, mais no sentido de oferecer uma opção mais barata para aplicações onde não sejam necessárias funções mais sofisticadas.

## 5.32.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

### 5.32.3.1 PRINCIPAIS FUNÇÕES

Além das características mostradas anteriormente as soft-starters também apresentam funções programáveis que permitirão configurar o sistema de acionamento de acordo com as necessidades do usuário.

- **Rampa de tensão na aceleração**

As chaves soft-starters tem uma função muito simples, que é através do controle da variação do ângulo de disparo da ponte de tiristores, gerar na saída da mesma, uma tensão eficaz gradual e continuamente crescente até que seja atingida a tensão nominal da rede. Graficamente podemos observar isto através da figura.

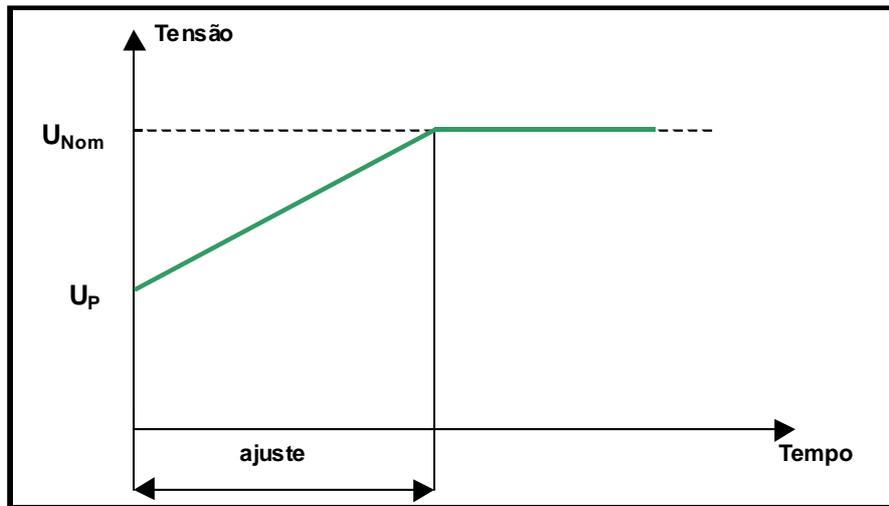


Figura 5.198 - Rampa de tensão aplicada ao motor na aceleração

Atentem ao fato de que quando ajustamos um valor de tempo de rampa, e de tensão de partida (pedestal), isto não significa que o motor irá acelerar de zero até a sua rotação nominal no tempo definido por  $t_a$ . Isto na realidade dependerá das características dinâmicas do sistema motor/carga, como por exemplo : sistema de acoplamento, momento de inércia da carga refletida ao eixo do motor, atuação da função de limitação de corrente, etc .

Tanto o valor do pedestal de tensão, quanto o de tempo de rampa são valores ajustáveis dentro de uma faixa que pode variar de fabricante para fabricante.

Não existe uma regra prática que possa ser aplicada para definir qual deve ser o valor de tempo a ser ajustado, e qual o melhor valor de tensão de pedestal para que o motor possa garantir a aceleração da carga. A melhor aproximação poderá ser alcançada através do cálculo do tempo de aceleração do motor, o qual será mostrado posteriormente.

- **Rampa de tensão na desaceleração**

Existem duas possibilidades para que seja executada a parada do motor, por inércia ou controlada, respectivamente. Na parada por inércia, a soft-starter leva a tensão de saída instantaneamente a zero, implicando que o motor não produz nenhum conjugado na carga que por sua vez irá perdendo velocidade, até que toda energia cinética seja dissipada. A equação abaixo mostra matematicamente como podemos expressar esta forma de energia.

$$K = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$$

Onde:  $K$  = energia cinética (Joules);  
 $J$  = momento de inércia total ( $\text{Kg.m}^2$ );  
 $\omega$  = velocidade angular (rad/s).

Na parada controlada a soft-starter vai gradualmente reduzindo a tensão de saída até um valor mínimo em um tempo pré definido. Graficamente podemos ver observar a figura abaixo.

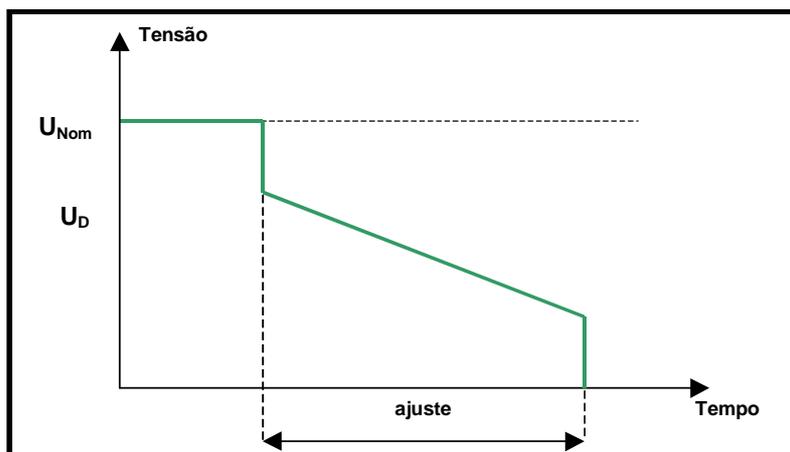


Figura 5.199- Perfil de tensão na desaceleração

O que ocorre neste caso pode ser explicado da seguinte maneira : Reduzindo-se a tensão aplicada ao motor, este irá perder conjugado; A perda de conjugado reflete no aumento do escorregamento; O aumento do escorregamento faz com que o motor perca velocidade. Se o motor perde velocidade a carga acionada também perderá. Este tipo de recurso é muito importante para aplicações que devem ter uma parada suave do ponto de vista mecânico. Podemos citar como exemplo bombas centrífugas, transportadores, etc.

No caso particular das bombas centrífugas é importantíssimo minimizar-se o efeito do “golpe de aríete”, que pode provocar sérios danos a todo o sistema hidráulico, comprometendo componentes como válvulas e tubulações além da própria bomba.

- **Kick Start**

Existem cargas que no momento da partida exigem um esforço extra do acionamento em função do alto conjugado resistente. Nestes casos, normalmente a soft-starter precisa aplicar no motor uma tensão maior que aquela ajustada na rampa de tensão na aceleração, isto é possível utilizando uma função chamada “Kick Start”. Como podemos ver na representação gráfica abaixo, esta função faz com que seja aplicado no motor um pulso de tensão com amplitude e duração programáveis para que o motor possa desenvolver um conjugado de partida, suficiente para vencer o atrito, e assim acelerar a carga. Deve-se ter muito cuidado com esta função, pois ela somente deverá ser usada nos casos onde ela seja estritamente necessária.

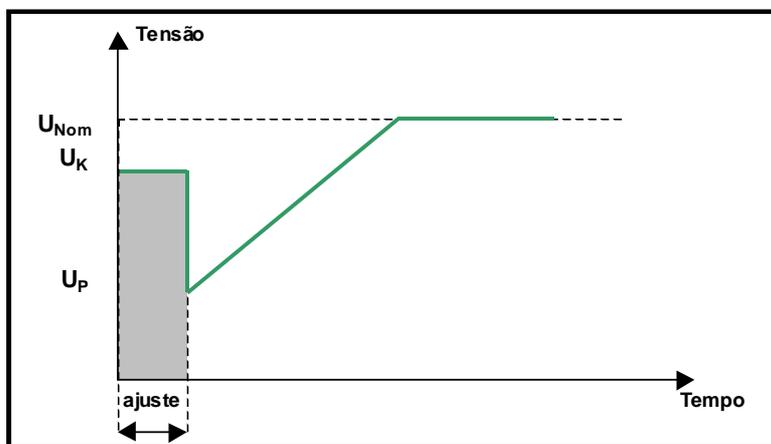


Figura 5.200 - Representação gráfica da função “Kick Start”

Devemos observar alguns aspectos importantes relacionados com esta função, já que ela poderá ser mal interpretada e desta forma comprometer a definição com relação ao seu uso, inclusive o do próprio sistema de acionamento:

Como a tensão de partida poderá ser ajustada próximo da tensão nominal, mesmo que por um pequeno intervalo de tempo, a corrente de partida irá atingir valores muito próximos daqueles registrados no catálogo ou folha de dados do motor.

Isto é claramente indesejável, pois a utilização da soft-starter nestes casos advém da necessidade de garantir-se uma partida suave, seja eletricamente, seja mecanicamente. Desta forma podemos considerar este recurso como sendo aquele que deverá ser usado em última instância, ou quando realmente ficar óbvia a condição severa de partida.

- **Limitação de corrente**

Na maioria dos casos onde a carga apresenta uma inércia elevada, é utilizada uma função denominada de limitação de corrente. Esta função faz com que o sistema rede/soft-starter forneça ao motor somente a corrente necessária para que seja executada a aceleração da carga. Abaixo podemos observar graficamente como esta função é executada.

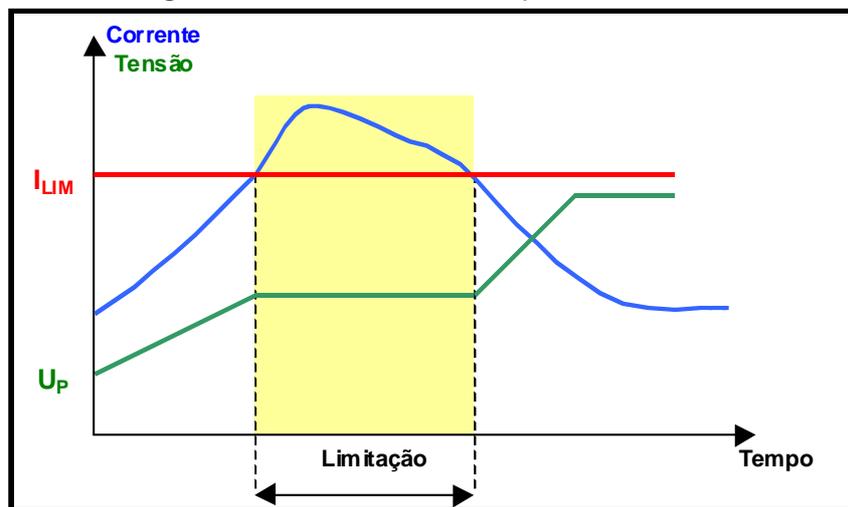


Figura 5.201 - Limitação de corrente

Este recurso é sempre muito útil pois garante um acionamento realmente suave e melhor ainda, viabiliza a partida de motores em locais onde a rede se encontra no limite de sua capacidade. Normalmente nestes casos a condição de corrente na partida faz com o sistema de proteção da instalação atue, impedindo assim o funcionamento normal de toda a instalação. Ocorre então a necessidade de ser imposto um valor limite de corrente de partida de forma a permitir o acionamento do equipamento bem como de toda a indústria.

A limitação de corrente também é muito utilizada na partida de motores cuja carga apresenta um valor mais elevado de momento de inércia. Em termos práticos podemos dizer que esta função é a que deverá ser utilizada após não obter-se sucesso com a rampa de tensão simples, ou mesmo quando para que o motor acelere a carga, seja necessário ajustar uma rampa de tensão de tal forma que a tensão de partida (pedestal) próximo aos níveis de outros sistemas de partida como por exemplo, as chaves compensadoras, não sendo isto de forma alguma um fator proibitivo na escolha do sistema de partida.

- **Pump control**

Esta função é utilizada especialmente para a aplicação de partida soft-starter em sistemas de bombeamento. Trata-se na realidade de uma configuração específica (pré definida) para atender este tipo de aplicação, onde normalmente é necessário estabelecer uma rampa de tensão na aceleração, uma rampa de tensão na desaceleração e a habilitação de proteções. A rampa de tensão na desaceleração é ativada para minimizar o golpe de ariete, prejudicial ao sistema como um todo. São habilitadas também as proteções de seqüência de fase e subcorrente imediata (para evitar o escorvamento).

- **Economia de energia**

Uma soft-starter que inclua características de otimização de energia simplesmente altera o ponto de operação do motor. Esta função, quando ativada, reduz a tensão aplicada aos terminais do motor de modo que a energia necessária para suprir o campo seja proporcional à demanda da carga.

Quando a tensão no motor está em seu valor nominal e a carga exige o máximo conjugado para o qual o motor foi especificado, o ponto de operação será definido pelo ponto A, conforme a figura abaixo. Se carga diminui e o motor for alimentado por uma tensão constante, a velocidade (rotação) aumentará ligeiramente, a demanda de corrente reduzirá e o ponto de operação se moverá junto à curva para o ponto B. Por ser um motor onde o conjugado desenvolvido é proporcional ao quadrado da tensão aplicada, haverá uma redução do conjugado com uma redução de tensão. Caso esta tensão seja devidamente reduzida, o ponto de operação passará a ser o ponto A<sup>1</sup>.

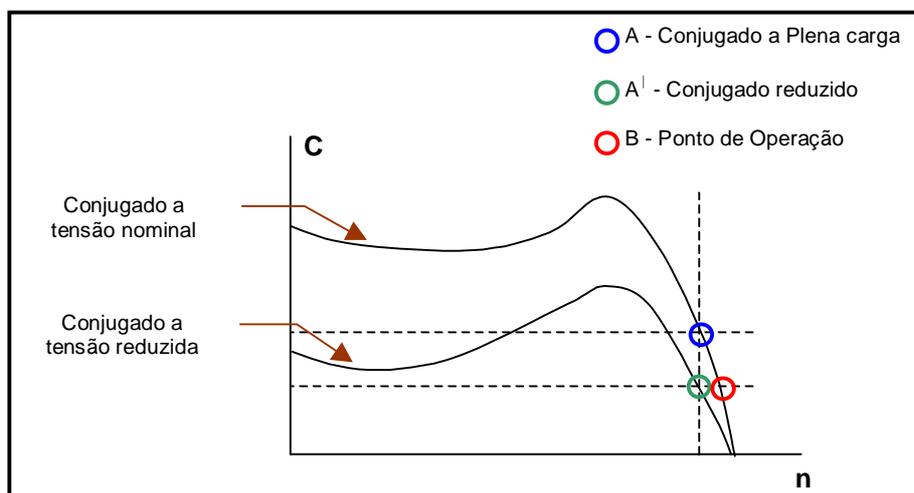


Figura 5.202 -Equilíbrio entre conjugado e tensão

Em termos práticos pode-se observar uma otimização com resultados significativos somente quando o motor está operando com cargas inferiores a 50% da carga nominal. Isto, diga-se de passagem, é muito difícil de encontrar-se pois estaríamos falando de motores muito sobredimensionados, o que atualmente em virtude da crescente preocupação com o desperdício de energia e fator de potência, vem sendo evitado a todo custo.



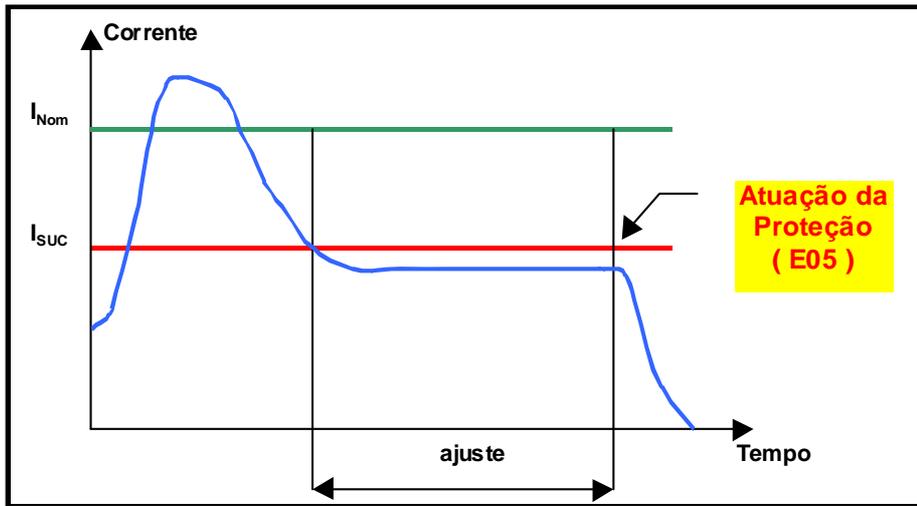


Figura 5.204 -Proteção de subcorrente imediata

- *Sobrecarga na saída ( $I \times t$ )*

Supervisiona as condições de sobrecarga conforme a classe térmica selecionada, protegendo o motor termicamente contra sobrecargas aplicadas ao seu eixo.

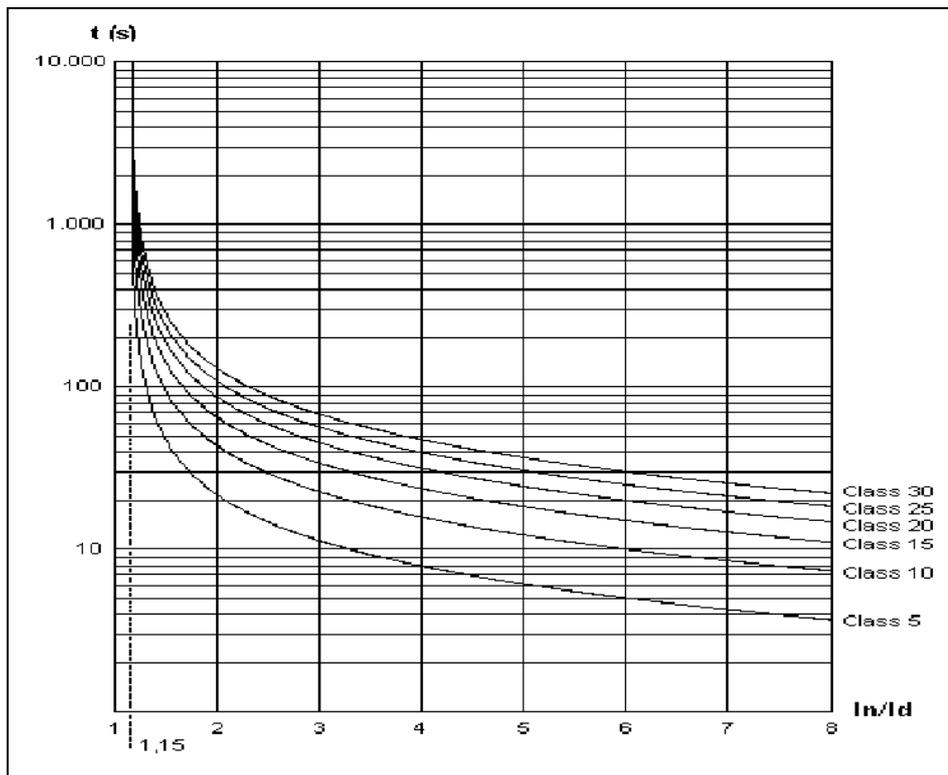


Figura 5.205 - Característica de sobrecarga para F.S. = 1,15.

- ***Sobretensão nos tiristores (medida no dissipador)***

Monitora a temperatura no circuito de potência através de um termostato montado sobre o dissipador de alumínio, onde também estão montados os tiristores. Caso a temperatura do dissipador superar 90°C, o termostato irá comutar fazendo com que a CPU bloqueie imediatamente os pulsos de disparo dos tiristores, enviando uma mensagem de erro que será mostrada no display.

- ***Seqüência de fase invertida***

Alguns modelos de soft-starters irão operar somente se a seqüência de fase estiver correta. Esta proteção pode ser habilitada para assegurar que cargas sensíveis a inversão do sentido de giro não sejam danificadas, como exemplo, podemos citar o acionamento para bombas. Uma desvantagem dos modelos que são sensíveis a mudança da seqüência de fase, é que qualquer operação de reversão deverá ser feita na saída da chave.

- ***Falta de fase na rede***

Detecta a falta de uma fase na alimentação da soft-starter e bloqueia os pulsos de disparo dos tiristores.

- ***Falta de fase no motor***

Detecta a falta de uma fase na saída da soft-starter e bloqueia os pulsos de disparo dos tiristores.

- ***Falha nos tiristores***

Detecta se algum dos tiristores está danificado. Caso exista, bloqueia os pulsos de disparo e envia uma mensagem de erro através do display.

- ***Erro na CPU (watchdog)***

Ao energizar-se, a CPU executa uma rotina de auto diagnose e verifica os circuitos essenciais. Caso haja alguma irregularidade, serão bloqueados os pulsos de disparo dos tiristores e será enviada uma mensagem de erro através do display. Interferência eletromagnética também pode causar a atuação desta proteção.

- ***Erro de programação***

Não permite que um valor que tenha sido alterado incorretamente seja aceito. Normalmente ocorre quando se altera algum parâmetro com o motor desligado e nas condições de incompatibilidade.

- **Erro de comunicação serial**

Impede que um valor alterado ou transmitido incorretamente através da porta de comunicação serial, seja aceito.

- **Defeito externo**

Atua através de uma entrada digital programada. São associados dispositivos de proteção externos para atuarem sobre esta entrada, como por exemplo, sondas térmicas, pressostatos, relês auxiliares, etc.

### 5.32.3.3 ACIONAMENTOS TÍPICOS (MODELOS SSW 03 E SSW 04)

Veremos a seguir os acionamentos tipicamente configuráveis nas chaves soft-starters, sendo alguns deles utilizados em sistemas um pouco mais sofisticados.

- **Básico / Convencional**

Todos os comandos, leituras e monitoração de status feitos via I.H.M.

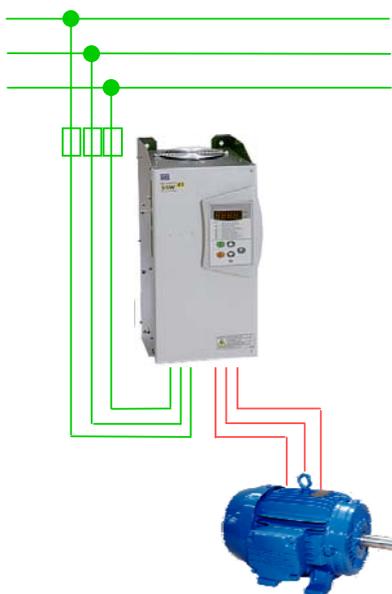


Figura 5.206 - Diagrama simplificado de um acionamento básico.

- *Inversão de sentido de giro*

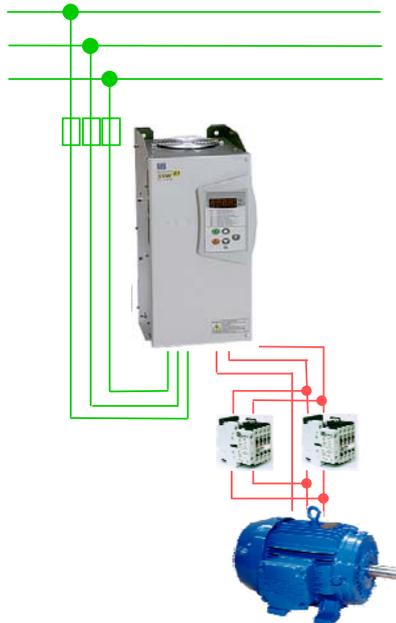


Figura 5.207 - Diagrama do acionamento com inversão de sentido de giro.

- *Frenagem por injeção de corrente contínua*

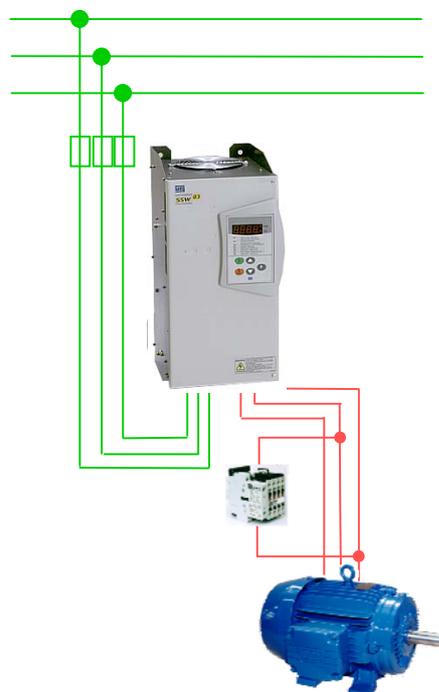


Figura 5.208 - Diagrama do acionamento com frenagem C.C.

- *By-pass*

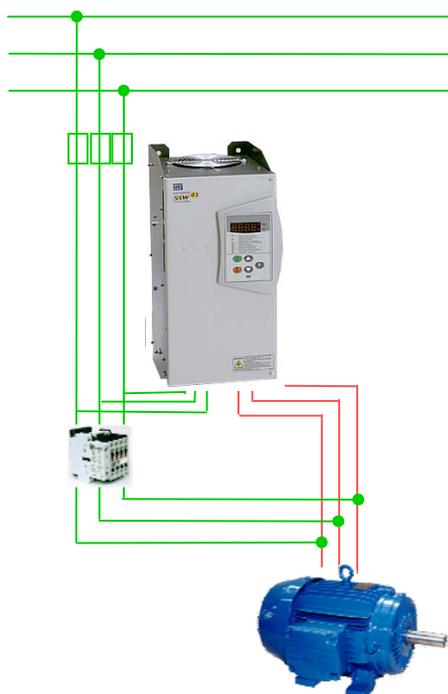


Figura 5.209 - Diagrama do acionamento com by-pass da chave.

- *Multimotores / Cascata*

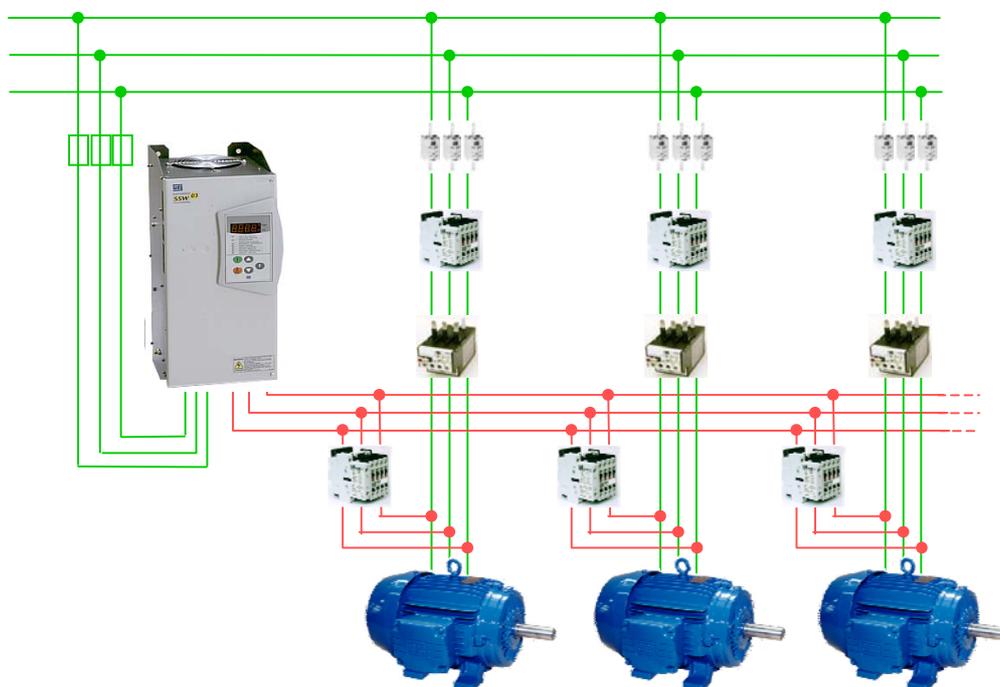


Figura 5.210 - Diagrama orientativo do acionamento tipo cascata.

### 5.32.4 PRINCIPAIS APLICAÇÕES PARA SOFT-STARTERS

Nos últimos anos as chaves soft-starters vêm sendo amplamente utilizadas em vários segmentos industriais, destacando-se em algumas aplicações como por exemplo, sistemas de bombeamento, ventiladores, exaustores, misturadores (pulpers), compressores, moinhos, etc.

A partir de agora analisaremos os principais aspectos a serem considerados em cada uma das aplicações mais típicas, como definido a seguir :

- Bombas centrífugas;
- Compressores;
- Ventiladores;
- Misturadores (pulpers);
- Moinhos, Centrífugas, transportadores, etc.;



Figura 5.211

#### 5.32.4.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS

##### *Bomba centrífuga*

##### *Características*

- tipo de conjugado .....: Quadrático
- momento de inércia .....: Baixo
- Condição de partida .....: tipicamente  $I_p/I_N \leq 3,0$
- Comentários .....: (1) É a melhor aplicação para soft-starter;  
(2) Função Pump Control minimiza golpe de aríete.

### 5.32.4.2 COMPRESSORES

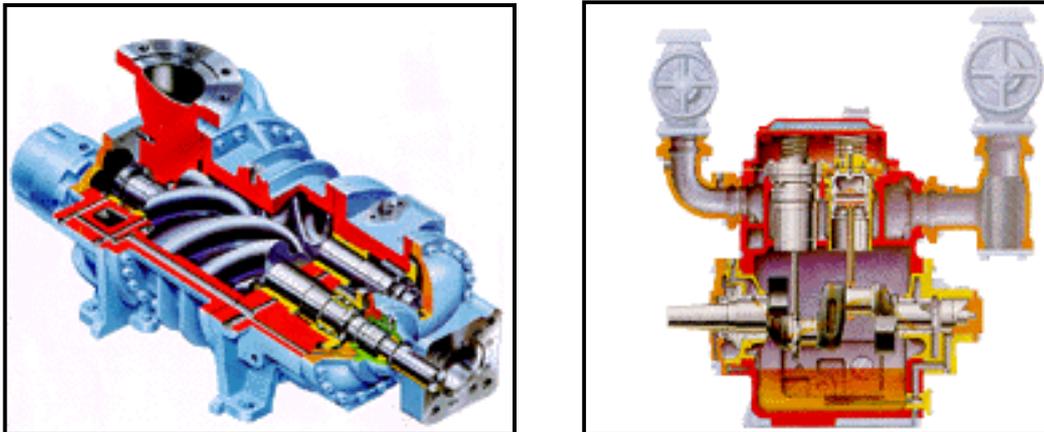


Figura 5.212 -Compressor

#### *Características*

- tipo de conjugado .....: Quadrático (parafuso) ou Constante (alternativo)
- momento de inércia .....: Baixo
- Condição de partida .....:  $I_p/I_N \leq 3,0$
- Comentários .....: (1)  
(2)

### 5.32.4.3 VENTILADORES

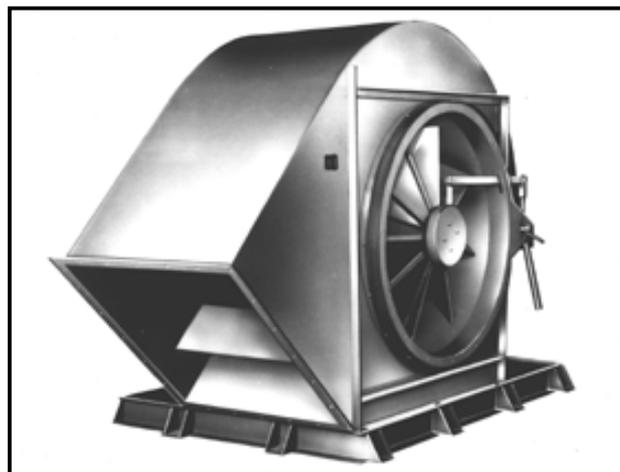


Figura 5.213 - Ventilador

**Características**

- tipo de conjugado .....: Quadrático
- momento de inércia .....: Médio
- Condição de partida .....:  $I_p/I_N \leq 3,5$
- Comentários .....: (1) Para grandes potências usar a limitação de corrente na partida;  
(2) A partida é feita normalmente com o damper fechado (sem carga);

**Curvas típicas de Conjugado em função da rotação**

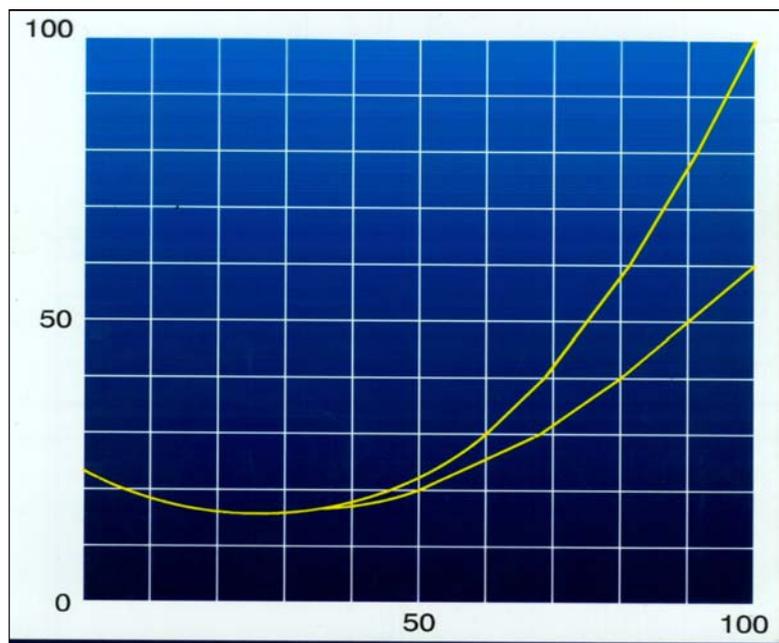


Figura 5.214

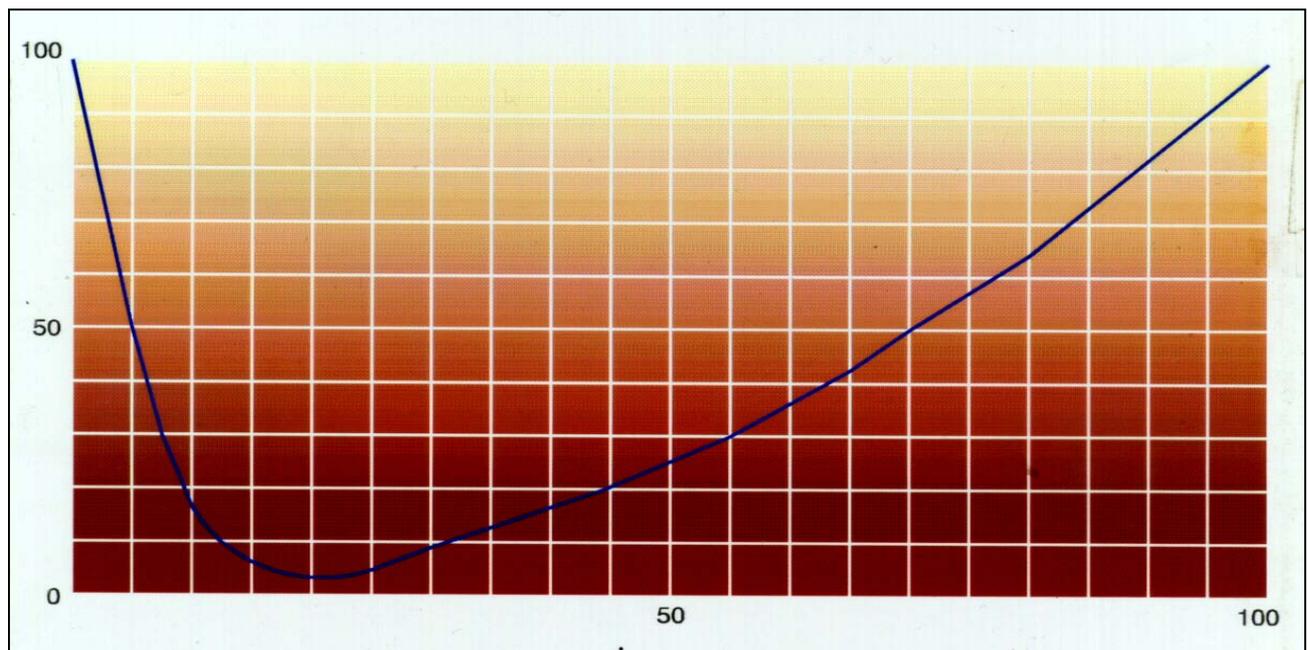
**5.32.4.4 MISTURADORES**



Figura 5.215 - Misturadores

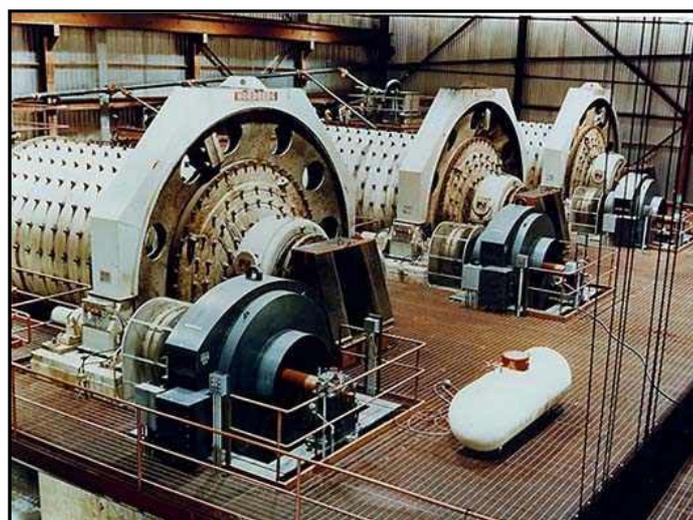
*Características*

- tipo de conjugado .....: Quadrático
- momento de inércia .....: Médio/Alto
- Condição de partida .....:  $I_p/I_N \leq 3,5$
- Comentários .....: (1) Conjugado resistente na partida pode ser muito alto;  
(2) Dependendo do material, envolvido no processo, o momento de inércia pode ser elevado;



*Figura 5.216 - Curva típica de Conjugado em função da rotação*

**5.32.4.5 MOINHOS**



*Figura 5.217 - Moinho*

### *Características*

- tipo de conjugado .....: Constante
- momento de inércia .....: Elevado
- Condição de partida .....:  $I_p/I_N \leq 4,5$
- Comentários .....: (1) Verificar se parte com ou sem carga;  
(2) Usar limitação de corrente na partida;

### **5.32.4.6 TRANSPORTADORES**

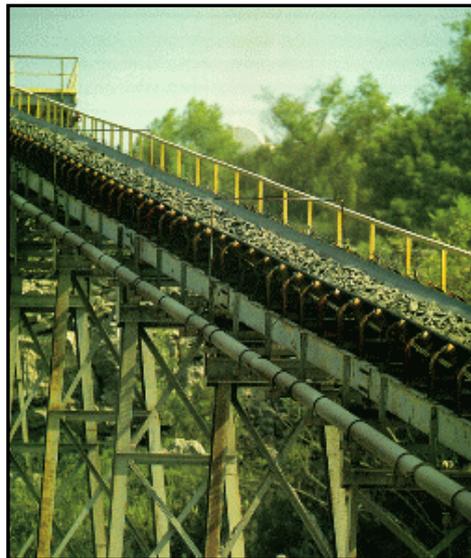


Figura 5.218 - Esteira transportadora

### *Características*

- tipo de conjugado .....: Constante
- momento de inércia .....: Médio/Alto
- Condição de partida .....:  $I_p/I_N \leq 4,5$
- Comentários .....: (1) Utiliza rampas de tensão na aceleração e desaceleração;  
(2) Utiliza limitação de corrente na partida;  
(3) Verificar se ocorrem sobrecargas;  
(4) Verificar se parte com ou sem carga;

### 5.32.4.7 CENTRÍFUGAS



Figura 5.219 - Centrífuga

#### Características

- tipo de conjugado .....: Linear
- momento de inércia .....: Elevado
- Condição de partida .....:  $I_p/I_N \leq 4,5$
- Comentários .....: (1) Utiliza a limitação de corrente na partida;  
(2) Verificar número de manobras (centrifugação por bateladas);

### 5.32.5 CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo iremos estabelecer os critérios mínimos e necessários para efetuar-se o correto dimensionamento de uma chave soft-starter.

Devemos garantir que o motor ao ser acionado por uma chave soft-starter tenha condições de acelerar a carga da rotação zero até sua rotação nominal (ou próximo disto) onde haverá então o equilíbrio. Fisicamente, o motor deverá ser capaz de produzir um conjugado dinâmico tal, que seja este o suficiente para vencer o conjugado resistente da carga e a inércia refletida em seu eixo. Como vimos anteriormente, o motor sofre algumas alterações nas suas características de conjugado em virtude de aplicarmos a ele uma tensão reduzida, trazendo como principais benefícios a redução da corrente e do conjugado de partida respectivamente.

Para podermos especificar uma soft-starter é muito importante obtermos algumas informações relacionadas principalmente com as características do motor, da carga, do ambiente, condições de operação, rede de alimentação, acoplamento entre o motor e a carga. Desta forma trataremos de verificar estes pontos e definir critérios que nos possibilitem especificar o modelo ideal de chave estática.

Em relação aos aspectos acima expostos devemos levantar os seguintes dados:

- **Motor**

- Corrente nominal
- Potência nominal
- Tensão de alimentação
- Número de pólos
- Fator de serviço
- Tempo de rotor bloqueado
- Momento de inércia
- Curva característica de conjugado em função da rotação

- **Carga**

- Curva característica de conjugado em função da rotação
- Tipo de acoplamento
- Apresenta sobrecarga na partida ou em regime
- Número de partidas por hora
- Momento de inércia ou  $GD^2$

- **Observações**

- Para montagem em painel definir : grau de proteção, tensão de comando, refrigeração
- Característica do ambiente : temperatura, altitude, umidade, agressividade (se existe a presença de líquidos, sólidos ou gases inflamáveis, corrosivos, poeira, sólidos em suspensão, maresia, etc ...)

Devemos frisar com relação ao dados do motor que a mais importante informação é a corrente nominal, pois a corrente da soft-starter será dimensionada em relação a ela. Desta forma podemos estabelecer o primeiro critério de dimensionamento como a seguir :

$$I_{NOM_{soft-starter}} \geq I_{NOM_{motor}}$$

Muitas vezes todas estas informações não estarão disponíveis e desta forma teremos que aplicar fatores para sobredimensionamento da soft-starter. Isto por sinal é muito comum pois muitas vezes a chave será aplicada em máquinas mais antigas, retrofitting ou em ampliações das instalações. Partindo desta realidade poderemos estabelecer duas situações possíveis, uma quando temos todas as informações disponíveis e outra quando não temos. Adotaremos informalmente a seguinte denominação para nos referirmos à estas situações:

- **Situação Ideal**

Onde temos disponíveis todas as informações.

- *Situação Normal*

Onde temos somente algumas das informações. Na maioria das vezes dispõe-se somente do tipo de máquina a ser acionado e a potência nominal do motor.

Veremos as duas independentemente e assim definiremos os critérios específicos a cada uma delas.

### 5.32.5.1 SITUAÇÃO IDEAL

Neste caso dispomos das curvas de conjugado por rotação da carga e o do motor, sendo desta forma possível determinar o tempo de aceleração através da equação (5.26.5.2). Também será possível referir o momento de inércia da carga ao eixo do motor para obtermos o momento de inércia total. Sabemos que para que um motor elétrico suporte a condição de partida a seguinte relação deve ser respeitada :

$$t_a \leq 0,8t_{RB} \quad (5.26.5.1)$$

Onde:  $t_a$  – tempo de aceleração;  
 $t_{RB}$  – tempo de rotor bloqueado;

Na condição acima devemos na verdade considerar o tempo de rotor bloqueado corrigido em função dos fatores de correção da corrente ou da tensão, pois esta informação pode ser obtida através do catálogo de motores ou folha de dados onde é considerado que no motor está sendo aplicada a tensão nominal.

Para o cálculo do tempo de aceleração partimos da seguinte equação:

$$t_a = 2\pi \cdot \Delta n \cdot \left( \frac{J_T}{C_A} \right) \quad (5.26.5.2)$$

Onde:  $t_a$  – tempo de aceleração;  
 $\Delta n$  – rotação;  
 $J_T$  – momento de inércia total;  
 $C_A$  – conjugado acelerante;

O momento de inércia total é calculado por :

$$J_T = J_{\text{motor}} + J_{\text{carga}} \quad (5.26.5.3)$$

Onde:  $J_{\text{motor}}$  – momento de inércia do motor;  
 $J_{\text{carga}}$  – momento de inércia da carga referida ao eixo do motor;

Para calcularmos o conjugado acelerante precisaremos calcular a área delimitada pelas curvas características de conjugado do motor e da carga. Esta área pode ser calculada de diversas

maneiras sendo analiticamente, numericamente ou graficamente. Para executar o cálculo de forma analítica deveremos conhecer as equações das duas curvas, para que assim possamos integrá-las entre os limites desejados. A equação da curva de carga com um pouco de boa vontade poderá ser interpolada mas a do motor é muito difícil de conseguirmos, pois seria necessário obter informações muito detalhadas das características elétricas do motor, se considerarmos ainda que a equação abaixo, seja uma aproximação válida e bastante razoável.

$$C_{\text{motor}} = \frac{A - Bn}{Cn^2 - Dn + E} \quad (5.26.5.4)$$

Onde A, B, C, D, e E são constantes inteiras e positivas dependentes das características do motor.

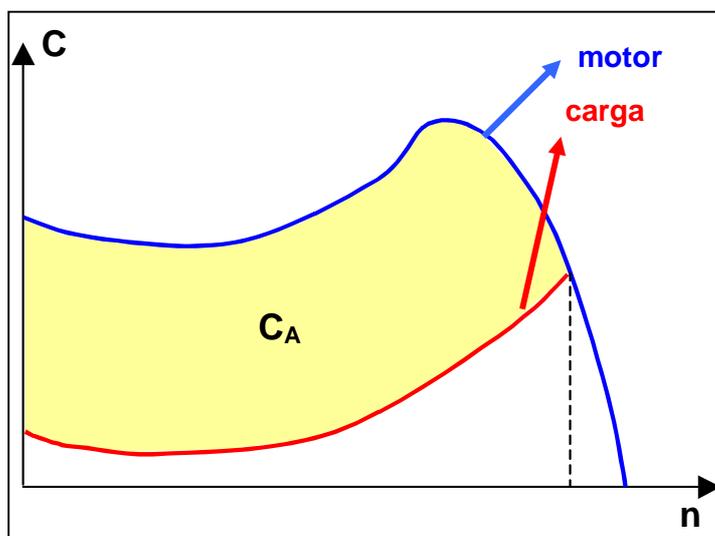


Figura 5.220 - Representação gráfica do conjugado acelerante

Assim a área representada na figura acima poderia ser calculada pela resolução da seguinte expressão genérica:

$$C_A = \int_0^n \frac{A - Bn}{Cn^2 - Dn + E} dn - \int_0^n C_R(n) dn \quad (5.26.5.5)$$

$C_R(n)$  dependerá da característica de conjugado da carga, que como visto anteriormente poderá ser classificada em um dos grupos específicos (constante, quadrático, linear, hiperbólico ou não definido). Vemos que será mais fácil buscarmos outra forma de calcularmos esta área sem a necessidade de recorrer a técnicas de integração muito complexas.

Uma maneira interessante seria calcularmos esta área através de alguma técnica de integração numérica. Por simplicidade utilizaremos a integração pela técnica dos trapézios.

Esta técnica consiste em dividirmos o intervalo de integração em N partes iguais e calcularmos a área do trapézio formado em cada um dos subintervalos  $\Delta n$ , sendo que os pontos de conjugado serão lidos diretamente da curva. Nitidamente pode-se perceber que haverá uma margem de erro no valor da área a ser calculada, mas no nosso caso perfeitamente tolerável.

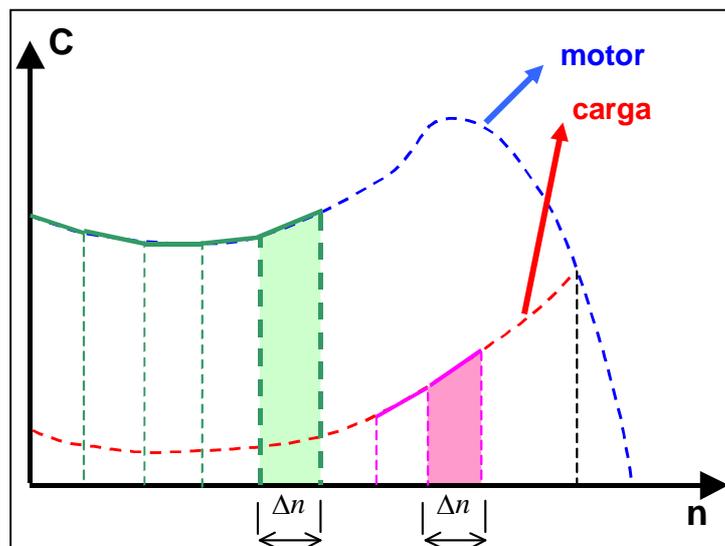


Figura 5.221 -Técnica de integração numérica pela regra dos trapézios

Apesar de trabalhosa, dependendo do número de subintervalos, esta técnica mostra-se muito eficiente e simples pois permite calcularmos o conjugado acelerante para qualquer que seja a característica de conjugado do motor e da carga. Somente deverá ficar esclarecido que antes de aplicar-se esta técnica, a curva de conjugado do motor deverá ser corrigida em função da variação da tensão aplicada, através de fatores de redução. Podemos considerar que a variação da tensão aplicada ao motor obedece a seguinte relação :

$$U(n) = \left( \frac{U_N - U_P}{n_N} \right) \times n + U_P \quad (5.26.5.6)$$

Onde:  $U_P$  = tensão de partida;  
 $U_N$  = tensão nominal;  
 $n_N$  = rotação nominal;

Na verdade o que nos diz a expressão (5.26.5.6) seria válido se tivéssemos um sistema de malha fechada de velocidade, onde a soft-starter receberia a leitura de velocidade do motor para que assim aplicasse a rampa de tensão. De qualquer maneira para efeito de dimensionamento isto não nos trará nenhum inconveniente sendo também uma aproximação relativamente satisfatória. A figura a seguir ilustra esta consideração.

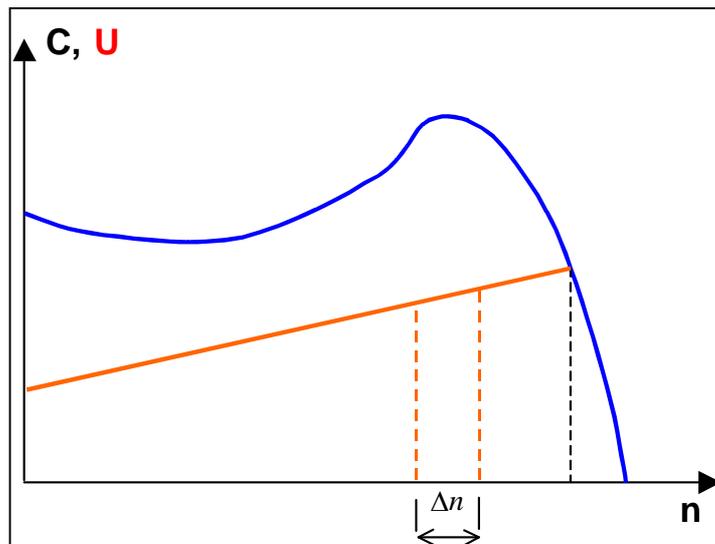


Figura 5.222 -Rampa de tensão aplicada ao motor na partida

Podemos assim colocar estes valores em uma tabela de forma a facilitar a visualização dos resultados obtidos segundo o procedimento acima descrito.

Rotação (%)	C/C <sub>N</sub> (motor)	C <sub>RC</sub> /C <sub>N</sub>	C <sub>A</sub> /C <sub>N</sub>
n <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>R0</sub>	$\frac{C_0+C_1}{2} - \frac{C_{R0}+C_{R1}}{2}$
n <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>R1</sub>	$\frac{C_1+C_2}{2} - \frac{C_{R1}+C_{R2}}{2}$
n <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>R2</sub>	$\frac{C_2+C_3}{2} - \frac{C_{R2}+C_{R3}}{2}$
...	...	...	...
n <sub>Nom</sub>	C <sub>Nom</sub>	C <sub>Rnom</sub>	$\frac{C_{N-1}+C_{Nom}}{2} - \frac{C_{RN-1}+C_{RNom}}{2}$

Tabela 5.32.5.1.1 - Valores de Conjugado

**Nota :** Todos os valores de conjugado na tabela acima foram referenciados ao conjugado nominal do motor por comodidade e por ser mais fácil trabalhar com valores dessa forma referenciados.

Aplicando estes valores na equação (5.26.5.2) poderemos calcular os tempo de aceleração parciais para cada um dos subintervalos. Bastará depois disso somarmos todos estes valores parciais obtendo assim o valor do tempo de aceleração total do motor. Matematicamente podemos expressar isso através da seguinte relação:

$$t_a = \sum_0^n t_{a_n} \quad (5.26.5.7)$$

O valor encontrado a partir da expressão (5.26.5.7) deverá obedecer o que define a expressão (5.26.5.1). Caso isto se verifique teremos certeza de que o motor escolhido atende a condição de partida.

Vamos agora aplicar este procedimento em um exemplo prático baseando-se em um uma aplicação real, sendo fornecidas as seguintes informações :

- Curva de conjugado da carga;
- Folha de dados do motor;
- Curvas com as características de conjugado e corrente do motor;

**Obs.:** Ver folha de dados – adendo I – pág. 427

Neste caso aplicaremos o procedimento para uma bomba centrífuga que irá trabalhar em um ponto de operação definido pela vazão de 200 m<sup>3</sup>/h e uma pressão de 21 mca, com rendimento de 75%.

Com estes dados podemos calcular a potência requerida pela bomba e assim determinar a potência do motor adequado ao acionamento da bomba. Chegamos a  $P_c = 20,46366$  c.v., ou melhor, escolheremos um motor de 25 c.v. (valor comercial de potência normalizada).

A curvas de conjugado em função da rotação, da bomba e do motor, fornecem o valor de conjugado requerido em dez pontos de rotação distintos. Lendo estes valores das curvas obtemos a tabela abaixo :

Pontos de conjugado resistente		Conjugado do motor
Rotação (% de $n_N$ )	$C_R$ (N.m)	$C_{motor}$ (N.m)
0	36,39183	229,54
10	0,81349	210,4117
20	3,281078	197,6594
30	7,375647	191,2833
40	13,11075	193,8338
50	20,4864	204,0356
60	29,50259	216,7878
70	40,15931	229,54
80	52,45658	255,0444
90	66,38082	184,9072
100	81,95917	99,8

Tabela 5.32.5.1.2

Os valores de conjugado do motor deverão ser corrigidos para a variação de tensão que será aplicada. Aqui iremos considerar que o motor atinja a tensão nominal ao final da rampa de tensão aplicada pela soft-starter.

Sabemos que conjugado do motor varia com o quadrado da tensão aplicada. Desta forma podemos determinar os valores de conjugado corrigido para cada um dos pontos fornecidos, já que conhecemos a rampa de tensão.

Podemos então montar a seguinte tabela :

Os valores de conjugado do motor devem ser corrigidos através da seguinte relação :

$$C_{Motor} = (U/100)^2 \times C_{motor} \text{ (tirado da tabela 5.26.2)}$$

Rotação (% da $n_{Nom}$ )	Tensão (% da $U_{Nom}$ )	$C_{Motor}$ (N.m)
0	35	14,35
10	41,5	22,22
20	48	31,63
30	54,5	43,16
40	61	58,63
50	67,5	79,70
60	74	106,23
70	80,5	137,87
80	87	184,27
90	93,5	158,21
100	100	99,80

Tabela 5.32.5.1.3

Com os valores de conjugado corrigidos podemos agora preencher uma tabela como a tabela 5.26.1. Esta tabela apresentará os valores de conjugado acelerante médio para cada um dos intervalos de rotação definidos. Esta tabela é mostrada a seguir :

Rotação (% de $n_{Nom}$ )	$C_{Motor}$ (N.m)	$C_{RES}$ (N.m)	$C_{médio}$ (N.m)
0	28,12	16,39	23,58
10	36,24	0,81	38,84
20	45,54	3,28	45,85
30	56,82	7,38	54,23
40	72,13	13,11	65,75
50	92,96	20,49	80,84
60	118,71	29,50	98,90
70	148,75	40,16	124,59
80	193,04	52,46	117,93
90	161,65	66,38	56,56
100	99,80	81,96	

Tabela 5.32.5.1.4

Com os valores de conjugado acelerante médio para todos os intervalos de rotação, temos condição de calcular os tempos de aceleração parciais para cada um deles (através da equação 5.26.5.2).

Para calcularmos o tempo de aceleração total basta utilizarmos a relação 5.26.5.7.

Substituindo os valores nas respectivas equações chegamos ao seguinte resultado para o tempo de aceleração total:  $t_a = 1,08$  s.

Podemos verificar que este motor terá condições de acelerar tranquilamente a carga, visto que o tempo de aceleração é muito pequeno em relação ao tempo de rotor bloqueado (corrigido).

Devemos lembrar que no procedimento usado no exemplo acima não consideramos a ativação da função “limitação de corrente” da soft-starter. Quando esta função está ativa devemos aplicar fatores para correção das curvas de conjugado e corrente do motor.

Uma alternativa válida seria a de considerarmos um valor de limitação de corrente, e a partir daí calcularmos a tensão que deveria ser aplicada, considerando esta situação. Note que o conjugado será corrigido conforme a seguinte relação:

$$C_A = \left( \frac{I_{Lim}}{I_n} \right) \times C_n - C_{Rn} \quad (5.26.5.8)$$

Deve-se notar que a relação entre o valor da limitação e a corrente do motor nos informará diretamente a relação da tensão aplicada em relação a tensão nominal. Assim podemos atribuir um valor a  $I_{Lim}$  e verificarmos se o valor de tensão aplicada ao motor é válido ou satisfatório.

Para garantirmos o acionamento do motor devemos então calcular o valor de corrente eficaz para o regime de partida do motor utilizando o valor de corrente limite e tempo de aceleração total. Isto pode ser feito através da seguinte relação :

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{(I_{Lim})^2 \times t_a + (360 - t_a)}{360}} \times I_{Nom} \quad (5.26.5.9)$$

válido para um regime de partidas de 10 partidas por hora.

O valor encontrado através da relação (5.26.5.9) deverá ser comparado com o valor de corrente eficaz da soft-starter, que poderá ser encontrado a partir da seguinte relação :

$$I_{ef_{ssw}} = \sqrt{\frac{(3)^2 \times t_{máx} + (360 - t_{máx})}{360}} \times I_{Nom_{ssw}} \quad (5.26.5.10)$$

onde,  $t_{máx}$  depende do modelo da soft-starter.

Neste caso devemos comparar os valores obtidos através de (5.26.5.9) e (5.26.5.10) e os mesmos devem obedecer a seguinte relação :

$$I_{ef_{ssw}} \geq k \times I_{ef} \quad (5.26.5.11)$$

Poderá ainda ser usado na expressão (5.26.5.11) um fator de segurança, representado por  $k$ , porém somente se necessário, pois este fator dificilmente supera o valor de 1,2 (folga de 20% acima do calculado).

Estabelecemos dessa maneira os procedimentos para dimensionamento de um acionamento com soft-starter para a situação denominada de **Ideal**.

### 5.32.5.2 SITUAÇÃO NORMAL

Na situação normal não poderemos dispor de informações mais detalhadas, assim seremos obrigados a considerar critérios de dimensionamento baseados em resultados empíricos ou seja, colhidos através da experiência. Dessa forma estabeleceremos fatores de multiplicação que deverão ser aplicados a corrente nominal do motor. A tabela abaixo nos mostra estes fatores.

<i>Aplicação</i>	<i>Carga</i>	<i>Inércia</i>	<i>Fator</i>	
Bomba Centrífuga	Baixa	Baixa	<b>1,0</b>	
Compressores (parafuso)	Baixa	Baixa	1,0	
Compressores (alternativo)	Média	Baixa	<b>1,0</b>	
Ventiladores	Quadrático	Média/Alta	1,2	Até 22 kW
			<b>1,5</b>	Acima de 22 kW
Misturadores (pulpers)	Média	Média	1,5 – <b>1,8</b>	
Moinhos	Média/Alta	Média	1,8 – <b>2,0</b>	
Transportadores	Média/Alta	Alta	1,8 – <b>2,0</b>	
Centrífugas	Baixa	Muito Alta	1,8 – <b>2,0</b>	

Tabela 5.32.5.2.1

**Nota :** Os valores acima são válidos para regime de serviço normal, ou seja, com número de partidas não superior a 10 partidas por hora. Consideramos também, a inércia e conjugado resistente da carga referidos ao eixo do motor.

#### **Exemplos :**

Considerar um motor Weg, 175 CV – IV pólos – 380 Volts – 60 Hz

1) Acionando uma **bomba centrífuga** em uma estação de tratamento de água.

- Devemos considerar a corrente nominal do motor;
- Procurando esta informação no catálogo de motores encontramos  $I_{nom} = 253,88$  A;
- Pelo critério da tabela 5.26.4 vemos que devemos considerar o fator 1,0;
- Logo a soft-starter indicada para este caso é a SSW-03.255/220-440/2 (ver catálogo).

2) Acionando um **ventilador** em uma câmara de resfriamento.

- Devemos considerar a corrente nominal do motor;
- Procurando esta informação no catálogo de motores encontramos  $I_{nom} = 253,88$  A;

- Pelo critério da tabela 5.26.4 vemos que devemos considerar o fator 1,5;
- Assim devemos considerar o valor de  $1,5 \times 253,88 \text{ A} \Rightarrow 380,82 \text{ A}$ ;
- Logo a soft-starter indicada para este caso é a SSW-03.410/220-440/2 (ver catálogo).

### 3) Acionando um **transportador contínuo** em uma empresa de mineração.

- Devemos considerar a corrente nominal do motor;
- Procurando esta informação no catálogo de motores encontramos  $I_{nom} = 253,88 \text{ A}$ ;
- Pelo critério da tabela 5.26.4 vemos que devemos considerar o fator 1,0;
- Assim devemos considerar o valor de  $2,0 \times 253,88 \text{ A} \Rightarrow 507,76 \text{ A}$ ;
- Logo a soft-starter indicada para este caso é a SSW-03.580/220-440/2 (ver catálogo).

Não há dúvida que esta maneira de dimensionar as soft-starters é muito mais simples, porém ela torna-se muito vulnerável a erros, já que em virtude das poucas informações oferecidas é muito difícil garantir o acionamento. Nestes casos é sempre oportuno consultar o fabricante da soft-starter para que este possa avaliar melhor a situação e assim indicar uma solução mais adequada.

### 5.32.6 CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

É importante salientarmos alguns aspectos importantes relacionados a sistemas de acionamento com soft-starters, principalmente o que está relacionado a proteção da chave.

#### ***Fusíveis***

Recomenda-se a utilização de fusíveis de ação ultra-rápida para proteção da chave contra curto-circuitos. No caso de usar-se fusíveis de ação retardada, os mesmos não garantirão a integridade dos semicondutores, já que os mesmos com certeza irão danificar-se. Visto que a chave é constituída basicamente de uma placa eletrônica de controle e de módulos de semicondutores de potência, estaremos comprometendo de maneira muito severa o sistema como um todo.

#### ***Correção de fator de potência***

Devemos atentar aos casos onde é necessária a correção de fator de potência, principalmente nos casos onde a correção é feita individualmente, onde normalmente temos os capacitores de correção já conectados junto ao motor. Para a aplicação de soft-starters neste tipo de situação devemos garantir que durante a execução das rampas os capacitores estejam desconectados do circuito de saída entre a chave e o motor. De maneira geral, podemos utilizar uma das saídas digitais programáveis da própria chave para comandar o religamento dos capacitores. Isto sem dúvidas é o mais seguro e correto em termos de garantias.

Caso, a opção seja a de usar-se um circuito de comando independente da soft-starter, os cuidados deverão ser redobrados já que se os capacitores forem acidentalmente conectados antes do final de execução da rampa de aceleração, por exemplo, serão gerados transitórios

indesejáveis de corrente, que poderão seguramente danificar de forma irreversível os semicondutores.

### ***Contator de entrada***

Alguns modelos de chaves encontrados no mercado, em sua maioria modelos analógicos, exigem a colocação de um contator no circuito de entrada da chave. Os modelos analógicos são distribuídos em função de terem um custo menor do que as chaves digitais que por sua vez não tem esta obrigatoriedade. O importante é lembrar que nos modelos digitais estes contadores são colocados em conformidade às normas, no aspecto de segurança. As normas exigem que seja colocado um dispositivo de seccionamento do circuito de força (contator, disjuntor, chave seccionadora, etc.), pois no caso de uma falha na soft-starter (placa de controle) e a queima de um ou mais módulos de tiristores, os mesmos por serem semicondutores, terão como característica entrarem em curto quando danificados, ficando assim claro, que se não tivermos um elemento de seccionamento no circuito de força, não será possível desligar o motor sem que se tome uma atitude mais drástica e com certeza mais perigosa, do ponto de vista relacionado a segurança do usuário.

### ***Dispositivos de seccionamento na saída***

Evite comutar dispositivos como contadores, seccionadoras, etc. , conectados na saída da chave, com a mesma ainda acionando o motor ou habilitada.

### ***Proteção de sobrecarga***

Não esqueça de ajustar corretamente os parâmetros relacionados com a proteção de sobrecarga. Sempre ajustar de acordo com o motor utilizado e a corrente de operação do mesmo.

### ***Acionamentos multi-motores***

Quando utilizar-se uma única soft-starter para o acionamento de vários motores (ao mesmo tempo), providenciar a utilização de relés de sobrecarga individuais para cada um dos motores. Não esqueça que neste caso a soft-starter deverá ser dimensionada pela soma das correntes individuais de cada motor.

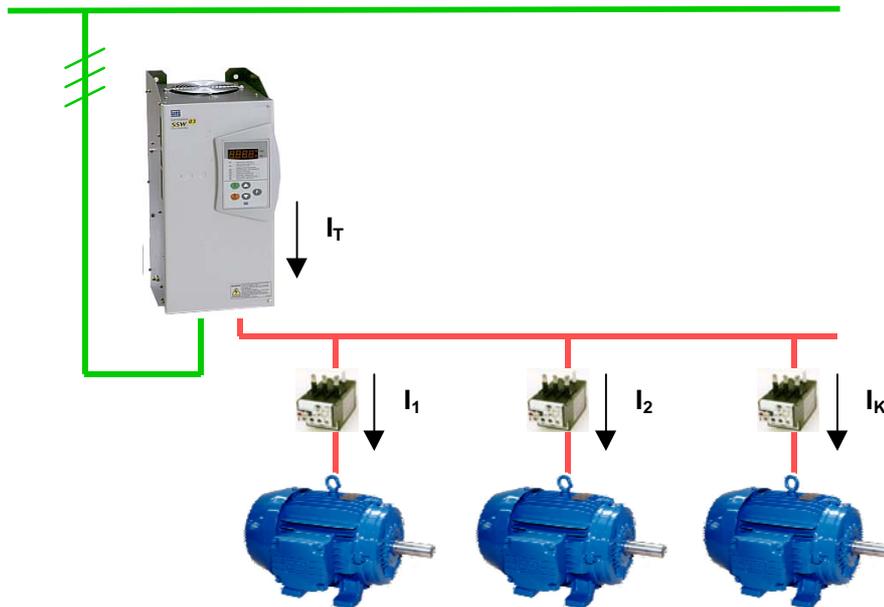


Figura 5.223

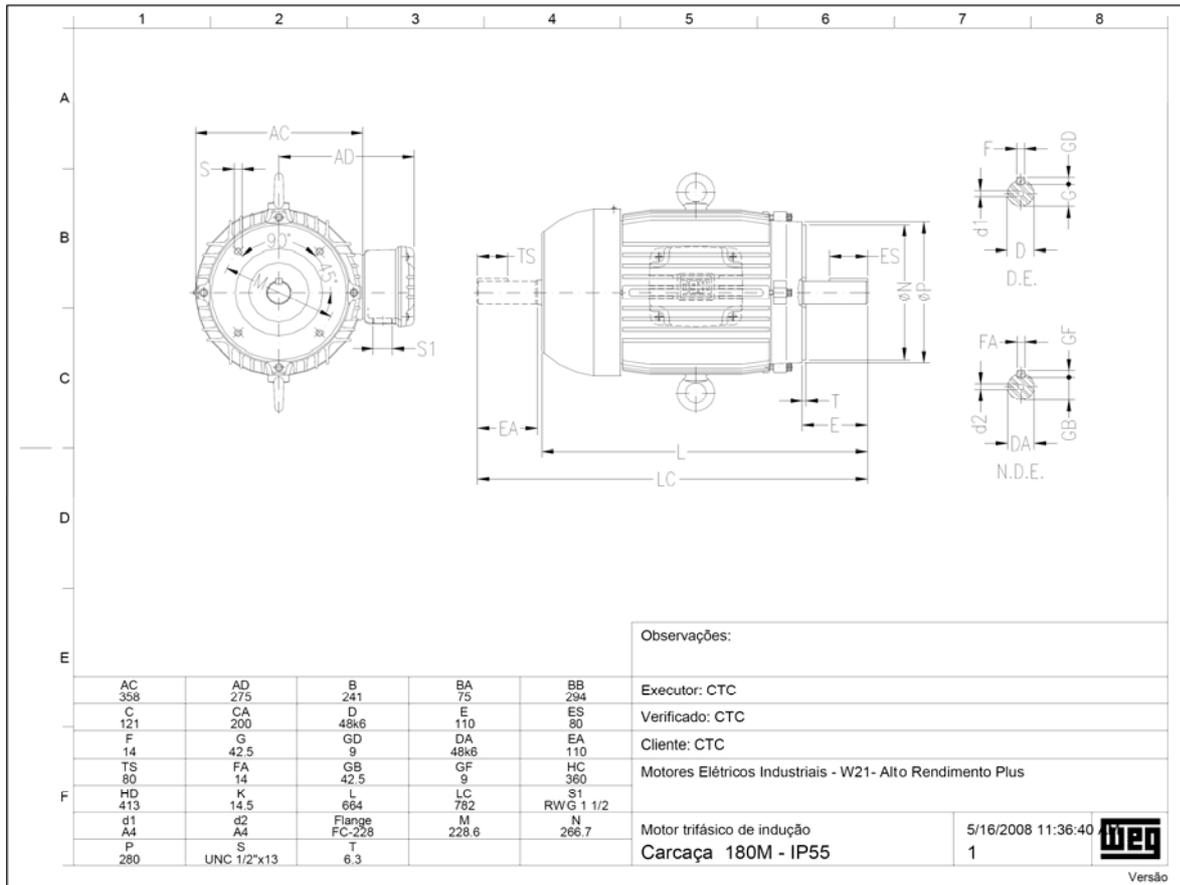
A corrente total ( $I_T$ ) é dada pelo somatório das correntes de todos os  $N$  motores. Matematicamente teremos a seguinte relação:

$$I_T = \sum_1^N I_K$$

## Apêndice – I (Curvas Características do motor e da carga)

	<h1 style="margin: 0;">WEG</h1>		No.: 1																																																						
			Data: 5/16/2008 11:37:02 AM																																																						
<h2 style="margin: 0;">FOLHA DE DADOS</h2> <h3 style="margin: 0;">Motor trifásico de indução - Rotor de gaiola</h3>																																																									
Cliente : CTC Linha do produto : Motores Elétricos Industriais - W21- Alto Rendimento Plus																																																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30%;">Carcaça</td><td>: 180M</td></tr> <tr><td>Potência</td><td>: 18,5 kW</td></tr> <tr><td>Frequência</td><td>: 60 Hz</td></tr> <tr><td>Pólos</td><td>: 4</td></tr> <tr><td>Rotação nominal</td><td>: 1765</td></tr> <tr><td>Escorregamento</td><td>: 1,94 %</td></tr> <tr><td>Tensão nominal</td><td>: 220/380/440 V</td></tr> <tr><td>Corrente nominal</td><td>: 62,5/36,2/31,3 A</td></tr> <tr><td>Corrente de partida</td><td>: 450/261/225 A</td></tr> <tr><td>Ip/In</td><td>: 7,2</td></tr> <tr><td>Corrente a vazio</td><td>: 24,0/13,9/12,0 A</td></tr> <tr><td>Conjugado nominal</td><td>: 100 Nm</td></tr> <tr><td>Conjugado de partida</td><td>: 240 %</td></tr> <tr><td>Conjugado máximo</td><td>: 260 %</td></tr> <tr><td>Categoria</td><td>: N</td></tr> <tr><td>Classe de isolamento</td><td>: F</td></tr> <tr><td>Elevação de temperatura</td><td>: 80 K</td></tr> <tr><td>Tempo de rotor bloqueado</td><td>: 16 s (quente)</td></tr> <tr><td>Fator de serviço</td><td>: 1,15</td></tr> <tr><td>Regime de serviço</td><td>: S1</td></tr> <tr><td>Temperatura ambiente</td><td>: 40</td></tr> <tr><td>Altitude</td><td>: 1000 m</td></tr> <tr><td>Proteção</td><td>: IP55</td></tr> <tr><td>Massa aproximada</td><td>: 180 kg</td></tr> <tr><td>Momento de inércia</td><td>: 0,16145 kgm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Nível de ruído</td><td>: 68 dB(A)</td></tr> </table>						Carcaça	: 180M	Potência	: 18,5 kW	Frequência	: 60 Hz	Pólos	: 4	Rotação nominal	: 1765	Escorregamento	: 1,94 %	Tensão nominal	: 220/380/440 V	Corrente nominal	: 62,5/36,2/31,3 A	Corrente de partida	: 450/261/225 A	Ip/In	: 7,2	Corrente a vazio	: 24,0/13,9/12,0 A	Conjugado nominal	: 100 Nm	Conjugado de partida	: 240 %	Conjugado máximo	: 260 %	Categoria	: N	Classe de isolamento	: F	Elevação de temperatura	: 80 K	Tempo de rotor bloqueado	: 16 s (quente)	Fator de serviço	: 1,15	Regime de serviço	: S1	Temperatura ambiente	: 40	Altitude	: 1000 m	Proteção	: IP55	Massa aproximada	: 180 kg	Momento de inércia	: 0,16145 kgm <sup>2</sup>	Nível de ruído	: 68 dB(A)
Carcaça	: 180M																																																								
Potência	: 18,5 kW																																																								
Frequência	: 60 Hz																																																								
Pólos	: 4																																																								
Rotação nominal	: 1765																																																								
Escorregamento	: 1,94 %																																																								
Tensão nominal	: 220/380/440 V																																																								
Corrente nominal	: 62,5/36,2/31,3 A																																																								
Corrente de partida	: 450/261/225 A																																																								
Ip/In	: 7,2																																																								
Corrente a vazio	: 24,0/13,9/12,0 A																																																								
Conjugado nominal	: 100 Nm																																																								
Conjugado de partida	: 240 %																																																								
Conjugado máximo	: 260 %																																																								
Categoria	: N																																																								
Classe de isolamento	: F																																																								
Elevação de temperatura	: 80 K																																																								
Tempo de rotor bloqueado	: 16 s (quente)																																																								
Fator de serviço	: 1,15																																																								
Regime de serviço	: S1																																																								
Temperatura ambiente	: 40																																																								
Altitude	: 1000 m																																																								
Proteção	: IP55																																																								
Massa aproximada	: 180 kg																																																								
Momento de inércia	: 0,16145 kgm <sup>2</sup>																																																								
Nível de ruído	: 68 dB(A)																																																								
		Dianteiro	Traseiro	Carga	Fator potência	Rendimento (%)																																																			
Rolamento	6311 C3	6211 Z-C3		100%	0,84	92,5																																																			
Intervalo de lubrificação	20000 h	20000 h		75%	0,80	92,0																																																			
Quantidade de graxa	18 g	11 g		50%	0,70	91,0																																																			
Executor: CTC				Verificado: CTC																																																					

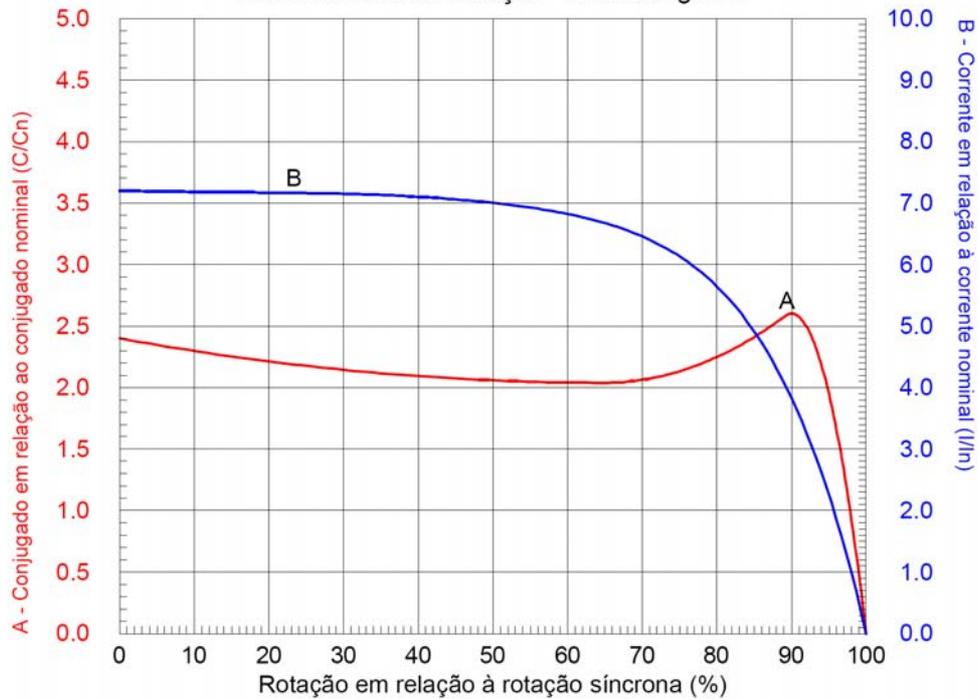
Módulo 1 – Comando e Proteção



	<b>WEG</b>	No.: 1
		Data: 5/16/2008 11:35:20 AM

### CURVAS CARACTERÍSTICAS EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO

Motor trifásico de indução - Rotor de gaiola

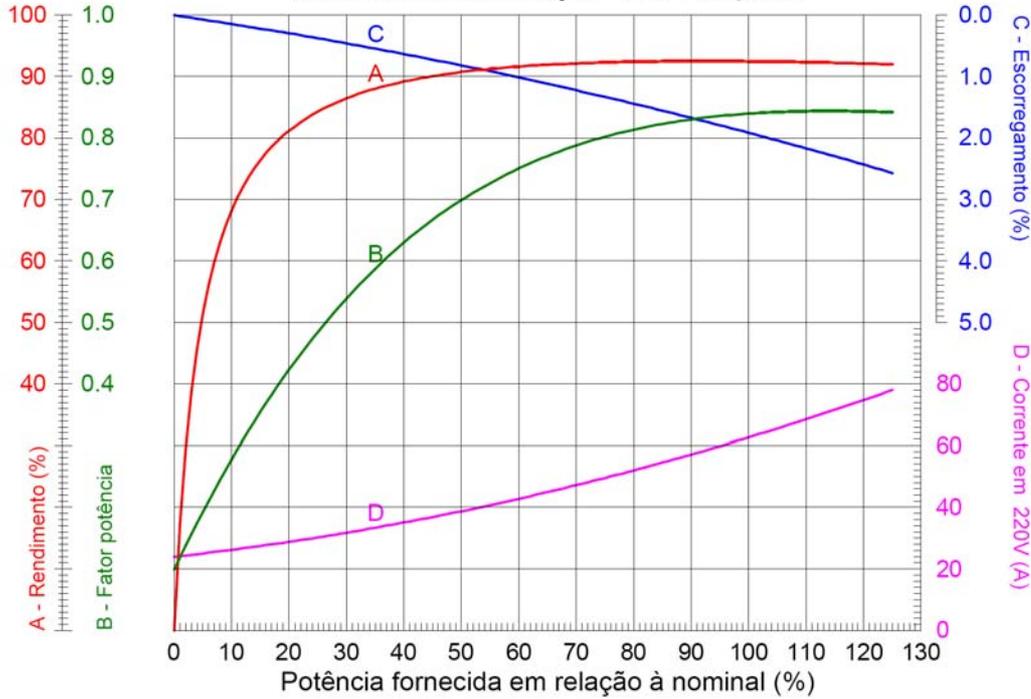


Cliente	: CTC		
Linha do produto	: Motores Elétricos Industriais - W21- Alto Rendimento Plus		
Potência	: 18,5 kW	Ip/In	: 7,2
Carcaça	: 180M	Regime de serviço	: S1
Rotação nominal	: 1765	Fator de serviço	: 1,15
Frequência	: 60 Hz	Categoria	: N
Tensão nominal	: 220/380/440 V	Conjugado de partida	: 240 %
Classe de isolamento	: F	Conjugado máximo	: 260 %
Corrente nominal	: 62,5/36,2/31,3 A		

	<b>WEG</b>	No.: 1
		Data: 5/16/2008 11:36:03 AM

**CURVAS CARACTERÍSTICAS EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA**

Motor trifásico de indução - Rotor de gaiola



Cliente	: CTC
Linha do produto	: Motores Elétricos Industriais - W21- Alto Rendimento Plus

Potência	: 18,5 kW	Ip/In	: 7,2
Carcaça	: 180M	Regime de serviço	: S1
Rotação nominal	: 1765	Fator de serviço	: 1,15
Frequência	: 60 Hz	Categoria	: N
Tensão nominal	: 220/380/440 V	Conjugado de partida	: 240 %
Classe de isolamento	: F	Conjugado máximo	: 260 %
Corrente nominal	: 62,5/36,2/31,3 A		

### 5.33 SOFT-STARTER

Soft-Starters são chaves de partida estática, destinadas à aceleração, desaceleração e proteção de motores de indução trifásicos. O controle da tensão aplicada ao motor, mediante o ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, permite obter partidas e paradas suaves do mesmo.

Com o ajuste adequado das variáveis, o torque produzido é ajustado à necessidade da carga, garantindo, desta forma, que a corrente solicitada seja a mínima necessária para a partida.

As Soft-Starters WEG, microprocessadas e totalmente digitais, são produtos dotados de tecnologia de ponta e foram projetadas para garantir a melhor performance na partida e parada de motores de indução, apresentando-se como uma solução completa e de baixo custo.

A interface homem-máquina permite fácil ajuste de parâmetros facilitando a posta em marcha. A função incorporada, “Pump Control”, permite um eficaz controle sobre bombas, evitando desta maneira o “Golpe de Aríete”.

#### 5.33.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA SOFT-STARTER

O funcionamento das Soft-Starters está baseado na utilização de uma ponte tiristorizada (SCR's) na configuração anti-paralelo, que é comandada através de uma placa eletrônica de controle, a fim de ajustar a tensão de saída, conforme programação feita anteriormente pelo usuário.

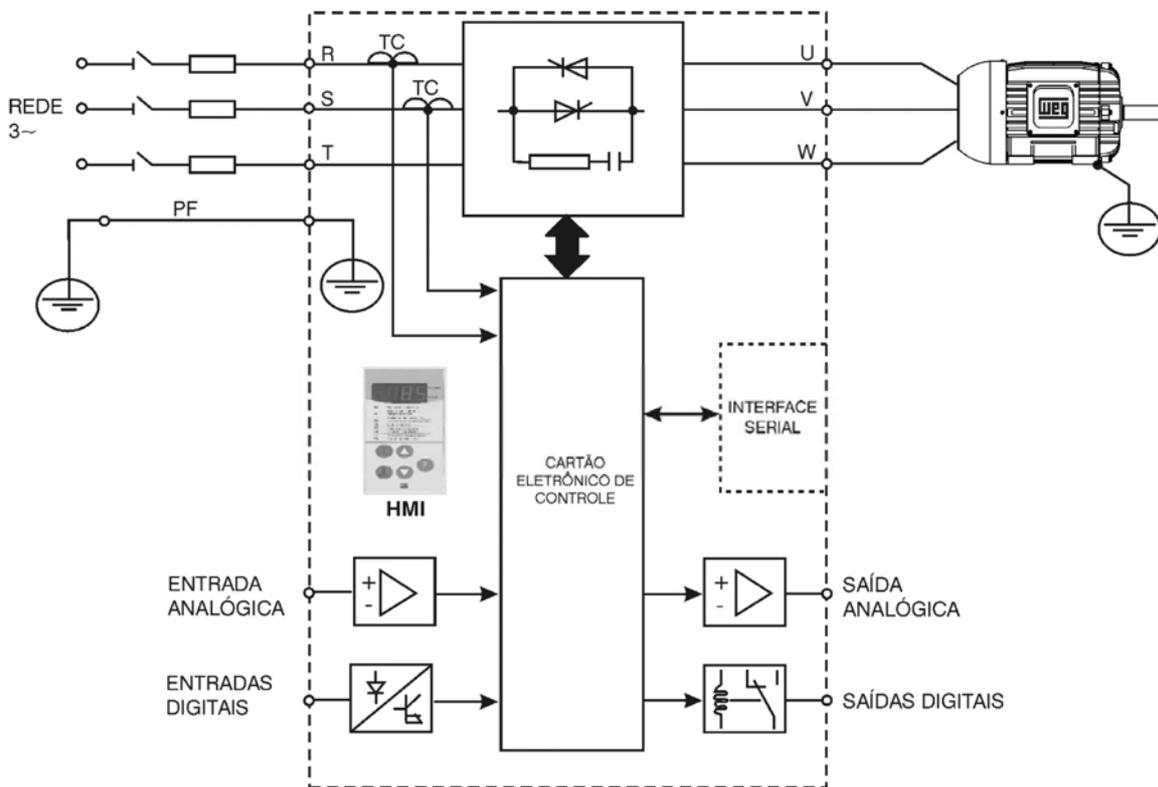


Figura 5.224 - Bloco diagrama simplificado do Soft-Starter

## CIRCUITO DE POTÊNCIA

Como já sabemos, a etapa de potência da Soft-Starter tem como principais componentes os tiristores SCR (Silicon Controlled Rectifier).

Controlando o ângulo de disparo do SCR, podemos controlar a tensão média aplicada à carga, controlando assim sua corrente e potência.

Numa soft-starter, o controle da tensão tem que ser feito nos dois sentidos da corrente, devendo ser utilizada a configuração anti-paralela de dois SCR por fase.

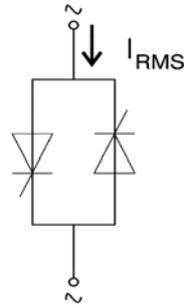


Figura 5.225 - Dois tiristores em anti-paralelo

Neste caso, tem-se o controle da tensão nas duas metades do ciclo, mediante os disparos nos Gates provenientes do circuito de controle.

Na figura abaixo temos um diagrama simplificado do circuito de potência de uma soft-starter, onde notamos o uso dos pares de tiristores (SCR) em anti-paralelo em cada fase do circuito.

Mediante um circuito de controle para os disparos dos tiristores, a tensão a ser aplicada no motor pode ir crescendo linearmente, tendo com isso um controle da corrente de partida do motor.

Ao final da partida do motor, o motor terá sobre seus terminais praticamente toda a tensão da rede.

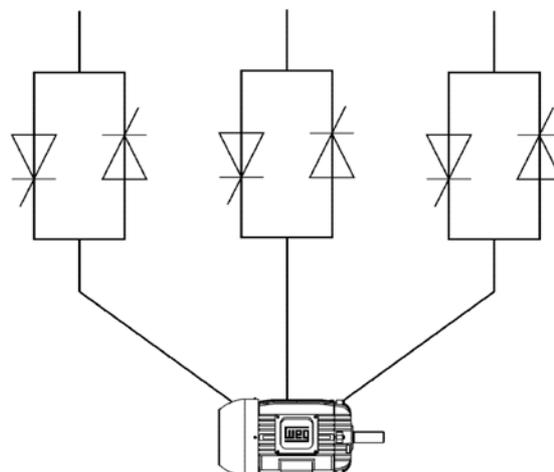


Figura 5.226 - SCRs no circuito de força do motor (ligação “fora” do delta do motor)

A seguir temos a ilustração da forma de onda da tensão em uma das fases do motor em quatro instantes. Nota-se que ao reduzir o ângulo de disparo dos SCR, a tensão a ser aplicada no motor aumenta, aumentando com isso a corrente no mesmo.

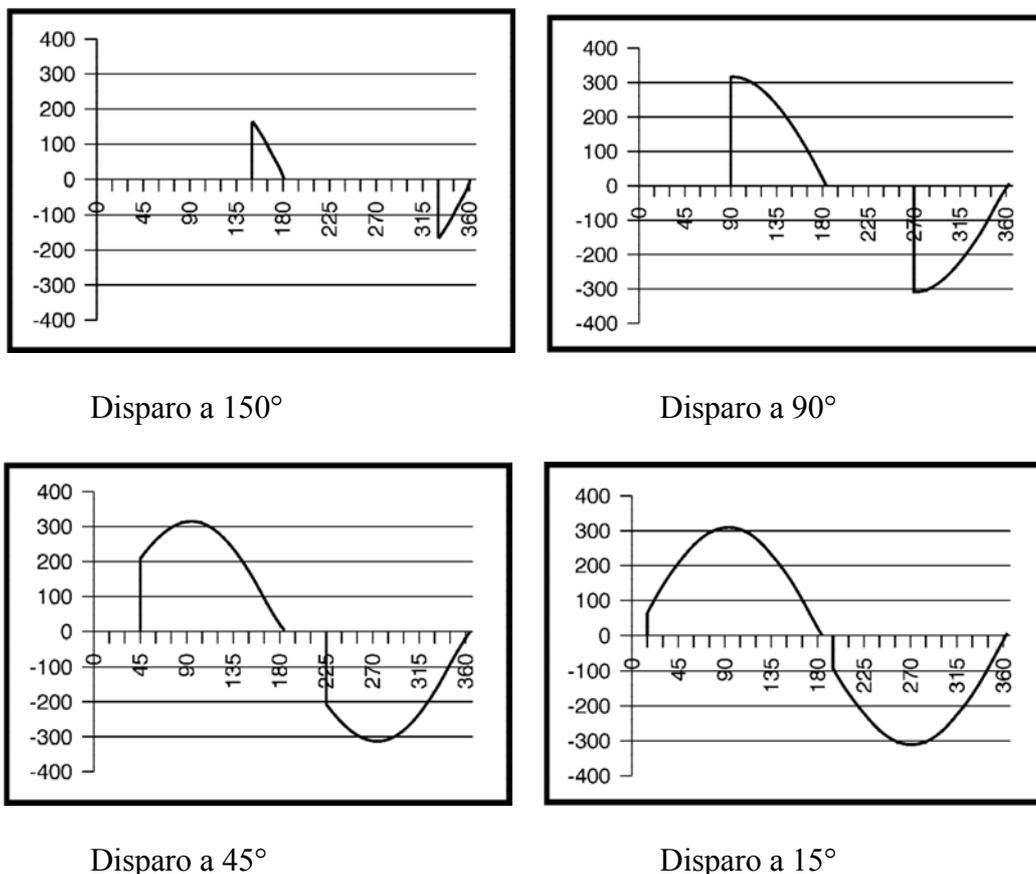


Figura 5.227

Para evitar disparos acidentais dos SCR, instala-se em paralelo com os mesmos um capacitor e um resistor conforme indicado na figura. Este circuito auxiliar é denominado de Snubber e tem como finalidade evitar o disparo por  $dV/dT$  (variação abrupta da tensão num pequeno intervalo de tempo).

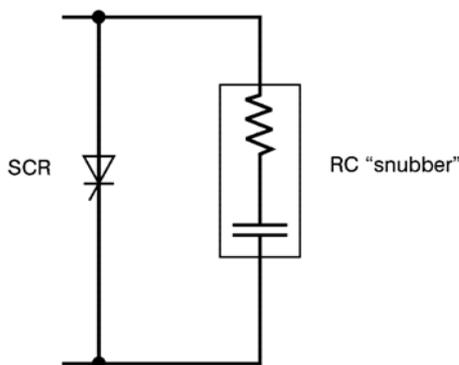


Figura 5.228 - Snubber

Para se fazer a monitoração da corrente na saída da Soft-Starter, instala-se transformadores de corrente, permitindo com isso que o controle eletrônico efetue a proteção e manutenção do valor de corrente em níveis pré-definidos (função limitação de corrente ativada).

## CIRCUITO DE CONTROLE

Onde estão contidos os circuitos responsáveis pelo comando, monitoração e proteção dos componentes do circuito de potência, bem como os circuitos utilizados para comando, sinalização e interface homem-máquina que serão configurados pelo usuário em função da aplicação.

### 5.33.2 PRINCIPAIS FUNÇÕES

#### 5.33.2.1 RAMPA DE TENSÃO NA ACELERAÇÃO

As chaves Soft-Starters tem uma função muito simples, que é através do controle da variação do ângulo de disparo da ponte de tiristores, gerar na saída da mesma, uma tensão eficaz gradual e continuamente crescente até que seja atingida a tensão nominal da rede. Graficamente podemos observar isto através da figura abaixo.

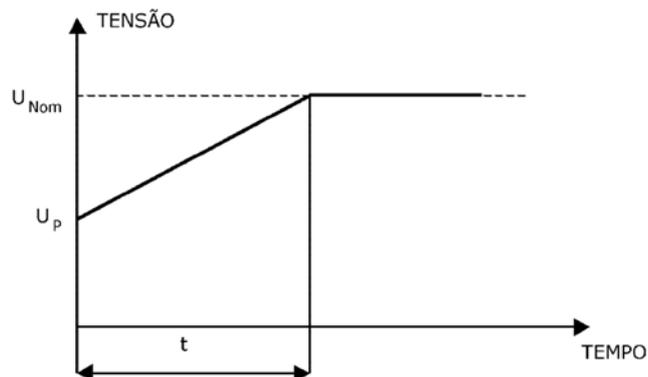


Figura 5.229 - Rampa de tensão aplicada ao motor na aceleração

Atentar ao fato de que quando ajustamos um valor de tempo de rampa, e de tensão de partida (pedestal), isto não significa que o motor irá acelerar de zero até a sua rotação nominal no tempo definido por  $t_a$ . Isto, na realidade dependerá das características dinâmicas do sistema motor/carga, como por exemplo: sistema de acoplamento, momento de inércia da carga refletida ao eixo do motor, atuação da função de limitação de corrente, etc .

Tanto o valor do pedestal de tensão, quanto o de tempo de rampa são valores ajustáveis dentro de uma faixa que pode variar de fabricante para fabricante.

Não existe uma regra prática que possa ser aplicada para definir qual deve ser o valor de tempo a ser ajustado, e qual o melhor valor de tensão de pedestal para que o motor possa garantir a aceleração da carga.

A melhor aproximação poderá ser alcançada através do cálculo do tempo de aceleração do motor, o qual será mostrado posteriormente.

### 5.33.2.2 RAMPA DE TENSÃO DA DESACELERAÇÃO

Existem duas possibilidades para que seja executada a parada do motor, por inércia ou controlada, respectivamente. Na parada por inércia, a Soft-Starter leva a tensão de saída instantaneamente a zero, implicando que o motor não produza nenhum conjugado na carga, que por sua vez, irá perdendo velocidade, até que toda energia cinética seja dissipada. A equação (1) mostra matematicamente como podemos expressar esta forma de energia.

$$K = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 \quad (1)$$

onde,

K = energia cinética (Joules)

J = momento de inércia total (Kg.m<sup>2</sup>)

$\omega$  = velocidade angular (rad/s)

Na parada controlada a Soft-Starter vai gradualmente reduzindo a tensão de saída até um valor mínimo em um tempo pré-definido. Graficamente podemos observar a figura abaixo.

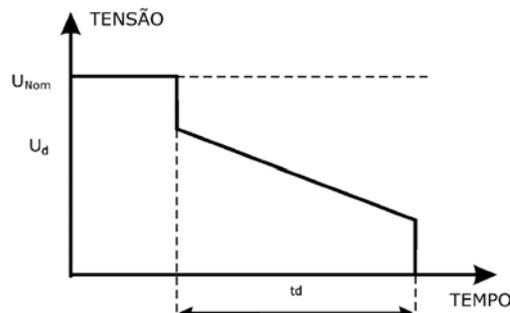


Figura 5.230 - Perfil de tensão na desaceleração

O que ocorre neste caso pode ser explicado da seguinte maneira: Reduzindo-se a tensão aplicada ao motor, este irá perder conjugado; a perda de conjugado reflete no aumento do escorregamento; o aumento do escorregamento faz com que o motor perca velocidade.

Se o motor perde velocidade a carga acionada também perderá. Este tipo de recurso é muito importante para aplicações que devem ter uma parada suave do ponto de vista mecânico. Podemos citar como exemplo bombas centrífugas, transportadores, etc.

No caso particular das bombas centrífugas este recurso minimiza o efeito do “golpe de ariete”, que pode provocar sérios danos a todo o sistema hidráulico, comprometendo componentes como válvulas e tubulações, além da própria bomba.

#### Golpe de Ariete:

O “Golpe de Ariete” é um “pico de pressão” resultado de uma rápida redução na velocidade de um líquido, que pode ocorrer quando um sistema de bombeamento sofre uma parada brusca. No contexto da aplicação de Soft-Starter, a ocorrência do Golpe de Ariete está

relacionada à rápida parada do motor da bomba, embora o golpe de ariete possa ser provocado por outros eventos, como o fechamento rápido de uma válvula.

O “pico” de pressão nestas condições pode ser várias vezes maior que o esperado para o sistema,

provocando danos que podem se estender até a bomba.

Quando a Soft-Starter está habilitada a fazer uma parada suave do motor (“Pump Control”), a chance de ocorrência do golpe de ariete na parada do motor é reduzida.

### Kick Start

Existem cargas que no momento da partida exigem um esforço extra do acionamento em função do alto conjugado resistente. Nestes casos, normalmente a Soft-Starter precisa aplicar no motor uma tensão maior que aquela ajustada na rampa de tensão na aceleração, isto é possível utilizando uma função chamada “Kick Start”. Como podemos ver na figura abaixo, esta função faz com que seja aplicado no motor um pulso de tensão com amplitude e duração programáveis para que o motor possa desenvolver um conjugado de partida, suficiente para vencer o atrito, e assim acelerar a carga. Deve-se ter muito cuidado com esta função, pois ela somente deverá ser usada nos casos onde ela seja estritamente necessária.

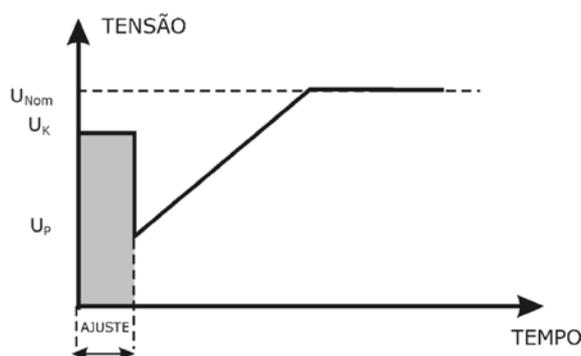


Figura 5.231 - Representação gráfica da função “Kick Start”

Devemos observar alguns aspectos importantes relacionados com esta função, já que ela poderá ser mal interpretada e, desta forma, comprometer a definição com relação ao seu uso, inclusive o do próprio sistema de acionamento.

Como a tensão de partida poderá ser ajustada próximo da tensão nominal, mesmo que por um pequeno intervalo de tempo, a corrente de partida irá atingir valores muito próximos daqueles registrados no catálogo ou folha de dados do motor.

Isto é claramente indesejável, pois a utilização da Soft-Starter nestes casos advém da necessidade de garantir-se uma partida suave, seja eletricamente, seja mecanicamente. Desta forma podemos considerar este recurso como sendo aquele que deverá ser usado em última instância, ou quando realmente ficar óbvia a condição severa de partida.

### Limitação de corrente

Na maioria dos casos onde a carga apresenta uma inércia elevada, é utilizada uma função denominada de limitação de corrente. Esta função faz com que o sistema rede/Soft-Starter forneça ao motor somente a corrente necessária para que seja executada a aceleração da carga.

Na figura podemos observar graficamente como esta função é executada.

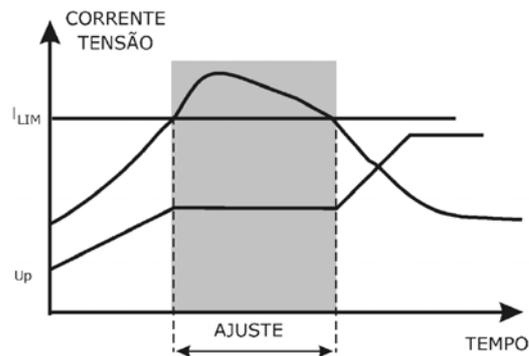


Figura 5.232 - Limitação de corrente

Este recurso é sempre muito útil pois garante um acionamento realmente suave e, melhor ainda, viabiliza a partida de motores em locais onde a rede encontra-se no limite de sua capacidade. Normalmente nestes casos a condição de corrente na partida faz com que o sistema de proteção da instalação atue, impedindo assim o funcionamento normal de toda a instalação. Ocorre então

a necessidade de se impor um valor limite de corrente de partida de forma a permitir o acionamento do equipamento bem como de toda a indústria.

A limitação de corrente também é muito utilizada na partida de motores cuja carga apresenta um valor mais elevado de momento de inércia. Em termos práticos, podemos dizer que esta função é a que deverá ser utilizada após não obter-se sucesso com a rampa de tensão simples, ou mesmo quando para que o motor acelere a carga, seja necessário ajustar uma rampa de tensão de tal forma que a tensão de partida (pedestal) próximo aos níveis de outros sistemas de partida como, por exemplo, as chaves compensadoras, não sendo isto de forma alguma um fator proibitivo na escolha do sistema de partida.

### Pump control

Esta função é utilizada especialmente para a aplicação de Soft-Starter em sistemas de bombeamento. Trata-se na realidade de uma configuração específica (pré-definida) para atender este tipo de aplicação, onde normalmente é necessário estabelecer uma rampa de tensão na aceleração, uma rampa de tensão na desaceleração e a habilitação de proteções. A rampa de tensão na desaceleração é ativada para minimizar o golpe de ariete, prejudicial ao sistema como um todo.

São habilitadas também as proteções de seqüência de fase e subcorrente imediata (para evitar a cavitação).

A cavitação é a formação de “bolhas” através no interior da bomba. Com bombas centrífugas, a cavitação pode ocorrer quando o valor de sucção se torna alto o suficiente no interior da bomba.

Quando estas bolhas passam pela bomba, uma grande quantidade de energia é liberada, provocando danos.

Quando a Soft-Starter está devidamente habilitada a fazer proteção de subcorrente (“Pump Control”), a bomba fica protegida de ocorrência de cavitação prolongada.

## Economia de energia

Uma Soft-Starter que inclua características de otimização de energia simplesmente altera o ponto de operação do motor. Esta função, quando ativada, reduz a tensão aplicada aos terminais do motor de modo que a energia necessária para suprir o campo seja proporcional à demanda da carga. Quando a tensão no motor está em seu valor nominal e a carga exige o máximo conjugado para o qual o motor foi especificado, o ponto de operação será definido pelo ponto A, conforme a figura. Se a carga diminui e o motor for alimentado por uma tensão constante, a velocidade (rotação) aumentará ligeiramente, a demanda de corrente reduzirá e o ponto de operação se moverá junto à curva para o ponto B. Por ser um motor onde o conjugado desenvolvido é proporcional ao quadrado da tensão aplicada, haverá uma redução do conjugado com uma redução de tensão. Caso esta tensão seja devidamente reduzida, o ponto de operação passará a ser o ponto A'.

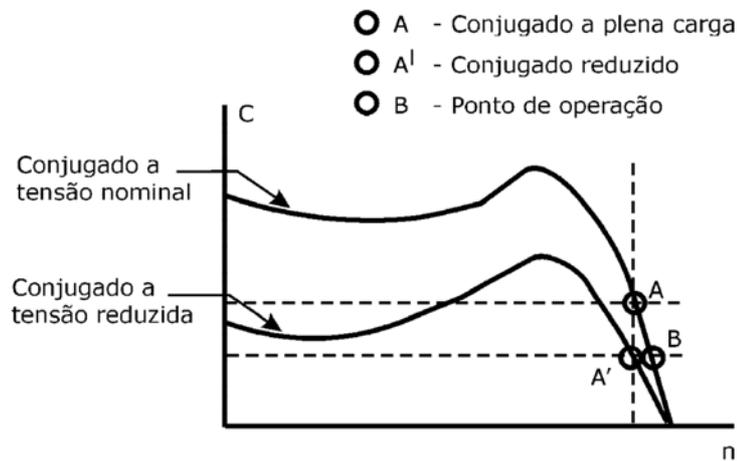


Figura 5.233 - Equilíbrio entre conjugado e tensão

Em termos práticos pode-se observar uma otimização com resultados significativos somente quando o motor está operando com cargas inferiores a 50% da carga nominal. Isto, diga-se de passagem, é muito difícil de encontrar-se pois estaríamos falando de motores altamente sobredimensionados, o que atualmente em virtude da crescente preocupação com o desperdício de energia e fator de potência, vem sendo evitado a todo custo.

Cabe destacar que este tipo de otimização de energia possui alguns inconvenientes, principalmente, a geração de tensões e correntes harmônicas e variações no fator de potência. No caso as harmônicas podem ocasionar problemas relativos a danos e redução da vida útil de capacitores para correção de fator de potência, sobreaquecimento de transformadores e interferências em equipamentos eletrônicos.

### 5.33.3 COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE PARTIDA

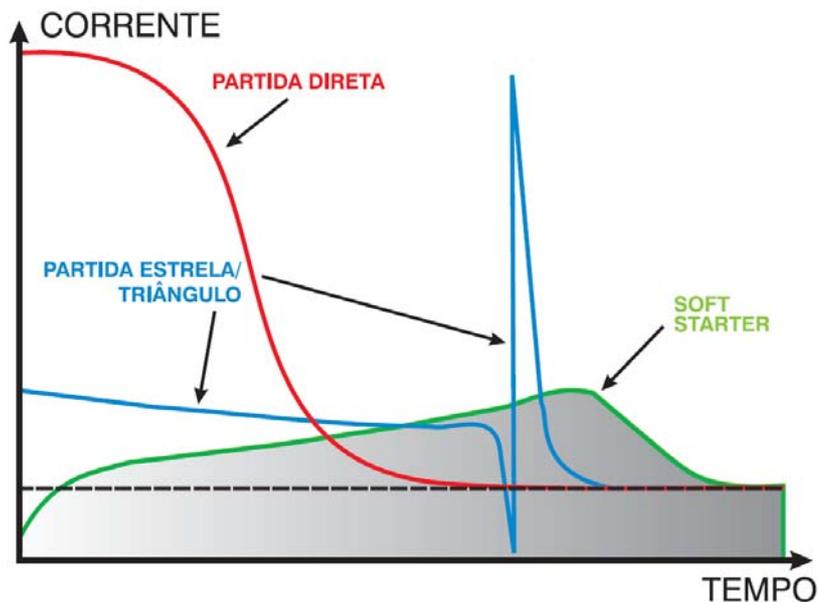


Figura 5.234

### 5.33.4 BENEFÍCIOS

- Proteção eletrônica integral do motor;
- Relé térmico eletrônico incorporado;
- Interface Homem-Máquina incorporada;
- Função “Kick Start” para partida de cargas com elevado atrito estático;
- Função “Pump Control” para controle inteligente de sistemas de bombeamento (evitando o “Golpe de Aríete”);
- Limitação de picos de corrente na rede;
- Limitação de quedas de tensão na partida;
- Eliminação de choques mecânicos;
- Redução acentuada dos esforços sobre os acoplamentos e dispositivos de transmissão (reduzores, polias, engrenagens, correias, etc);
- Aumento da vida útil do motor e equipamentos mecânicos da máquina acionada;
- Otimização automática de consumo de energia para aplicações com carga reduzida ou à vazia;
- Possibilidade de partida de vários motores, configurados em paralelo ou em cascata;
- Facilidade de operação, programação e manutenção via interface homem-máquina;
- Simplificação da instalação elétrica;
- Comunicação serial RS-232 incorporada;
- Comunicação em Redes FieldBus: ProfiBus DP, DeviceNet ou ModBus RTU (opcionais);
- Programação e monitoração via microcomputador PC com software SUPERDRIVE (opcional);

- Possibilidade de ligação padrão (3 cabos) ou ligação dentro do delta do motor (6 cabos) – (somente para SSW-03 Plus);
- Totalmente digital / Microcontrolador 16 Bits;
- Operação em ambientes de até 55 °C;
- Certificações Internacionais UL, cUL e CE.

### **5.33.5 PRINCIPAIS APLICAÇÕES**

- Bombas Centrífugas / Alternativas (Saneamento/Irrigação/Petróleo);
- Ventiladores / Exaustores / Sopradores;
- Compressores de Ar / Refrigeração (Parafuso/Pistão);
- Misturadores / Aeradores;
- Centrífugas;
- Secadores;
- Aeradores;
- Injetoras;
- Agitadores;
- Trefilas;
- Dosadores;
- Britadores / Moedores;
- Picadores de Madeira;
- Refinadores de Papel;
- Fornos Rotativos
- Serras e Plainas (Madeira);
- Moinhos (Bolas / Martelo);
- Transportadores de Carga
  - Correias / Cintas / Correntes;
  - Escadas Rolantes;
  - Mesas de Rolos;
  - Monovias / Nórias;
  - Esteiras de Bagagens (Aeroportos);
  - Linha de Engarrafamento.

## 5.34 TIPOS DE SOFT-STARTER WEG

### 5.34.1 SOFT-STARTER SSW-03PLUS E SSW-04

#### 5.34.1.1 CARACTERÍSTICAS:

- Potência: 5 a 2500 cv;
- Tensão: 220 a 575 V;
- Full Digital;
- Proteções do motor incorporadas;
- Função “Kick-Start” para partida de cargas com elevado atrito estático;
- Função “Pump Control” para controle inteligente de sistemas de bombeamento;
- Relé térmico eletrônico incorporado;
- Proteção eletrônica integral do motor;
- Interface Homem-Máquina incorporada;
- Função economia de energia.



Figura 5.235

5.34.1.2 TIPOS DE LIGAÇÃO (SOFT-STARTER → MOTOR)

LIGAÇÃO PADRÃO (3 CABOS) SSW 03 Plus / SSW 04		LIGAÇÃO DENTRO DO DELTA DO MOTOR (6 CABOS) SSW 03 Plus
Motor em estrela	Motor em triângulo	Soft-Starter dentro do delta do motor
$I_{\text{soft-starter}} = I_{\text{total consumida}}$		$I_{\text{soft-starter}} = I_{\text{total consumida}} / \sqrt{3}$ 57% da $I_{\text{total consumida}}$ (em regime)  $I_{\text{soft-starter}} = I_{\text{total consumida}} / 1,5$ 67% da $I_{\text{total consumida}}$ (na partida)

Tabela 5.34.1.2.1

**Importante:**

- A ligação tipo ligação dentro do delta do motor (6 cabos) é possível somente com as Soft-Starters SSW-03 Plus.
- Na ligação convencional do tipo padrão (3 cabos) o motor pode ser conectado tanto em ligação Estrela como em Triângulo.
- Para uma mesma potência de motor, na ligação tipo ligação dentro do delta do motor (6 cabos), a Soft-Starter é 43% menor do que a Soft-Starter necessária na ligação tipo padrão (3 cabos), ou seja, para um mesmo tamanho de Soft-Starter (corrente), na utilização da ligação tipo ligação dentro do delta do motor (6 cabos), com a Soft-Starter dentro do Delta do Motor, pode-se acionar um motor de potência 73% maior do que na ligação tipo padrão (3 cabos).

MOTOR	LIGAÇÃO 6 CABOS
220 / 380V	220V
380 / 460V	380V
440 / 760V	440V
220 / 380 / 440 / 760V	220 / 440V

Tabela 5.34.1.2.2

### 5.34.1.3 REDES DE COMUNICAÇÃO “FIELDBUS”

#### Interligação em Redes Rápidas

As soft-starters SSW-03 Plus e SSW-04 podem opcionalmente ser interligados em redes de comunicação rápidas “FieldBus”, através dos protocolos padronizados mais difundidos mundialmente, podendo ser:

FIELDBUS {

- ProfiBus DP
- DeviceNet
- ModBus RTU

Destinadas principalmente a integrar grandes plantas de automação industrial, as redes de comunicação rápidas conferem elevada performance de atuação e grande flexibilidade operacional, características exigidas em aplicações de sistemas complexos e/ou integrados.

As soft-starters SSW-03 Plus e SSW-04 podem se interligar as redes de comunicação do tipo “FieldBus” através de Módulos FieldBus WEG, de acordo com o protocolo desejado.

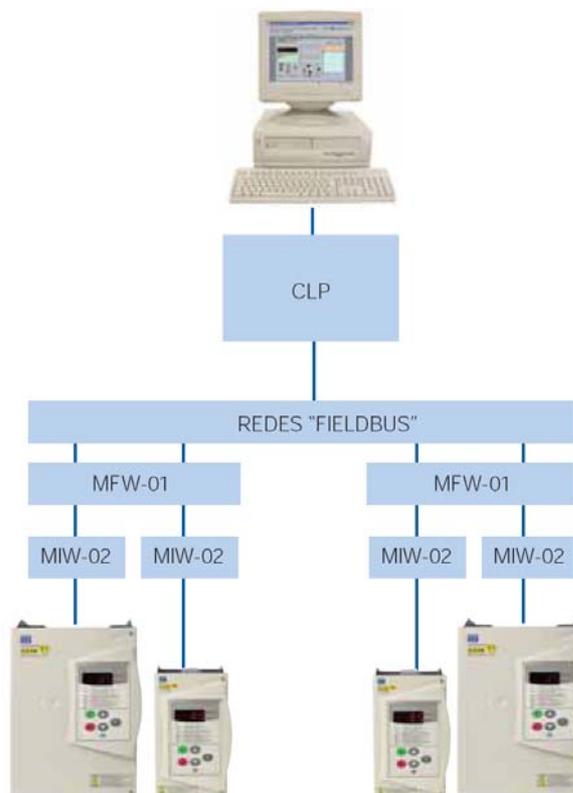


Figura 5.236

### 5.34.1.4 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

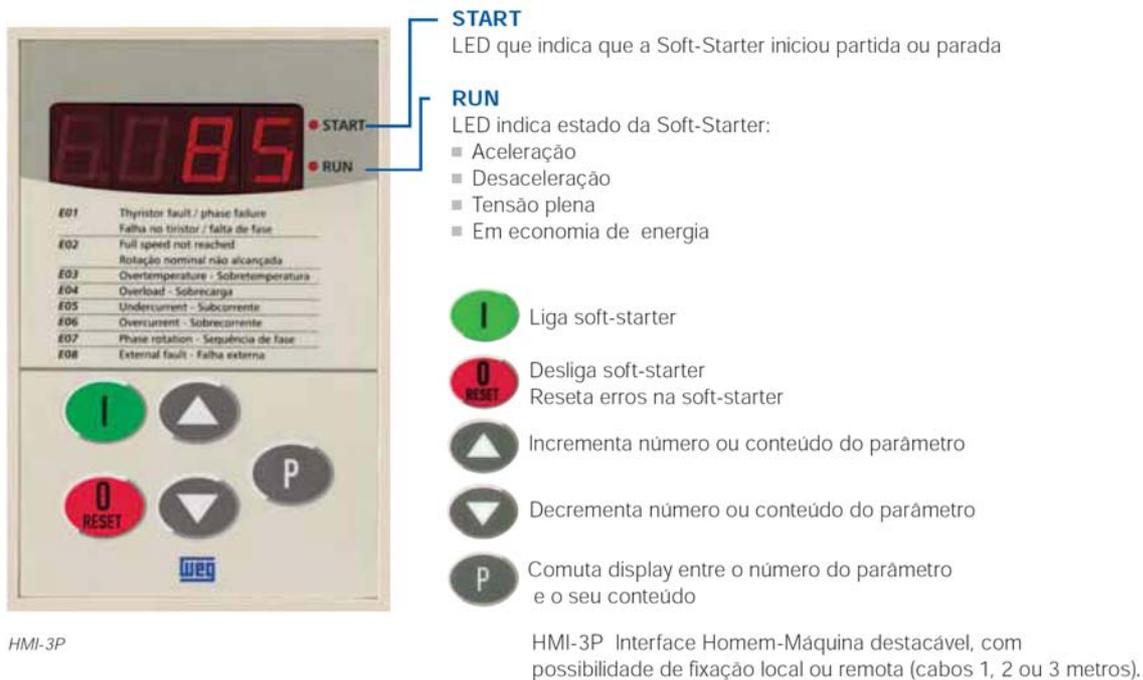


Figura 5.237

### 5.34.1.5 SOFTWARE DE PROGRAMAÇÃO SUPER DRIVE

Software de programação via computador PC, em ambiente Windows, para parametrização, comando e monitoração das Soft- Starters SSW-03 Plus e SSW-04.

Permite editar parâmetros “online”, diretamente na Soft-Starter e editar arquivos de parâmetros “offline”, armazenados no microcomputador.

É possível armazenar arquivos de parâmetros de todas as Soft-Starters SSW-03 Plus e SSW-04 existentes na instalação.

O software também incorpora funções para transferir o conjunto de parâmetros do microcomputador para a Soft-Starter, como também da Soft- Starter para o microcomputador. A comunicação entre a Soft-Starter e o microcomputador é feita via interface serial RS-232 .

5.34.1.6 ACIONAMENTOS TÍPICOS

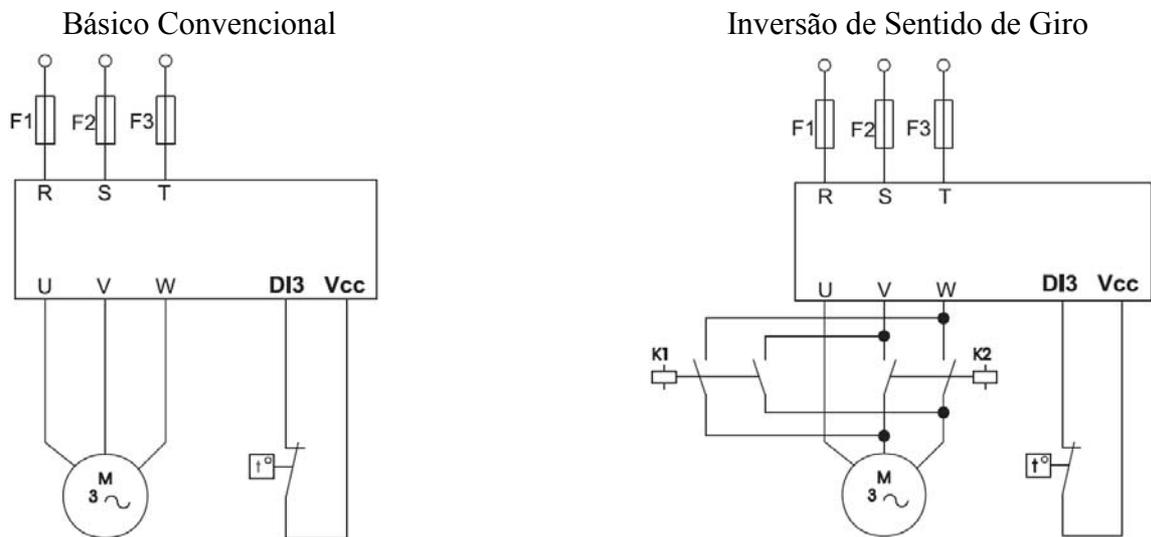


Figura 5.238

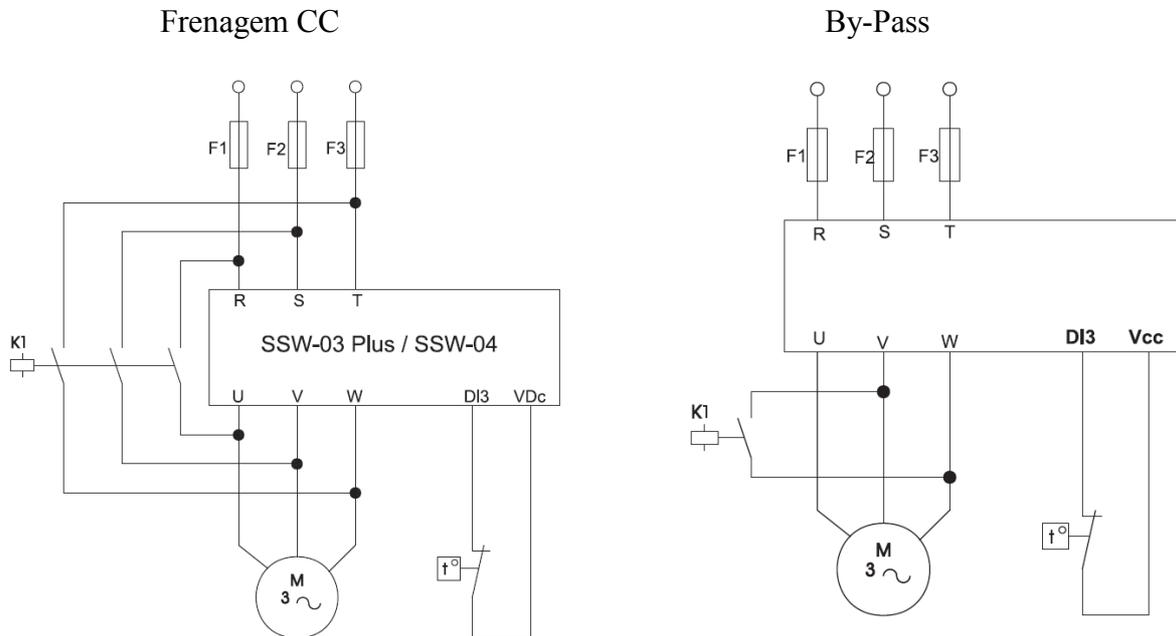


Figura 5.239

Multimotores / Cascata

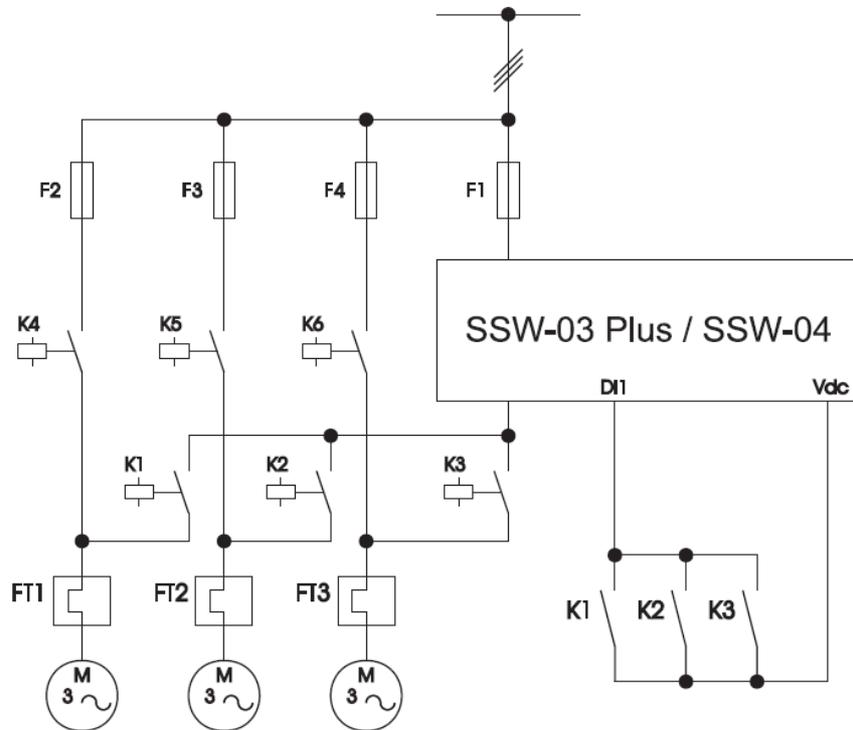


Figura 5.240

### 5.34.2 SOFT-STARTER SSW-05

As Soft-Starters WEG SSW-05, com controle DSP (Digital Signal Processor) foram projetadas para fornecer ótima performance na partida e parada de motores com excelente relação custo-benefício. Permitindo fácil ajuste, simplifica as atividades de Posta-em Marcha e operação do dia-a-dia. As chaves Soft-Starters SSW-05 são compactas, contribuindo para a otimização de espaços em painéis elétricos.

A Soft-Starter SSW-05 Plus já incorpora todas as proteções para seu motor elétrico.

#### 5.34.2.1 BENEFÍCIOS

- Redução acentuada dos esforços sobre os acoplamentos e dispositivos de transmissão (redutores, polias, engrenagens, correias, etc);
- Aumento da vida útil do motor e equipamentos mecânicos da máquina acionada;
- Facilidade de operação, programação e manutenção;
- Simplificação da instalação elétrica;
- Operação em ambientes de até 55 °C.

#### 5.34.2.2 MODELOS

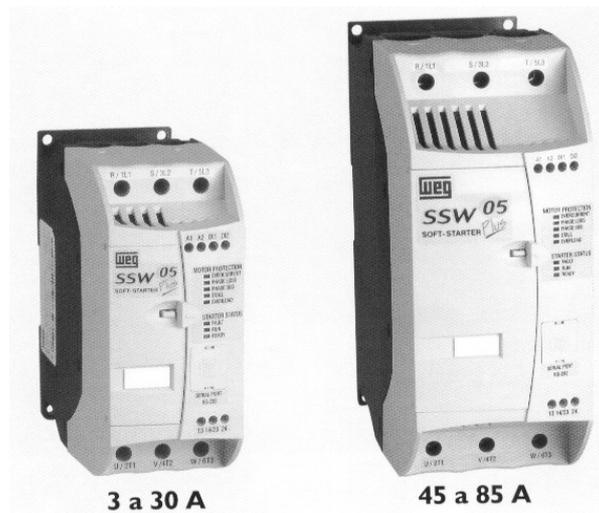


Figura 5.241

### 5.34.2.3 AJUSTES E INDICAÇÕES

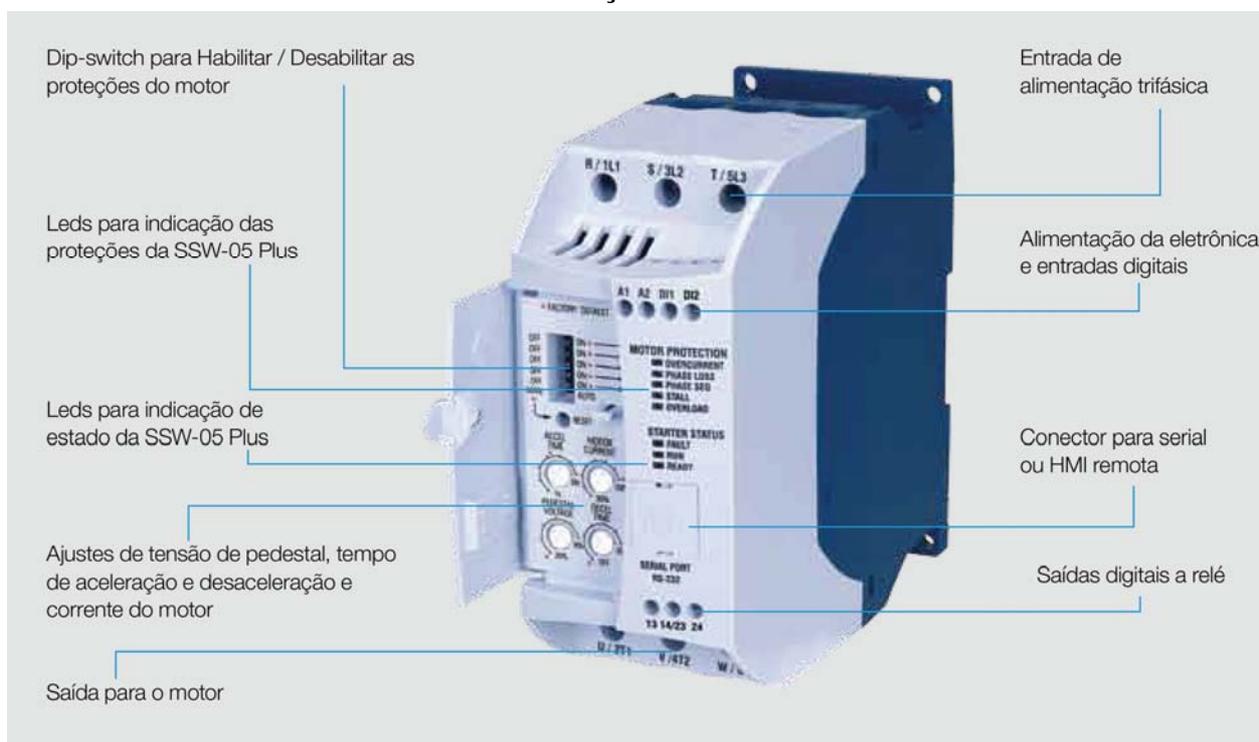


Figura 5.242

### 5.34.2.4 ESQUEMA DE LIGAÇÃO

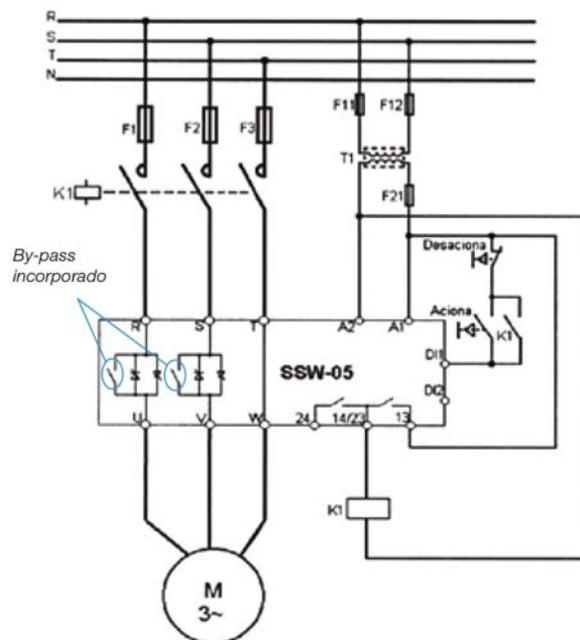


Figura 5.243

### 5.34.2.5 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA



Figura 5.244

### 5.34.2.6 SOFTWARE DE PROGRAMAÇÃO SUPER DRIVE

Software de programação via computador PC, em ambiente Windows, para parametrização, comando e monitoração das Soft-Starters SSW-05 Plus.

Permite editar parâmetros “online”, diretamente na Soft-Starter e editar arquivos de parâmetros “offline”, armazenados no microcomputador.

É possível armazenar arquivos de parâmetros de todas as Soft-Starters SSW-05 Plus existentes na instalação.

O software também incorpora funções para transferir o conjunto de parâmetros do microcomputador para a Soft-Starter, como também da Soft-Starter para o microcomputador. A comunicação entre a Soft-Starter e o microcomputador é feita via interface serial RS-232.



Figura 5.245

## 5.34.2.7 CODIFICAÇÃO

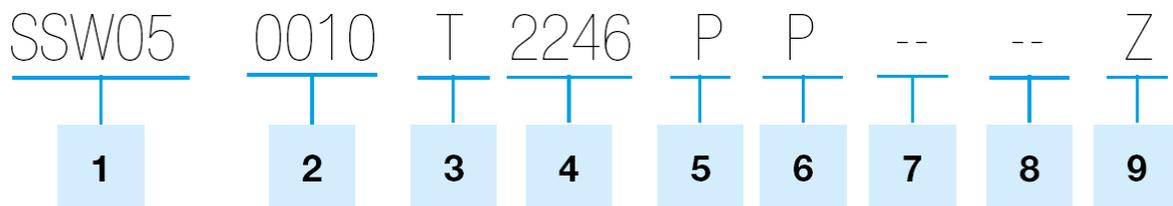


Figura 5.246

**1 - Família SSW-05**

**2 - Corrente nominal de saída:**

- 0003 = 3 A
- 0010 = 10 A
- 0016 = 16 A
- 0023 = 23 A
- 0030 = 30 A
- 0045 = 45 A
- 0060 = 60 A
- 0085 = 85 A

**3 - Entrada de alimentação:** T= Trifásica

**4 - Tensão de Alimentação:**

- 2246 = 220 ... 460 V
- 4657 = 460 ... 575 V

**5 - Idioma do manual do produto:** P = Português  
E = Inglês  
S = Espanhol  
G = Alemão

**6 - Versão do produto:** P = Plus

**7 - Hardware especial:**

- Em branco = Standard (não há)
- Hx = Opcional versão x (H1 ... Hn)

**8 - Software especial:**

- Em branco = Standard (não há)
- Sx = Opcional versão x (S1 ... Sn)

**9 - Fim de código:** Z = dígito indicador de final de código

### 5.34.3 *SOFT-STARTER SSW-06*

**Soft-Starter Série SSW-06** são chaves de partida estática, destinadas à aceleração, desaceleração e proteção de motores de indução trifásicos. O controle da tensão aplicada ao motor, mediante o ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, permite obter partidas e paradas suaves.

Com o ajuste adequado das variáveis, o torque produzido é ajustado à necessidade da carga, garantindo, desta forma, que a corrente solicitada seja a mínima necessária para a partida.

As **Soft-Starters WEG**, série SSW-06 microprocessadas e totalmente digitais, são produtos dotados de tecnologia de ponta e foram projetadas para garantir a melhor performance na partida e parada de motores de indução, apresentando-se como uma solução completa e de baixo custo.

A interface homem-máquina permite fácil ajuste de parâmetros facilitando a posta em marcha e a operação. A função incorporada “*Pump Control*” permite um eficaz controle sobre bombas, evitando desta forma o “Golpe de Ariete”.

A função controle de torque permite acelerações e desacelerações com rampa linear de velocidade.

**Módulo 1 – Comando e Proteção**

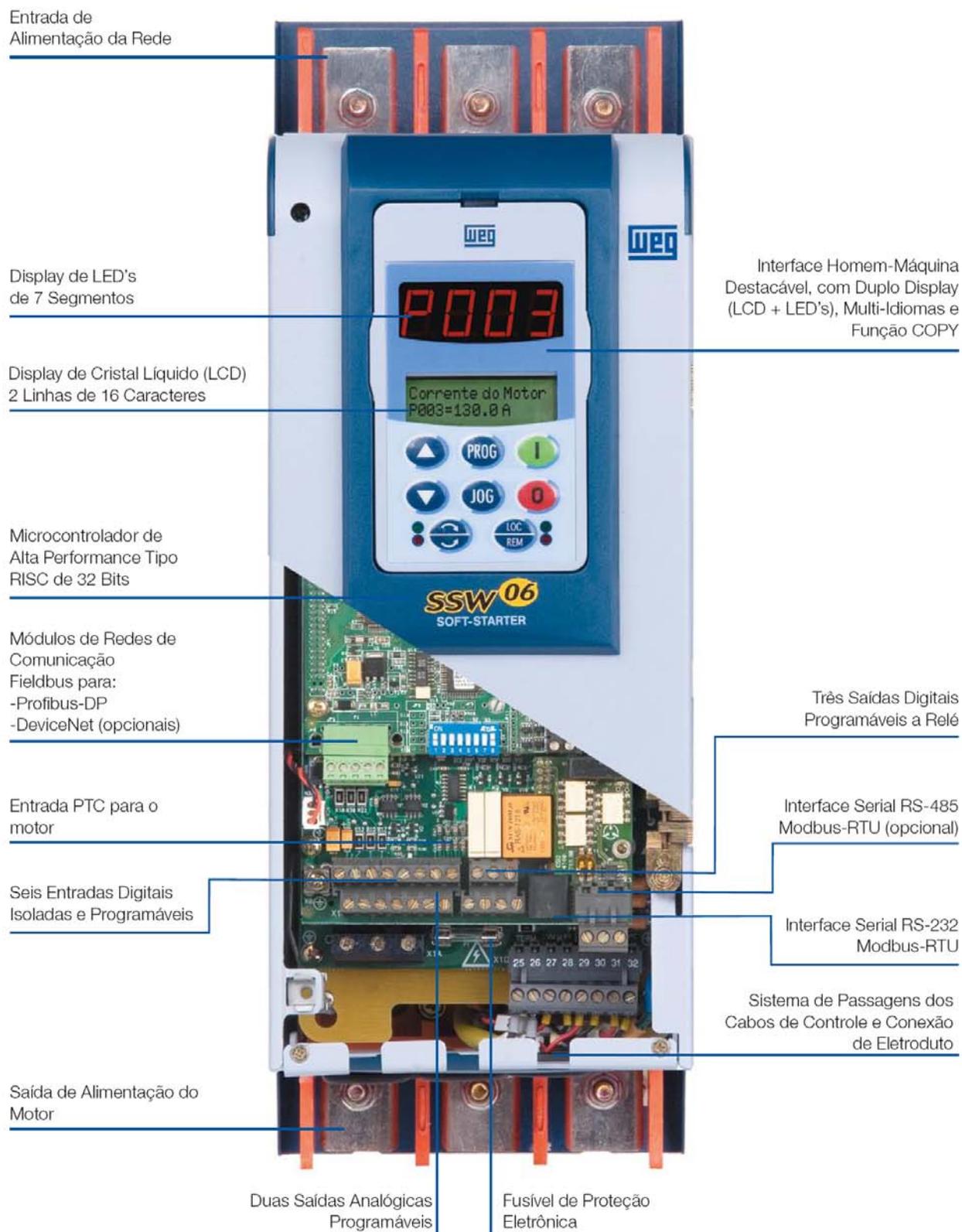


Figura 5.247

### 5.34.3.1 BENEFÍCIOS

- Microcontrolador de alta performance tipo RISC 32 bits;
- Proteção eletrônica integral do motor;
- Relé térmico eletrônico incorporado;
- Interface Homem-Máquina destacável com duplo display (LED/LCD);
- Tipos de controle totalmente programáveis;
- Controle de torque totalmente flexível;
- Função “*Kick-Start*” para partida de cargas com elevado atrito estático;
- Função “*Pump Control*” para controle inteligente de sistemas de bombeamento que evita o “*Golpe de Ariete*” em bombas;
- Limitação de picos de corrente na rede;
- Limitação de quedas de tensão na partida;
- Tensão universal (220 a 575 Vac);
- Fonte de alimentação da eletrônica do tipo chaveada com filtro EMC (94 a 253 Vac);
- *By-pass* incorporado à *Soft-Starter* (85 a 820A), proporcionando redução de tamanho e economia de energia;
- Monitoração da tensão da eletrônica, possibilitando fazer *back-up* dos valores de  $i \times t$  (imagem térmica);
- Proteção por desbalanceamento de tensão e corrente;
- Proteção de sub/sobre tensão e corrente;
- Entrada para PTC do motor;
- Eliminação de choques mecânicos;
- Redução acentuada dos esforços sobre os acoplamentos e dispositivos de transmissão (redutores, polias, engrenagens, correias, etc);
- Aumento da vida útil do motor e equipamentos mecânicos da máquina acionada;
- Facilidade de operação, programação e manutenção via interface homem-máquina;
- Simplificação da instalação elétrica;
- *Start-up* orientado;
- Possibilidade de ligação padrão (3 cabos) ou dentro do delta do motor (6 cabos);
- Todas as proteções e funções estão disponíveis nos dois tipos de ligação (única do mercado);
- Funções de proteções de erros na comunicação Serial ou Fieldbus;
- Troca do sentido de giro;
- Função Jog em frequência para os dois sentidos de giro;
- Três métodos de frenagem para parar o motor e a carga mais rápida, com ou sem contator;
- Operação em ambientes de até 55°C (sem redução de corrente para modelos de 85 A a 820 A);
- Operação em ambientes de até 40°C (sem redução de corrente para modelos de 950 A a 1400 A).
- Certificações Internacionais IRAM, C-Tick, UL, cUL e CE.

### 5.34.3.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES

#### **Químico e Petroquímico**

Ventiladores / Exaustores, Bombas Centrífugas, Bombas Dosadores / Processo Centrífugas, Centrífugas, Agitadores / Misturadores, Compressores, Extrusoras de Sabão.

#### **Plástico e Borracha**

Extrusoras, Injetoras / Sopradoras, Misturadores, Calandras / Puxadores, Granuladores.

#### **Papel e Celulose**

Bombas Dosadoras, Bombas de Processo, Ventiladores / Exaustores, Agitadores / Misturadores, Filtros Rotativos, Fornos Rotativos, Esteiras de Cavaco, Calandras, Calandras, Coaters, Refinadores de Papel.

#### **Açúcar e Álcool**

Ventiladores / Exaustores, Bombas de Processo, Esteiras Transportadoras.

#### **Sucos e Bebidas**

Centrífugas Contínuas, Mesas de Rolos, Esteiras Transportadoras, Linhas de Engarrafamento.

#### **Cimento e Mineração**

,Bombas Dosadoras / Processo Bombas, Peneiras / Mesas Vibratórias, Separadores Dinâmicos, Esteiras Transportadoras, Dosadores.

#### **Alimentos e Ração**

Bombas Dosadoras / Processo, Ventiladores / Exaustores, Agitadores / Misturadores, Secadores / Fornos Contínuos, Peletizadoras, Esteiras Monovias.

#### **Têxtil**

Agitadores / Misturadores, Secadores / Lavadoras.

#### **Siderurgia e Metalurgia**

Ventiladores / Exaustores, Transportadores, Furadeiras / Retíficas, Trefilas, Bombas.

#### **Cerâmico**

Ventiladores / Exaustores, Secadores / Fornos Contínuos, Moinhos de Bolas / Martelo, Mesas de Rolos, Esteiras Transportadoras.

#### **Vidros**

Ventiladores / Exaustores, Secadores / Fornos Contínuos, Moinhos de Bolas / Martelo, Mesas de Rolos.

#### **Refrigeração**

Bombas de Processo, Ventiladores / Exaustores, Sistemas de Ar Condicionado, Compressores Parafuso / Pistão.

**Madeira**

Faqsadeiras, Lixadeiras, Cortadeiras, Picadores de Madeira, Serras e Plainas.

**Saneamento**

Bombas Cetrífugas, Sistemas de Recalque.

**Transporte de Cargas**

Correias / Cintas / Correntes, Mesas de rolos, Monovias / Nórias, Escadas Rolantes, Esteiras de Bagagem (Aeroportos).

**5.34.3.3 TIPOS DE LIGAÇÃO (SOFT-STARTER → MOTOR)**

LIGAÇÃO PADRÃO (3 CABOS)		LIGAÇÃO DENTRO DO DELTA DO MOTOR (6 CABOS)
Motor em estrela	Motor em triângulo	Soft-Starter dentro do delta do motor
$I_{\text{soft-Starter}} = I_{\text{total consumida}}$		$I_{\text{soft-Starter}} = I_{\text{total consumida}} / \sqrt{3}$ 57% da $I_{\text{total consumida}}$ (em regime)  $I_{\text{soft-Starter}} = I_{\text{total consumida}} / 1,5$ 67% da $I_{\text{total consumida}}$ (na partida)

Tabela 5.34.3.3.1

Motor	Ligação 6 cabos
220 V -Δ / 380V -Y	220 V - Δ
380 V -Δ / 660V -Y	380 V - Δ
440 V -Δ / 760V -Y	440 V - Δ
575 V -Δ	575 V - Δ
220 V -Δ / 380V -Y	220 V - Δ
440 V -Δ / 760V -Y	440 V - Δ

Tabela 5.34.3.3.2

### 5.34.3.4 FUNÇÕES PRINCIPAIS

#### Rampa de tensão

Permite a aceleração e / ou desaceleração suaves, através de rampas de tensão.

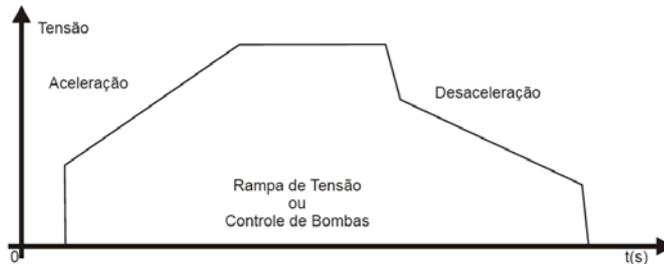


Figura 5.248

#### Controle de Bombas

O controle de bombas proporciona uma desaceleração suave que evita o “Golpe de Aríete”

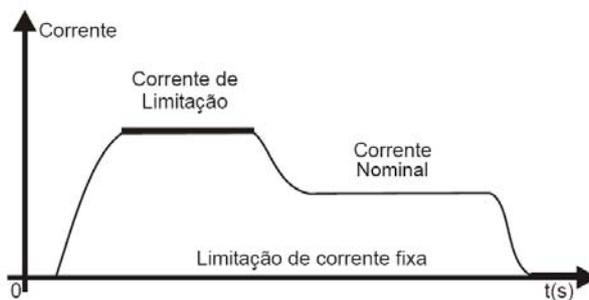


Figura 5.249

#### Limitação de Corrente

Permite ajustar o limite de corrente durante a partida de acordo com as necessidades da aplicação.

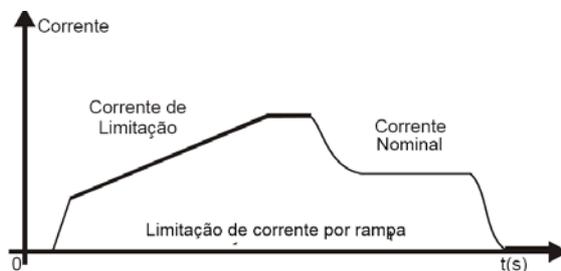


Figura 5.250

### Rampa de Corrente

Permite ajustar limites de corrente menores ou maiores para o início da partida. Aplicado a cargas com torque inicial mais alto ou mais baixo.

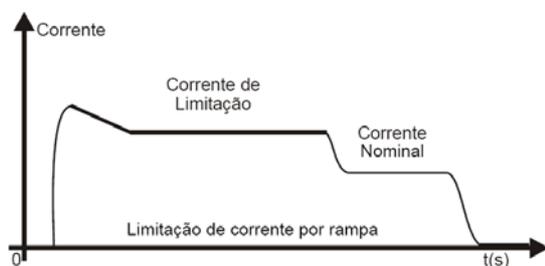


Figura 5.251

### Kick Starter em Tensão ou Corrente

Permite um pulso inicial de tensão ou corrente que aplicado ao motor proporciona um reforço de torque inicial a partida, necessária para a partida de cargas com elevado atrito estático.

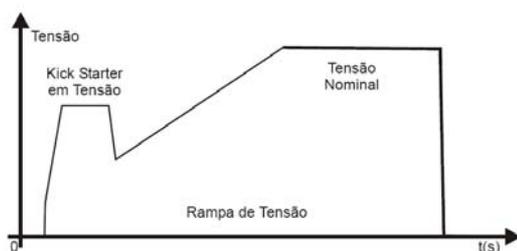


Figura 5.252

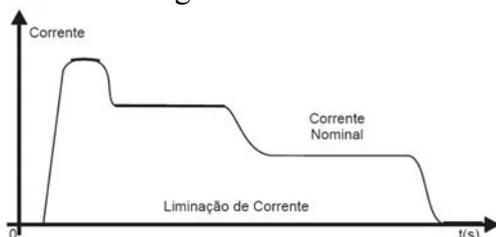


Figura 5.253

### Controle de Torque

A SSW-06 possui um algoritmo de controle de torque de altíssimo desempenho e totalmente flexível para atender a necessidade de qualquer aplicação, tanto para partir como para parar o motor.

Disponível nos dois tipos de ligação ao motor: ligação padrão (3 cabos) ou ligação dentro do delta do motor (6 cabos).

- 1 ponto de ajuste: Torque Constante.
- 2 pontos de ajuste: Rampa de Torque linear
- 3 pontos de ajuste: Rampa de Torque Quadrático.

Este tipo de controle pode permitir aceleração e desaceleração com rampa linear de velocidade.

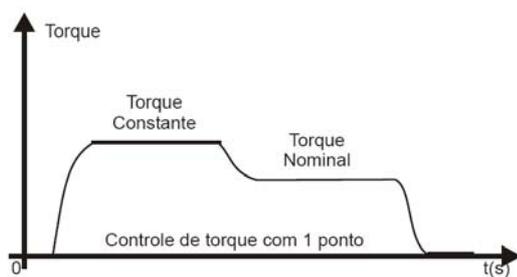


Figura 5.254

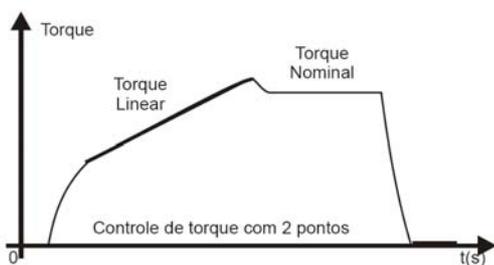


Figura 5.255

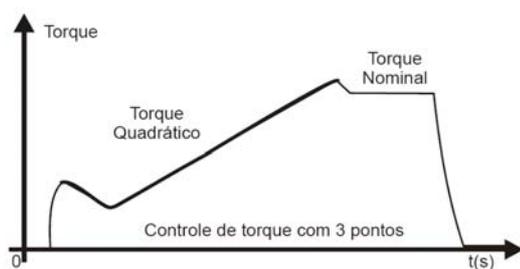


Figura 5.256

### 5.34.3.5 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

#### Interface Inteligente

Interface de operação inteligente com duplo display, LED's (7 segmentos) e LCD (2 linhas de 16 caracteres), que permite ótima visualização a distância, além de incorporar uma descrição detalhada de todos os parâmetros e mensagens via display LCD alfanumérico.

#### Idioma Seleccionável

A interface de operação inteligente permite ainda que o usuário do produto escolha, para o seu melhor conforto, o idioma a ser usado para a programação, leitura e apresentação dos parâmetros e mensagens alfanuméricas através do display LCD ( Cristal Líquido ).

A elevada capacidade de hardware e software do produto disponibiliza ao usuário várias opções de idiomas, tais como: português, inglês, alemão e espanhol, de forma a adequá-lo a quaisquer usuários em todo o mundo.

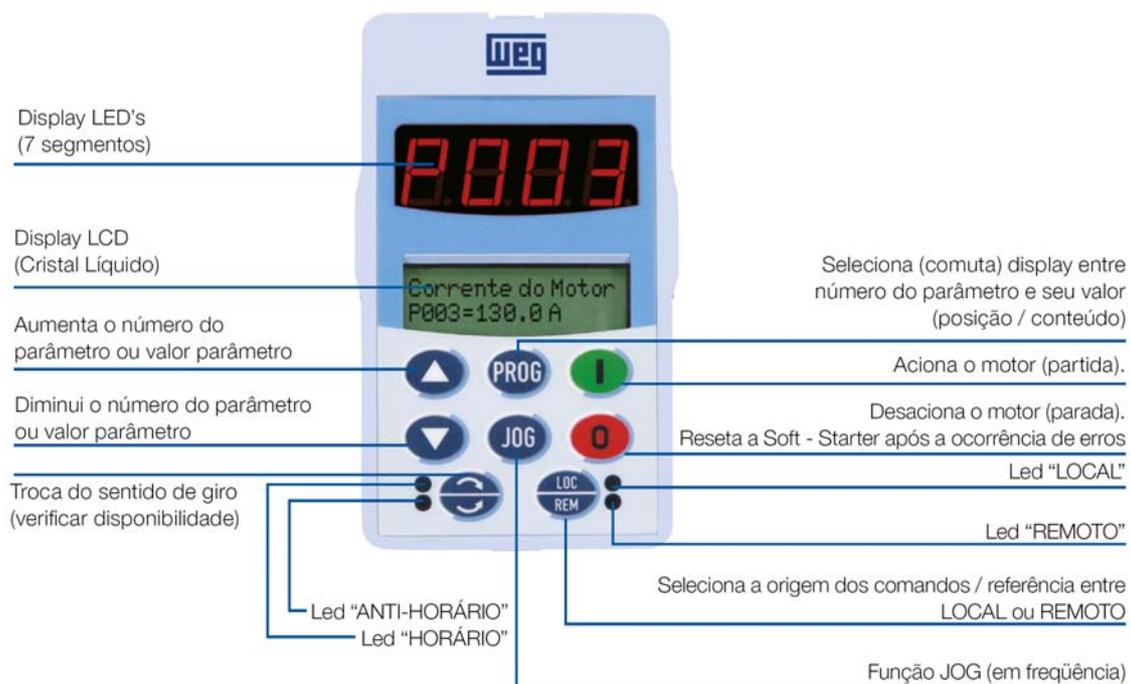


Figura 5.257

### 5.34.3.6 REDES DE COMUNICAÇÃO “FIELDBUS”

As Soft-Starters SSW-06 podem ser interligados em redes de comunicação rápidas “FieldBus”, através dos protocolos padronizados mais difundidos mundialmente, podendo ser:

#### FIELDBUS

- Profibus DP (opcional)
- DeviceNet (opcional)
- Modbus RTU RS-232 (incorporado)
- Modbus RTU RS-485 (opcional)

Destinados principalmente a integrar grandes plantas de automação industrial, as redes de comunicação rápidas conferem vantagens na supervisão, monitoração e controle, “on-line“ e total, sobre as Soft-Starters, proporcionando elevada performance de atuação e grande flexibilidade operacional, características estas exigidas em aplicações de sistemas complexos e/ou integrados.

Para a interligação em redes de comunicação do tipo “FieldBus” Profibus DP ou DeviceNet, as Soft-Starters SSW-06 permitem incorporar internamente um cartão de rede, de acordo com o protocolo desejado. Para a interligação em redes de comunicação tipo “FieldBus” Modbus RTU poderá ser utilizado conexão via interface RS-232 (disponível) ou RS-485 (opcional).

Além de todas as vantagens de monitoramento das proteções e acionamento do motor, também podem ser utilizadas as entradas digitais, saídas digitais e analógicas como uma mini-remota do mestre da rede “FieldBus”.

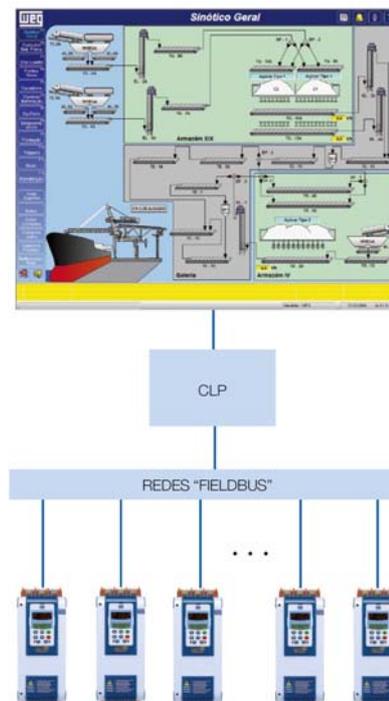


Figura 5.258

### 5.34.3.7 SUPERDRIVE G2

Software em ambiente Windows, para parametrização, comando e monitoração da SSW-06.

- Identificação automática da SSW-06.
- Lê parâmetros da SSW-06.
- Escreve parâmetros na SSW-06.
- Edita parâmetros on-line no SSW06.
- Edita parâmetros off-line no PC.
- Possibilita criar toda a documentação da aplicação.
- Facilmente acessível.
- Permite parametrização, comando e monitoração da SSW-06 via software via software Superdrive G2.
- É fornecido um cabo serial RS-232 de 3m quando o software Superdrive G2 é adquirido.



Figura 5.259

### Função SOFTPLC

É um recurso que incorpora a SSW-06 as funcionalidades de um CLP, agregando flexibilidade ao usuário e permitindo – lhe desenvolver seus próprios aplicativos (programas do usuários.)

- Linguagem de programação LADDER - Software WLP.
- Acesso a todos os parâmetros e I/Os da SSW-06.
- Blocos de CLP, lógicos e matemáticos.
- Download, upload e monitoração on-line.
- Capacidade de memória de 1Kbytes.
- 18 Parâmetros, 4 Erros, 4 Alarmes de usuário que podem ser individualmente programados.

## 5.34.3.8 CODIFICAÇÃO

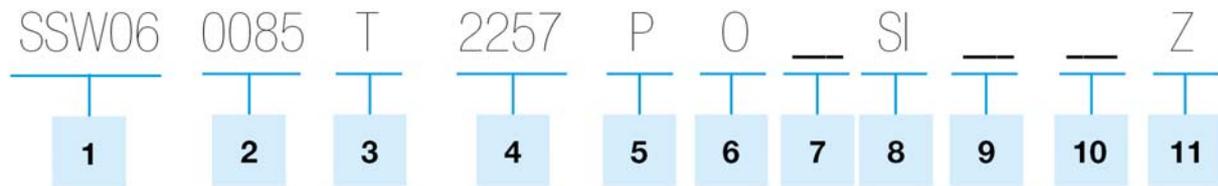


Figura 5.260

**1 - Soft-Starter WEG família SSW-06**

**2 - Corrente nominal de saída da Soft-Starter**

**3 - Alimentação de entrada da Soft-Starter:** T = Trifásica

**4 - Tensão de alimentação:** 2257 = Faixa 220 ... 575 V

**5 - Idioma do manual do produto:** P = Português  
E = Inglês  
S = Espanhol

**6 - Versão do produto:** S = Standard  
O = com Opcionais

**7 - Grau de proteção:** Em branco = Standard (Vide tabela de características)

**8 - Interface Homem - Máquina (HMI):** Em branco = Standard (Com HMI de LED's + LCD)  
SI = Sem HMI

**9 - Hardware especial:** Em branco = Standard  
H1 = Ventilação 115V (Modelo de 950 A)  
Ex.: SSW06 0085 T 2257 P S Z  
H2 = Ventilação 230V (Modelo de 950 A a 1400 A)  
Ex.: SSW06 0950 T 2257 P S H1 Z

**9 - Hardware especial:** Em branco = Standard  
H1 = Ventilação 115V (Modelo de 950 A)  
Ex.: SSW06 0085 T 2257 P S Z

**10 - Software Especial:** Em branco = Standard  
S1 = Opcional com versão de software especial

**11 - Fim de código:** Em branco = Standard  
Z = Dígito indicador de final de codificação do produto

### 5.34.4 SOFT-STARTER SSW-07

A SSW-07, com controle DSP (Digital Signal Processor) foi projetada para fornecer ótima performance na partida e parada de motores com excelente relação custo-benefício.

Permitindo fácil ajuste, simplifica as atividades de start-up e operação do dia-a-dia.

A SSW-07 é compacta, contribuindo para a otimização de espaços em painéis elétricos.

A SSW-07 já incorpora todas as proteções para seu motor elétrico.

A SSW-07 adapta-se as necessidades dos clientes através de seus acessórios opcionais os quais são facilmente instalados.

Desta forma pode-se adicionar ao produto uma HMI, comunicação e entrada para PTC do motor.



Figura 5.261

#### 5.34.4.1 BENEFÍCIOS

- Redução acentuada dos esforços sobre os acoplamentos e dispositivos de transmissão (reduzores, polias, engrenagens, correias, etc) durante a partida;
- Eliminação de choques mecânicos;
- Aumento da vida útil do motor e equipamentos mecânicos da máquina acionada pela eliminação de choques mecânicos;
- Facilidade de operação, ajuste e manutenção;
- Instalação elétrica simples;
- Operação em ambientes de até 55 °C (sem redução de corrente para todos os modelos);
- Proteção eletrônica integral do motor;
- Relé térmico eletrônico incorporado;
- Função “Kick-Start” para partida de cargas com elevado atrito estático;
- Evita o “Golpe de Ariete” em bombas;

- Limitação de quedas de tensão na partida;
- Tensão universal (220 a 575 Vca);
- Fonte de alimentação da eletrônica do tipo chaveada com filtro EMC (110 a 240 Vca);
- By-pass incorporado á Soft-Starter (17 a 200 A) proporcionando redução de tamanho e economia de energia;
- Monitoração da tensão da eletrônica, possibilitando fazer back-up dos valores de  $i \times t$  (imagem térmica).

#### **5.34.4.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES**

##### **Químico e Petroquímico**

Ventiladores / Exaustores, Bombas Centrífugas, Bombas Dosadores /Processo Centrífugas, Centrífugas, Agitadores / Misturadores, Compressores, Extrusoras de Sabão.

##### **Plástico e Borracha**

Extrusoras, Injetoras / Sopradoras, Misturadores, Calandras / Puxadores, Granuladores.

##### **Papel e Celulose**

Bombas Dosadoras, Bombas de Processo, Ventiladores / Exaustores, Agitadores / Misturadores, Filtros Rotativos, Fornos Rotativos, Esteiras de Cavaco, Calandras, Calandras, Coaters, Refinadores de Papel.

##### **Açúcar e Álcool**

Ventiladores / Exaustores, Bombas de Processo, Esteiras Transportadoras.

##### **Sucos e Bebidas**

Centrífugas Contínuas, Mesas de Rolos, Esteiras Transportadoras, Linhas de Engarrafamento.

##### **Cimento e Mineração**

,Bombas Dosadoras /Processo Bombas, Peneiras / Mesas Vibratórias, Separadores Dinâmicos, Esteiras Transportadoras, Dosadores.

##### **Alimentos e Ração**

Bombas Dosadoras / Processo, Ventiladores / Exaustores, Agitadores / Misturadores, Secadores / Fornos Contínuos, Peletizadoras, Esteiras Monovias.

##### **Têxtil**

Agitadores / Misturadores, Secadores / Lavadoras.

##### **Siderurgia e Metalurgia**

Ventiladores / Exaustores, Transportadores, Furadeiras / Retíficas, Trefilas, Bombas.

##### **Cerâmico**

Ventiladores / Exaustores, Secadores / Fornos Contínuos, Moinhos de Bolas / Martelo, Mesas de Rolos, Esteiras Transportadoras.

**Vidros**

Ventiladores / Exaustores, Secadores / Fornos Contínuos, Moinhos de Bolas / Martelo, Mesas de Rolos.

**Refrigeração**

Bombas de Processo, Ventiladores / Exaustores, Sistemas de Ar Condicionado, Compressores Parafuso / Pistão.

**Madeira**

Faqueadeiras, Lixadeiras, Cortadeiras, Picadores de Madeira, Serras e Plainas.

**Saneamento**

Bombas Centrífugas, Sistemas de Recalque.

**Transporte de Cargas**

Correias / Cintas / Correntes, Mesas de rolos, Monovias / Nórias, Escadas Rolantes, Esteiras de Bagagem (Aeroportos).

**5.34.4.3 AJUSTES E INDICAÇÕES**



Figura 5.262

#### 5.34.4.4 ACIONAMENTO TÍPICO

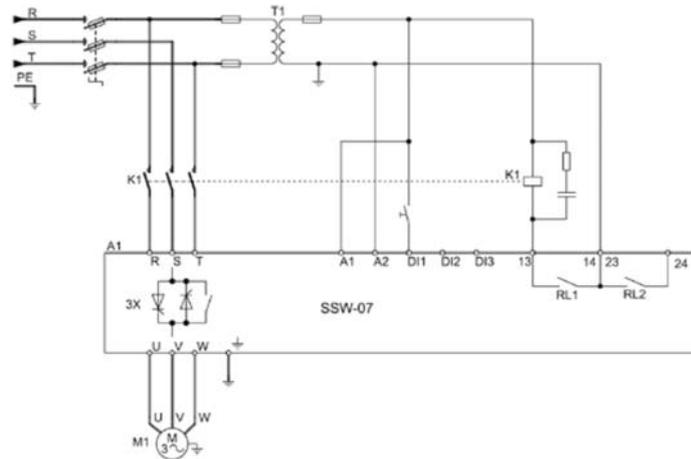


Figura 5.263

#### 5.34.4.5 REDES DE COMUNICAÇÃO “FIELDBUS”

As Soft-Starters SSW-07 podem ser interligados em redes de comunicação rápidas “FieldBus”, através do protocolo Modbus RTU e Devicenet. Destinados principalmente a integrar grandes plantas de automação industrial, as redes de comunicação rápidas conferem vantagens na supervisão, monitoração e controle, “on-line” e total, sobre as Soft-Starters, proporcionando elevada performance de atuação e grande flexibilidade operacional, características estas exigidas em aplicações de sistemas complexos e/ou integrados.

Para a interligação em redes de comunicação do tipo “FieldBus”, as Soft-Starters SSW-07 permitem a utilização de opcionais tipo Plug – In na frontal do produto. Existem módulos opcionais para o protocolo Devicenet e Modbus RTU e RS-232 ou RS-485.



Figura 5.264

#### 5.34.4.6 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

A HMI com display LED de 7 segmentos permite uma ótima visualização dos parâmetros a distância.

A interface também incorpora a função “Copy”, a qual permite copiar a parametrização de uma SSW – 07 para outras, possibilitando rapidez, confiabilidade e repetibilidade de programação em aplicações de máquinas de fabricação seriada.



Figura 5.265

#### 5.34.4.7 SUPERDRIVE G2

Software em ambiente Windows, para parametrização, comando e monitoração da SSW-06.

- Identificação automática da SSW-07.
- Lê parâmetros da SSW-07.
- Escreve parâmetros na SSW-07.
- Edita parâmetros on-line no SSW07.
- Edita parâmetros off-line no PC.
- Possibilita criar toda a documentação da aplicação.
- Facilmente acessível.
- Permite parametrização, comando e monitoração da SSW-07 via software via software Superdrive G2.
- É fornecido um cabo serial RS-232 de 3m quando o software Superdrive G2 é adquirido.

### 5.34.4.8 FUNÇÕES PRINCIPAIS

#### Rampa de tensão

Permite a aceleração e / ou desaceleração suaves, através de rampas de tensão.

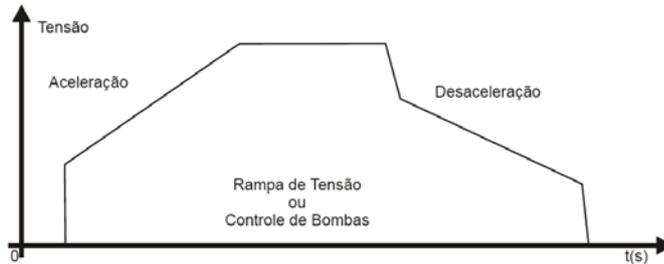


Figura 5.266

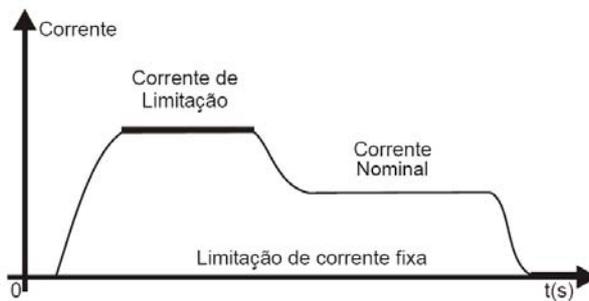


Figura 5.267

#### Limitação de Corrente

Permite ajustar o limite de corrente durante a partida de acordo com as necessidades da aplicação.

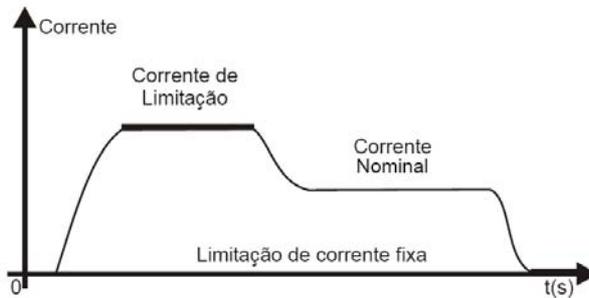


Figura 5.268

#### Kick Starter em Tensão ou Corrente

Permite um pulso inicial de tensão ou corrente que aplicado ao motor proporciona um reforço de torque inicial a partida, necessária para a partida de cargas com elevado atrito estático.

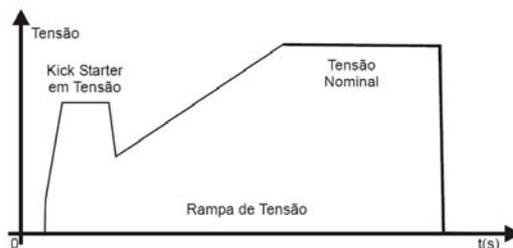


Figura 5.269

## 5.34.4.9 CODIFICAÇÃO

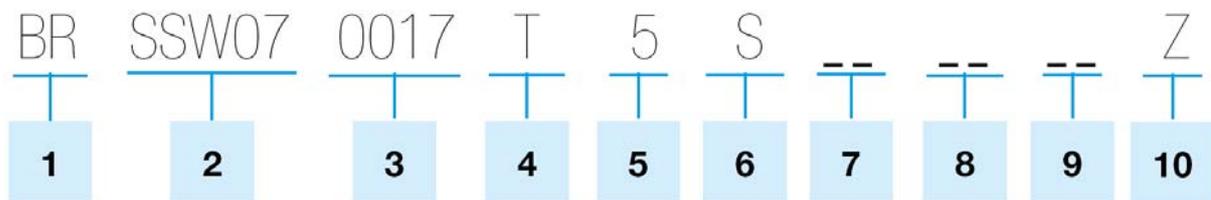


Figura 5.270

- 1 - Mercado / Manual:** BR = Brasil  
Ex = Exportação
- 2 - Soft-Starter WEG Série SSW – 07**
- 3 - Corrente nominal de saída da Soft-Starter**
- 4 - Alimentação de entrada da Soft-Starter:** T = Trifásica
- 5 - Tensão de alimentação:** 5 = Faixa de 220 a 575 V
- 6 - Versão do produto:** S = Standard  
O = com Opcionais
- 7 - Grau de proteção:** Em branco = Standard  
IP = IP20 para os modelos de 130 A a 200 A
- 8 - Hardware especial:** Em branco = Standard
- 9 - Software especial:** Em branco = Standard
- 10 - Fim de código:** Z = Dígito indicador de final de codificação do produto.

### 5.34.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E ESPECIFICAÇÕES DE SOFT-STARTER

		<b>SSW 05</b> <i>plus</i>	<b>SSW 07</b> SOFT-STARTER	<b>SSW 04</b> SOFT-STARTER	<b>SSW 03</b> SOFT-STARTER <i>plus</i>	<b>SSW 06</b> SOFT-STARTER
Tensão de alimentação da potência		220 a 460 V 460 a 575 V (-15% a +10%)	220 a 575 V (-15% a +10%)	220 a 440 V 460 a 575 V (-15% a +10%)	220 a 440 V 460 a 575 V (-15% a +10%)	220 a 575 V (-15% a +10%)
Tensão de alimentação da eletrônica		90 a 250 Vca Fonte Chaveada	110 a 240 Vca (-15% a +10%)	110/120 Vca 220/230 Vca	110/120 Vca 220/230 Vca	110 a 230 Vca (-15% a +10%)
Frequência		50 / 60 Hz	50 / 60 Hz (+/-10%)	50 / 60 Hz (+/-5%)	50 / 60 Hz (+/-5%)	50 / 60 Hz (+/-10%)
Potência	cv	0,75 a 75 cv	6 a 200 cv	6 a 75 cv	50 a 2.650 cv	30 a 2.650 cv
	kW	0,55 a 55 kW	4,5 a 150 kW	4,5 a 55 kW	37 a 1.950 kW	22 a 1.950 kW
	Corrente (A)	3 a 85 A	17 a 200 A	16 a 85 A	120 a 1.400 A	85 a 1.400 A
Grau de Proteção		IP00	IP20 (com opcional de 130a 200A)	IP20	Padrão - IP00 Opcional - IP20	Padrão - IP00 (4) *Opcional - IP20
Ligação dentro do delta do motor (6 cabos)		Não	Não	Não	Sim	Sim
Tipos de Controle	Rampa de tensão	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Limitação de Corrente	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Rampa de Limitação de Corrente	Não	Não	Não	Não	Sim
	Controle Bombas	Não	Não	Sim	Sim	Sim
	Controle de Torque 1, 2 e 3 pontos	Não	Não	Não	Não	Sim
Regime de Partida	Número de não partidas / hora	4	10	10	10	10 (85 a 820 A) 5 (950 a 1.400 A)
	Capacidade Térmica Normal	300% - 10 seg.	300% - 30 seg.	300% - 20 seg.	300% - 30 seg. (Ligação padrão) 300% - 25 seg. (Ligação Delta)	300% - 30 seg. (Ligação padrão) 300% - 25 seg. (Ligação Delta)
	Capacidade Térmica Pesada*	-	450% - 30 seg.	450% - 20 seg.	450% - 30 seg. (Ligação padrão) 450% - 25 seg. (Ligação Delta)	450% - 30 seg. (Ligação padrão) 450% - 25 seg. (Ligação Delta)
Entradas	Digitais	2	3	4	4	5
	Entrada para PTC	Não	Sim (1)	Não	Não	Sim
Saídas	Relé	2	2	3	3	3
	Analogicas 0-10V	Não	Não	Não	1	1

**Módulo 1 – Comando e Proteção**

	Analogicas 0-20mA 4-20mA	Não	Não	Não	Não	1
Funções	By-pass incorporado	Sim	Sim	Não	Não	Sim
	Kick-start	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Frenagem CC	Não	Não	Sim	Sim	Sim
	Frenagem Ótima	Não	Não	Não	Não	Sim
	Frenagem por sentido de giro	Não	Não	Não	Não	Sim
	Jog	Não	Não	Sim	Sim	Sim
	Copy HMI	Sim	Sim (1)	Não	Não	Sim
	Falhas programáveis entre erro ou alarme	Não	Não	Não	Não	Sim
	SolfPLC	Não	Não	Não	Não	Sim

(1) Disponível em breve

Diagnósticos	Partida, regime e falhas	Não	Não	Não	Não	Sim
	Sobretensão / Subtensão	Não	Não	Não	Não	Sim
Proteções	Desbalanceamento de tensão	Não	Não	Não	Não	Sim
	Sobrecorrente / Subcorrente	Sim(1)	Sim	Sim	Sim	Sim
	Desbalanceamento de corrente	Não	Sim (1)	Não	Não	Sim
	Sobret temperatura nos tiristores	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Sobretorque/Subtorque	Não	Não	Não	Não	Sim
	Sobrepotência/ Subpotência	Não	Não	Não	Não	Sim
	Sobret temperatura no motor	Não	Não	Não	Não	Sim
	Sobrecarga no motor	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Sequência de fase invertida	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Defeito externo	Sim	Sim (1)	Sim	Sim	Sim
	Sobrecarga nos tiritores	Sim	Não	Não	Não	Não
	Falta de fase na alimentação	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Falta de fase na saída (motor)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Frequência fora da faixa	Sim	Sim	Não	Não	Sim
	Falta à terra	Não	Não	Não	Não	Sim
	Falha no tiristor	Não	Não	Não	Não	Sim

Parametrização	Trimpts e dipswitch	Sim	Sim	Não	Não	Não
	Interface Homem-Máquina (HMI)	Sim(1)	Sim(1)	Sim	Sim	Sim
	SUPERDRIVE	Sim	Não	Sim	Sim	Não
	SUPERDRIVE G2	Não	Sim	Não	Não	Sim
Comunicação	Serial RS-232	Sim	Sim (1)	Sim	Sim	Sim
	Modbus RTU	Sim (via MFW)	Sim (1)	Sim (via MFW)	Sim (via MFW)	Sim RS-232 RS-485(1)
	Profibus DP	Sim (via MFW)	Sim(1) (2) Via MFW	Sim (via MFW)	Sim (via MFW)	Sim(1) (kit interno)
	DeviceNet	Sim (via MFW)	Sim(1) (2) Via MFW	Sim (via MFW)	Sim (via MFW)	Sim(1) (kit interno)
Ambiente	Temperatura	0...55°C para In	0...55°C para In	0...40°C para In 40...50°C com redução da In	0...40°C para In 40...50°C com redução da In	0...55°C para In (85 a 820 A) 40...50°C para In (950 a 1.400A)
	Umidade	0...90% sem condensação	5...90% sem condensação	0...90% sem condensação	0...90% sem condensação	5...90% sem condensação
	Altitude	0...1.000 m: condições normais de operação à corrente nominal 1.000...4.000 m: Com redução na corrente de saída de 1% / 100 m, acima de 1.000 m				
Certificações	UL (USA) / cUL (Canadá)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	CE (Europa)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	IRAM (Argentina)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	C-TICK (Austrália)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

(1) Disponível em breve

Tabela 5.34.5.1