



# AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE DUTOS PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBONETOS

*NA REGIÃO DO CUANZA SUL — ANGOLA*

---

**Elaborado:** Wilson Manuel | Mestrado em Infraestrutura e Construção Civil

**Especialidade:** Petróleo e Gás



# ÍNDICE DA APRESENTAÇÃO

**01–02** Introdução e Contextualização

**03–04** Problema de Investigação e Justificação

**05–06** Objectivos do Estudo

**07–08** Área de Estudo — Cuanza Sul

**09–11** Enquadramento Teórico e Normativo

**12–14** Metodologia de Investigação

**15–17** Tipos de Dutos e Tecnologias

**18–20** Avaliação de Integridade e Riscos

**21–22** Resultados Esperados

**23–24** Contribuição Científica e Cronograma

**25** Considerações Finais

# 01 | CONTEXTUALIZAÇÃO — ANGOLA E O SECTOR PETROLÍFERO

**~65%**

**Do PIB Nacional**

Proveniente do sector petrolífero em 2023 (FMI)

**1,1M**

**bbl/dia**

Produção média de petróleo bruto em 2023 (OPEP)

**2.º**

**Maior produtor**

Da África Subsaariana, atrás da Nigéria

**90%+**

**Das exportações**

Compostas por petróleo bruto e derivados

## ANGOLA NO CONTEXTO DO PETRÓLEO AFRICANO

Angola é um dos pilares da produção petrolífera africana. A descoberta e exploração de hidrocarbonetos transformou profundamente a estrutura económica do país, tornando o sector de óleo e gás o motor central do desenvolvimento nacional. As bacias sedimentares angolanas em particular a Bacia do Cuanza, a Bacia do Congo e a Bacia do Namibe encerram reservas significativas de petróleo e gás natural, com elevado potencial ainda por explorar.

### Bacias Sedimentares Principais

Bacia do Cuanza · Bacia do Congo · Bacia do Namibe · Bacia de Benguela

### Entidades Regulatórias

ANPG (Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis) · Ministério dos Recursos Petrolíferos

## 02 | CONTEXTUALIZAÇÃO — INFRAESTRUTURA DE DUTOS EM ANGOLA

A infraestrutura de dutos constitui o principal meio de escoamento de hidrocarbonetos em Angola, ligando campos de produção a terminais de exportação, refinarias e centros de consumo. A sua integridade é condição sine qua non para a segurança operacional, a sustentabilidade ambiental e a competitividade do sector.

### Oleodutos

Transportam petróleo bruto desde os campos de produção (onshore/offshore) até terminais de exportação e refinarias. Angola conta com oleodutos de elevada capacidade na zona do Cabinda e nas bacias do Cuanza e Congo.

### Gasodutos

Destinados ao transporte de gás natural associado e não-associado. O Gasoduto de Soyo e a infraestrutura do ALNG são exemplos centrais da rede de gás angolana.

### Sistemas de Injecção

Dutos de injecção de água e gás são utilizados para manutenção de pressão nos reservatórios, sendo parte integrante da infraestrutura de produção.

### Infraestrutura de Apoio

Estações de bombagem, válvulas de seccionamento, instalações de tratamento e sistemas de supervisão SCADA completam a infraestrutura de gestão dos dutos.

## 03 | PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO

### QUESTÃO CENTRAL

*"Em que estado de integridade se encontra a infraestrutura de dutos para transporte de hidrocarbonetos na região do Cuanza Sul e quais as medidas técnicas necessárias para garantir a sua continuidade operacional segura e sustentável?"*

#### Corrosão Avançada

Grande parte dos dutos em operação na região apresenta décadas de uso sem avaliação sistemática de corrosão interna (por produto transportado) e externa (por solo e ambiente).

#### Ausência de Cadastro

Inexistência de um inventário técnico georreferenciado e atualizado da rede de dutos no Cuanza Sul, dificultando a gestão e manutenção.

#### Risco Ambiental Elevado

Derrames potenciais ameaçam os ecossistemas frágeis da região, incluindo bacias hidrográficas, solos agrícolas e comunidades ribeirinhas.

#### Manutenção Reactiva

Predomínio de estratégias correctivas (actuar após a falha), em detrimento de abordagens preventivas e preditivas baseadas em dados de condição.

#### Lacunas Regulatórias

#### Défice de Investigação

## 04 | JUSTIFICAÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA

### POR QUE O CUANZA SUL?

A Bacia Sedimentar do Cuanza é a estrutura geológica mais estudada e historicamente mais produtiva de Angola. A região do Cuanza Sul, com campos onshore em actividade e uma rede de dutos de várias décadas, apresenta-se como caso de estudo ideal para uma avaliação de integridade aprofundada, com impacto directo na segurança nacional do abastecimento energético.

#### 1 Impacto Económico

Interrupções no transporte de petróleo têm custos directos estimados em milhões de dólares por dia, para além dos custos de remediação ambiental.

#### 2 Segurança Pública

Acidentes em dutos próximos de comunidades (incêndios, explosões, derrames) representam riscos sérios à vida humana, como documentado em vários países africanos.

#### 3 Imperativo Ambiental

O Cuanza Sul integra ecossistemas de savana, matas ribeirinhas e áreas agrícolas sensíveis, tornando a prevenção de derrames uma prioridade ambiental.

#### 4 Necessidade Académica

A escassez de publicações técnico-científicas sobre gestão de dutos em Angola torna este estudo uma contribuição inédita para o conhecimento aplicado nacional.

## 05 | OBJECTIVO GERAL DO ESTUDO

### OBJECTIVO GERAL

Avaliar o estado de integridade da infraestrutura de dutos para transporte de hidrocarbonetos na região do Cuanza Sul, identificando deficiências estruturais, riscos operacionais e ambientais, e propondo um modelo de gestão preventiva adaptado ao contexto angolano.

### OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Elaborar levantamento e cadastro georreferenciado da rede de dutos na região do Cuanza Sul
- 2 Identificar e classificar o estado de conservação e integridade de cada segmento de duto
- 3 Analisar os mecanismos de degradação predominantes: corrosão, fadiga, desgaste e envelhecimento
- 4 Avaliar o grau de conformidade com normas nacionais e internacionais (API, ASME, ISO, NORSOK)
- 5 Desenvolver uma matriz de risco baseada na probabilidade e consequência de falha (RBI)
- 6 Propor um Plano de Gestão de Integridade (PGI) para os dutos da região
- 7 Formular recomendações para actualização do quadro regulatório angolano de gestão de dutos

## 06 | PERGUNTAS DE INVESTIGAÇÃO E HIPÓTESES

### PERGUNTAS DE INVESTIGAÇÃO

- P1** Qual o estado actual de integridade dos dutos de hidrocarbonetos no Cuanza Sul?
- P2** Quais os mecanismos de degradação predominantes nesses dutos?
- P3** Existe conformidade com as normas técnicas aplicáveis?
- P4** Quais os riscos ambientais e de segurança associados ao estado actual?
- P5** Que medidas de mitigação são técnica e economicamente viáveis?

### HIPÓTESES DE TRABALHO

- H1** A maioria dos dutos apresenta corrosão significativa, sem protecção catódica adequada.
- H2** Existe défice de conformidade com normas API/ASME na infraestrutura existente.
- H3** A implementação de um PGI pode reduzir em 60%+ o risco de falha catastrófica.
- H4** A região carece de cadastro técnico actualizado e georreferenciado dos dutos.
- H5** O custo de implementação de manutenção preventiva é inferior ao da correctiva.

## 07 | ÁREA DE ESTUDO — CUANZA SUL: GEOGRAFIA E GEOLOGIA

### ESQUEMA DE LOCALIZAÇÃO



(Esquema ilustrativo — sem escala)

### Área total

~55.660 km<sup>2</sup>

### Capital

Sumbe

### Pop. estimada

~2,1 Milhões (INE, 2022)

### Municípios

24 Municípios

### Geologia dominante

Bacia Sedimentar do Cuanza — sequências cretácicas com evaporitos (sal), arenitos e calcários

### Recursos confirmados

Petróleo bruto onshore e offshore, gás natural associado, sal-gema

### Clima

Tropical seco a subúmido; precipitação sazonal marcada

### Hidrografia

Rio Cuanza (principal), Rio Longa, Rio Queve

## 08 | ÁREA DE ESTUDO — SECTOR PETROLÍFERO DO CUANZA SUL

O Cuanza Sul alberga campos petrolíferos onshore históricos e uma infraestrutura de produção estabelecida há décadas. A Sonangol, através das suas filiais e parceiros, opera nesta região em articulação com empresas internacionais. A rede de dutos é o elo crítico entre a produção nos campos e o escoamento para exportação.

### Campos Onshore Activos

Campo do Dande

Campo de Quenguela Norte

Campo de Tobias

Campo de Malongo (parcial)

### Operadores / Parceiros

Sonangol E.P.

Total Energies Angola

Chevron (Angola)

ENI Angola

### Infra. de Escoamento

Terminal de Porto Amboim

Terminal de Malongo

Ligações oleoduto-refinaria

Estações de bombagem intermediárias

### PRINCIPAIS DESAFIOS OPERACIONAIS IDENTIFICADOS

Envelhecimento da infraestrutura (>25 anos)

Aumento da Água Produzida (CRB corrosivo)

Solos agressivos com alto teor de cloretos

Oscilações térmicas nos dutos enterrados

# 09 | ENQUADRAMENTO TEÓRICO — MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

A degradação de dutos de hidrocarbonetos resulta de mecanismos múltiplos e frequentemente interdependentes. A sua correcta identificação é o primeiro passo para uma avaliação de integridade rigorosa.

## Corrosão Interna

- Ataque ácido ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) — Corrosão Doce e Azeda
- Erosão-corrosão por fluxo de areia e fluidos
- MIC — Corrosão induzida por microrganismos
- Pitting em zonas de acumulação de água

## Corrosão Externa

- Corrosão por solos (aniões agressivos:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )
- Corrosão galvânica em junções de materiais distintos
- Corrosão por correntes de fuga (stray current)
- Falha ou deterioração do revestimento (coating)

## Danos Mecânicos

- Tensões residuais de soldadura e montagem
- Danos por terceiros: movimentos de solo, construção
- Fadiga por pressão ciclica operacional
- Deflexão e encurvamento em dutos enterrados

## Erosão e Desgaste

- Erosão por sólidos (areia, partículas do reservatório)
- Cavitação em curvas e reduções de secção
- Desgaste em zonas de contacto solo-tubo
- Erosão por fluxo multifásico de alta velocidade

## Stress Corrosion Cracking

- SCC induzido por tensão residual + ambiente agressivo
- SSC (Sulphide Stress Cracking) em  $\text{H}_2\text{S}$
- HIC — Hydrogen Induced Cracking
- SOHIC — Stress-Oriented HIC em juntas soldadas

## Degradação do Revestimento

- Delaminação e cathodic disbondment
- Envelhecimento UV de revestimentos epoxídicos
- Danos mecânicos durante instalação
- Incompatibilidade revestimento-produto transportado

# 10 | ENQUADRAMENTO NORMATIVO E REGULATÓRIO

A avaliação de integridade de dutos de hidrocarbonetos deve basear-se num conjunto de normas e regulamentos reconhecidos internacionalmente. O estudo adoptará as seguintes referências técnico-normativas:

## API 570

### Piping Inspection Code

Inspeção, reparação, alteração e requalificação de sistemas de tubagem em serviço na indústria de petróleo.

## API 5L

### Specification for Line Pipe

Especificação técnica para tubagens de aço utilizadas em oleodutos e gasodutos.

## API RP 1160

### Managing System Integrity

Gestão da integridade de sistemas de oleodutos de líquidos perigosos.

## ASME B31.4

### Pipeline Transportation Systems

Código de transporte por tubagem de líquidos e lamas.

## ASME B31.8

### Gas Transmission Systems

Código de sistemas de transmissão e distribuição de gás.

## ISO 15589

### Cathodic Protection

Protecção catódica de sistemas de tubagens de transporte de petróleo e gás.

## NORSOK M-001

### Materials Selection

Critérios de selecção de materiais para sistemas offshore e onshore O&G.

## DNIT/Angola

### Reg. Nacionais ANPG

Decreto Presidencial n.º 48/12 e legislação complementar da ANPG para operações petrolíferas em Angola.

# 11 | INTEGRIDADE DE DUTOS — CONCEITOS FUNDAMENTAIS

## PIPELINE INTEGRITY MANAGEMENT (PIM)

O Pipeline Integrity Management (PIM) é o conjunto de políticas, procedimentos e práticas destinados a garantir a operação segura e fiável de dutos ao longo de toda a sua vida útil. Baseia-se em três pilares fundamentais: Conhecimento, Avaliação e Resposta.

### CONHECIMENTO

Cadastro e inventário completo

Histórico de inspeções e incidentes

Dados de produto e condições de operação

Caracterização do solo e ambiente

### AVALIAÇÃO

Inspeção in-line (ILI / Smart Pig)

Inspeção externa e visual

Ensaio não destrutivo (END)

Análise de risco (RBI / FMEA)

### RESPOSTA

Planos de manutenção preventiva

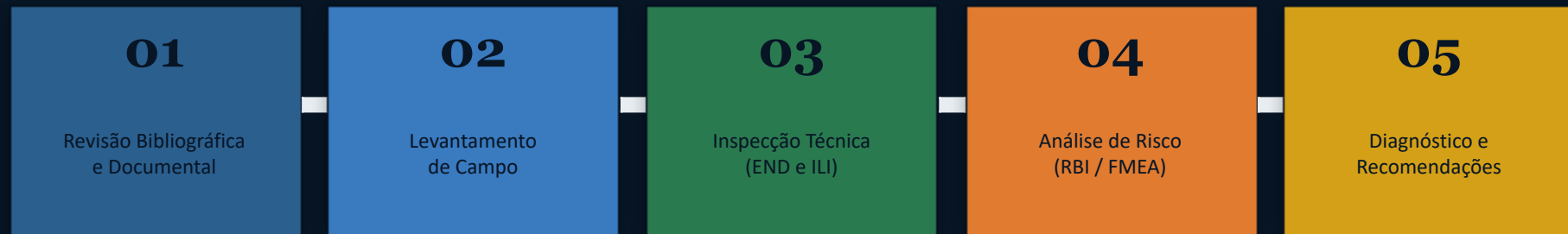
Procedimentos de reparação e reabilitação

Plano de emergência e contingência

Monitorização contínua e SCADA

## 12 | METODOLOGIA — ABORDAGEM GERAL

O estudo adoptará uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa), combinando revisão documental, levantamento de campo, ensaios técnicos e análise de risco. O método segue a estrutura do Pipeline Integrity Management conforme API 1160.



### Natureza da Investigação

Descritiva, exploratória e aplicada. Estudo de caso com âmbito geográfico delimitado à região do Cuanza Sul.

### Instrumentos de Recolha

Fichas de inspeção, diagramas P&ID, relatórios operacionais, ensaios laboratoriais (análise de fluidos), ortofotomapas.

### Análise de Dados

Modelação SIG (QGIS/ArcGIS), análise estatística (SPSS/Excel), simulação de integridade (ANSYS/FEA), relatório RBI.

### Validação

Triangulação de fontes, comparação com estudos de referência internacionais e consulta a especialistas do sector.

# 13 | METODOLOGIA — LEVANTAMENTO DE CAMPO E INSPECÇÃO

## Cadastro Georreferenciado

Mapeamento GPS de todos os troços de duto, válvulas, estações de bombagem e acessórios. Integração em plataforma SIG para visualização e análise espacial da infraestrutura.

## Inspeção Visual Detalhada

Inspeção em campo dos dutos aéreos, travessias e zonas de risco. Registo fotográfico, vídeo e térmica infravermelha para detecção de fugas e danos superficiais.

## Ensaios Não Destrutivos (END)

Ultrassom (UT) para medição de espessura de parede. Partículas magnéticas (MT) e líquidos penetrantes (PT) para detecção de fissuras. Radiografia industrial (RT) em juntas críticas.

## Inspeção In-Line (ILI)

Utilização de smart pigs com tecnologia MFL (Magnetic Flux Leakage) e UT para detecção de perda de espessura, corrosão interna e geometria interna dos dutos em operação.

## Análise de Solos

Amostragem e análise química do solo (pH, resistividade, teor de sulfatos e cloretos) nas zonas de implantação dos dutos para avaliação da agressividade ao revestimento externo.

## Protecção Catódica

Medição de potencial eléctrico ao longo dos dutos (CIPS/DCVG) para avaliação da eficiência do sistema de protecção catódica e identificação de defeitos de revestimento externo.

## 14 | TIPOLOGIA DOS DUTOS — CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

A rede de dutos de hidrocarbonetos classifica-se segundo critérios de produto transportado, pressão de operação, localização e função. O Cuanza Sul dispõe de diferentes tipos de dutos, com especificações técnicas e requisitos de manutenção distintos.

Tipo de Duto	Produto	Pressão	Material	Revestimento
Oleoduto (Crude)	Petróleo bruto	30–100 bar	API 5L X65/X70	3LPE / FBE
Gasoduto	Gás Natural / GLP	50–150 bar	API 5L X70/X80	3LPE / Epóxi
Água Produzida	Água + Salinidade	10–50 bar	Aço Inox / HDPE	Interno Epóxi
Injecção de Gás	CO <sub>2</sub> / N <sub>2</sub> / Gás	100–300 bar	CrMo / Inox 316L	Epóxi especial
Condensado	Condensado leve	20–80 bar	API 5L X60	3LPE / FBE
Multiproduto	Variável (batch)	20–60 bar	API 5L X52/X60	FBE interno

Dutos Onshore — Instalados em vala enterrada ou superficialmente, atravessam solos de diferentes agressividades. Exigem protecção catódica e revestimento externo robusto.

A corrosão é o principal mecanismo de degradação de dutos de aço enterrados. A combinação de protecção catódica (PC) com revestimento externo de alta qualidade é a solução padrão da indústria, conforme ISO 15589 e NACE SP0169.

## Protecção Catódica Galvânica

Utilização de ânodos de sacrifício (Zn, Al, Mg) que se oxidam preferencialmente. Aplicável em zonas de difícil acesso. Custo de operação baixo mas requer substituição periódica dos ânodos.

## Protecção Catódica Impressa

Corrente contínua injectada por rectificador externo. Maior controlo e alcance. Exige monitorização regular dos potenciais (CP surveys). Custo inicial mais elevado.

## Revestimentos Externos

3LPE (Three-Layer PolyEthylene): padrão actual para oleodutos enterrados. FBE (Fusion Bonded Epoxy): excelente adesão, usado em juntas e reparações. Asphalt/Coal Tar: dutos antigos.

## Inibidores de Corrosão

Compostos químicos injectados no fluido para passivação da superfície interna. Eficazes em ambientes de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S. Monitorização de corrosão por coupons e técnicas eletroquímicas.

## 16 | IMPACTO AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE SOCIAL

A gestão de integridade de dutos de hidrocarbonetos tem uma dimensão ambiental e social incontornável. Derrames e acidentes comprometem ecossistemas frágeis, comunidades locais e a reputação das empresas operadoras.

### Contaminação de Aquíferos

Infiltração de hidrocarbonetos no solo pode contaminar lençóis freáticos utilizados por comunidades rurais para consumo e agricultura, com efeitos a longo prazo.

### Degradação de Ecossistemas

A região do Cuanza Sul integra savanas, matas ribeirinhas e áreas húmidas com biodiversidade endémica sensível à contaminação por petróleo.

### Impacto nas Comunidades

Comunidades agrícolas e piscatórias dependem dos recursos hídricos. Um derrame pode comprometer meios de subsistência e forçar deslocamentos populacionais.

### Quadro Legal Ambiental

Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 5/98). Regulamento de Protecção do Ambiente Petrolífero (Dec. 39/00). Convenções MARPOL e acordos bilaterais com RDC.

### Plano de Contingência

O estudo propõe a elaboração de um Plano de Emergência e Contingência para derrames (PECO) adaptado às condições do Cuanza Sul, com mapeamento de zonas de risco.

### Alinhamento com os ODS

ODS 6 (Água limpa), ODS 13 (Acção climática) e ODS 15 (Vida terrestre). A gestão responsável de dutos contribui directamente para estes objectivos globais.

## 17 | MODELO DE GESTÃO DE INTEGRIDADE PROPOSTO (PGI)

Com base nos resultados da avaliação, será proposto um Plano de Gestão de Integridade (PGI) específico para os dutos do Cuanza Sul, seguindo a estrutura da API RP 1160 e adaptado às condições angolanas.



### INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO (KPIs) DO PGI

Taxa de falha/km/ano

% dutos inspeccionados/ano

Tempo médio de resposta a alarme

Custo de manutenção/km

# 18 | RESULTADOS ESPERADOS DA INVESTIGAÇÃO

## Base de Dados Técnica

Inventário georreferenciado completo da rede de dutos do Cuanza Sul, com dados de material, diâmetro, espessura, idade, revestimento e histórico de incidentes.

## Proposta Normativa

## Diagnóstico de Integridade

Classificação do estado de cada segmento de duto (A=Bom, B=Aceitável, C=Crítico, D=Imediato) com base nos ensaios e análises realizadas.

## Plano de Gestão de Integridade

Documento PGI completo, com protocolos de inspeção, manutenção preventiva, procedimentos de reparação e plano de resposta a emergências.

## Dissertação Académica

Produção de dissertação de mestrado com rigor científico, contribuição inédita para a literatura técnica angolana na área de O&G e infraestrutura civil.

## Mapa de Riscos

Cartografia de risco georreferenciada da rede de dutos, identificando treços de maior risco de falha e consequências (ambientais, económicas, sociais).

# 19 | CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E REVISÃO DE LITERATURA

Este estudo preenche uma lacuna significativa na literatura técnico-científica angolana sobre gestão de infraestrutura de O&G. A sua contribuição abrange três dimensões interdependentes:

## ORIGINAL

*1.ª avaliação sistemática de dutos O&G no Cuanza Sul*

Metodologia RBI adaptada ao contexto angolano

Dados de campo inéditos sobre corrosão regional

Modelo de avaliação replicável para outras regiões

## TÉCNICA

*Apoio à decisão para operadores e reguladores*

Base técnica para investimentos em reabilitação

Ferramenta de priorização de inspeções

Guia de boas práticas para sector nacional O&G

## NORMATIVA

*Subsídio para melhoria do quadro legal angolano*

Comparação com normas API/ASME/ISO

Proposta de regulação técnica ANPG

Alinhamento com padrões internacionais O&G

### PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chabot, M. (2019). Pipeline Integrity Handbook. Gulf Professional Publ. · API Std 570 (2016). Piping Inspection Code. · ASME B31.4 (2019). Pipeline Transportation Systems. · Melchers, R.E. (2003). Structural Reliability. Blackwell. · ANPG (2022). Relatório Anual do Sector Petrolífero de Angola.

**OBRIGADO PELA ATENÇÃO**

