



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica

**ESTUDO DA ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL NA OPERAÇÃO DE DUTO  
TERRESTRE, CONSIDERANDO ALTERAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS  
NA FAIXA DE DUTO E ÁREAS ADJACENTES**

Juliana Soares Maltez

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Assed Naked Haddad

Rio de Janeiro

Agosto 2013

**ESTUDO DA ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL NA OPERAÇÃO DE DUTO  
TERRESTRE, CONSIDERANDO ALTERAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS  
NA FAIXA DE DUTO E ÁREAS ADJACENTES**

Juliana Soares Maltez

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

---

Orientador: Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

---

Avaliadora: Prof<sup>a</sup>. Elaine Garrido Vazquez, D.Sc.

---

Avaliador: Prof. Marcos Barreto de Mendonça, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO 2013

Maltez, Juliana Soares

Estudo da Análise de Risco Ambiental na Operação de Duto Terrestre, Considerando Alterações Geológico-geotécnicas na Faixa de Duto e Áreas Adjacentes/ Juliana Soares Maltez. - Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

V, 43 p.; 29,7 cm.

Orientador: Assed Naked Haddad

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/Curso de Engenharia Civil, 2013.

Referências: p. 41-43.

1. Gestão de Segurança 2. Análise de Risco Ambiental 3. Duto Terrestre 4. Faixa de Duto 5. Fenômenos Geológicos I. Haddad, Assed Naked. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Estudo da análise de risco ambiental na operação de duto terrestre, considerando alterações geológico-geotécnicas na faixa de duto e áreas adjacentes.

*“Em toda a organização prática há pois que contar com  
o inesperado e indefinido da vida”.*

*Fernando Pessoa*

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Agradeço a minha família, primeiramente aos meus pais Renato e Rosângela, pelo apoio durante todos esses anos de curso de engenharia. À minha irmã Enza Gabriela que sempre acreditou que eu seria capaz de me formar em engenharia. Agradeço ao meu namorado Vitor Siqueira que esteve ao meu lado ouvindo minhas lamentações e dando força para eu não desistir. Amo vocês.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal do Rio de Janeiro que contribuíram para o meu aprendizado pessoal e profissional. À professora Elaine Vazquez, que além de contribuir com seu conhecimento também dedicou o tempo disponível e paciência para resolver cada problema que aparecia pela minha vida estudantil.

À professora Maria Egle Setti, pesquisadora visitante do programa PRH41, por sempre estar disposta a ajudar no que fosse preciso, muito obrigada.

Ao professor orientador Assed Naked Haddad. Obrigada pela orientação e imensa ajuda para a concepção deste trabalho.

A todos os amigos que estiveram presentes nesta longa jornada, mesmo presencialmente longe, não deixaram de ajudar com bons conselhos.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

**ESTUDO DA ANÁLISE DE RISCO AMBIENTAL NA OPERAÇÃO DE DUTO TERRESTRE, CONSIDERANDO ALTERAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS NA FAIXA DE DUTO E ÁREAS ADJACENTES**

Juliana Soares Maltez

Agosto/2013

Orientador: Assed Naked Haddad

Curso: Engenharia Civil

Com o aumento da demanda de petróleo, a malha dutoviária brasileira cresceu nos últimos anos. A aplicação de uma política de gestão de segurança, meio ambiente e saúde neste setor é determinante para a confiabilidade do suprimento e, principalmente, para a prevenção e diminuição das consequências de incidentes que venham ocorrer. Neste trabalho será realizado um estudo sobre análise de risco ambiental da operação de um segmento de duto terrestre que movimenta petróleo, considerando alterações no solo ou subsolo motivadas por fenômenos geológicos naturais e de obras próximas. Os objetivos específicos são identificar e analisar, ao longo da faixa de duto e áreas adjacentes, alterações que possam ocorrer no solo ou subsolo, avaliar a influência destas alterações contra a segurança e integridade estrutural do duto e avaliar o risco ambiental de acordo com a densidade demográfica do entorno do duto e também, com o grau de vulnerabilidade do ambiente, em caso de um eventual vazamento do produto transportado. A partir destes conhecimentos, é possível gerenciar os riscos da operação de um segmento de duto terrestre e fazê-la de forma segura e responsável.

*Palavras-chave:* gestão de Segurança, análise de risco ambiental, duto terrestre, faixa de duto, fenômenos geológicos.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

**STUDY OF ENVIRONMENTAL RISK ANALYSIS OF THE OPERATION OF  
ONSHORE PIPELINE, CONSIDERING GEOLOGICAL-GEOTECHNICAL  
CHANGES ON THE RIGHT-OF-WAY AND NEARBY AREAS**

Juliana Soares Maltez

August/2013

Advisor: Assed Naked Haddad

Course: Civil Engineering

The Brazilian onshore pipeline network has grown in recent years due to the increase in demand for petroleum. It is therefore necessary to have a management policy in this sector for safety, environment and health to guarantee the safety of the supply and especially to prevent and reduce the consequences of incidents that have taken place. An environmental risk analysis will be conducted in this project regarding the operation of a segment of onshore pipeline that transports oil considering changes in the soil or underground soil due to natural geological phenomenon and nearby operations. The specific objectives are to identify and analyze the changes that can occur in the soil and underground soil along the right-of-ways, evaluate the impact of the changes against safety and structural integrity of the pipeline e evaluate the environmental risk due to the population density surrounding the pipeline and also the level of vulnerability within the environment, if there is a possible leakage of the transported product. These details will make it possible to manage the operation risks of a segment of onshore pipeline and thus make it in a safer and more responsible way.

*Keywords:* safety management, environmental risk analysis, onshore pipeline, right-of-way, geological phenomenon.

# SUMÁRIO

Capítulo 1. Introdução .....	1
1.1 Contexto .....	1
1.2 Justificativa.....	1
1.3 Objetivo.....	2
1.4 Organização do Texto .....	2
Capítulo 2. Dutos Terrestres.....	3
2.1 Conceitos Gerais de Dutosvias .....	3
2.2 Características dos Dutos Terrestres.....	3
2.3 O Transporte Dutosviário no Brasil .....	6
Capítulo 3. Programa de Gerenciamento de Risco Ambiental de dutos.....	9
3.1 Introdução.....	9
3.2 Identificação dos Riscos.....	10
3.3 Análise dos Riscos .....	12
3.3.1 Análise Preliminar de Risco (APR).....	12
3.3.2 Série de Riscos (SR) .....	14
3.3.3 “E Se”.....	15
3.3.4 Árvore de Falhas (AF) .....	16
3.3.5 Metodologia “BowTie Diagram” .....	18
3.4 Programa de Resposta à Emergência.....	19
3.5 Conscientização Pública.....	19
3.6 Avaliação Periódica do Programa .....	20

Capítulo 4. Análise de Riscos na Faixa de Duto .....	20
4.1 Definição do Sistema a ser Estudado.....	20
4.2 Estimativa dos Riscos .....	20
4.3 Análise Preliminar de Risco .....	27
4.4 Gestão dos Recursos de Resposta a Emergência.....	37
4.4.1 Programa de Resposta a Emergência de Oleodutos .....	38
4.4.2 Programa de Resposta a Emergência de Gasodutos .....	39
4.5 Participação das Comunidades Vizinhas .....	39
Capítulo 5. Considerações Finais .....	40
Referências .....	41

# **Capítulo 1. Introdução**

## **1.1 Contexto**

A indústria química sempre se referiu ao transporte por longas distâncias de produtos e matérias-primas pelas dutovias. Estas são obras lineares que atravessam regiões variadas e distintas em termos de geologia e condições geotécnicas.

Os dutos, que podem ser terrestres ou submarinos, têm seu traçado estabelecido em áreas urbanas ou rurais, passando por uma diversidade de localidades. Há dutos no interior de uma instalação, como também, dutos intermunicipais, interestaduais ou internacionais. As dutovias transportam diversos produtos, dentre eles, petróleo, seus derivados e gases combustíveis. Estes produtos são tóxicos e/ou inflamáveis, portanto, o vazamento pode gerar danos ambientais e socioeconômicos de grande proporção.

Embora as dutovias sejam construídas e operadas dentro de padrões de segurança, a operação está sujeita a falhas e perigos. Estas falhas podem desencadear um cenário acidental com consequências desastrosas. Entre algumas das causas de acidentes em dutos destacam-se: corrosão, erosão, deslizamento de terra, queda de blocos, ação de terceiros e atos de vandalismo.

No caso de dutos terrestres, o estudo das condicionantes geológico-geotécnicas é essencial para a segurança estrutural do duto, dada a diversidade de unidades geológicas atravessadas por estas obras lineares, que pode se estender por centenas de quilômetros.

Neste contexto, o presente trabalho consta de um estudo de gerenciamento de risco ambiental na operação de um duto terrestre, que movimenta petróleo, seus derivados e gás combustível. Nele, realiza-se um estudo da análise de risco ambiental baseada nas condições geológico-geotécnicas da faixa de duto e das áreas adjacentes.

## **1.2 Justificativa**

Com o aumento da demanda de petróleo, seus derivados e gás natural, a malha dutoviária brasileira cresceu nos últimos anos. A aplicação de uma política de gestão de segurança, meio ambiente e saúde neste setor é determinante para a confiabilidade do

suprimento e, principalmente, para a prevenção e diminuição das consequências de incidentes que venham ocorrer. Há ainda a necessidade de estudos geológicos e geotécnicos das extensas áreas atravessadas pelas dutovias, que se não forem definidos podem causar eventos acidentais que apresentam a possibilidade de causar danos às pessoas, materiais e ao meio ambiente.

### **1.3 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é de avaliação dos riscos ambientais da operação de um segmento de duto terrestre que movimentam petróleo, seus derivados e gás natural considerando alterações no solo ou subsolo motivadas por fenômenos geológicos naturais e de obras próximas.

### **1.4 Organização do Texto**

O Capítulo 2 discorre acerca das fundamentações teóricas relacionadas aos dutos terrestres e do transporte dutoviário no Brasil.

No Capítulo 3 são descritas as etapas de um programa de gerenciamento de risco ambiental.

No Capítulo 4 será apresentado um estudo de análise de risco ambiental considerando fenômenos naturais e de interferências de obras de qualquer natureza com o solo ou subsolo das faixas de dutos e áreas adjacentes.

O Capítulo 5 apresentará as conclusões.

O Capítulo 6 apresenta todas as referências utilizadas ao longo deste trabalho.

## **Capítulo 2. Dutos Terrestres**

### **2.1 Conceitos Gerais de Dutovias**

Duto é a designação genérica de instalação constituída por tubos ligados entre si, incluindo os componentes e complementos, destinada ao transporte ou transferência de fluidos, entre as fronteiras de unidades operacionais geograficamente distintas. Componentes são quaisquer elementos mecânicos pertencentes ao duto e complementos são as instalações necessárias à segurança, proteção e operação do duto. (RTDT,2011)

Um duto permite que grandes quantidades de produtos sejam deslocadas de maneira segura, diminuindo o tráfego de cargas perigosas por caminhões, trens ou por navios e, conseqüentemente, diminuindo os riscos de acidentes ambientais (CETESB,2013).

O duto pode ser classificado em submarino e terrestre. O duto submarino tem a maior parte da tubulação submersa, e é utilizado para o transporte da produção de petróleo das plataformas marítimas para as refinarias ou tanques de armazenagem localizados em terra, e também para atravessar baías ou canais de acesso a portos, estes dutos estão situados nas imediações das plataformas de petróleo e dos terminais. Os dutos terrestres operam em terra e podem ser enterrados, aparentes e aéreos.

### **2.2 Características dos Dutos Terrestres**

Os dutos terrestres subterrâneos são os tipos mais utilizados, são dutos enterrados no terreno e dessa forma estão mais protegidos contra intempéries e acidentes que possam ser provocados por veículos, máquinas e por vandalismo. Os tubos ficam enterrados a uma profundidade média de 1 metro, e em caso de vazamento do material transportado os dutos estão mais seguros devido à camada de terra que os envolve.

Se o terreno em que o duto for atravessar é muito acidentado ou rochoso a instalação de dutos subterrâneos torna-se difícil e inviável economicamente. Então é construído outro tipo de duto, o duto aparente (Figura 1), que é visível no solo, e fixado em estruturas que servirão de sustentação e amarração para a tubulação.

Quando houver a necessidade de vencer vales, cursos d'água, pântanos e terrenos acidentados, são utilizados os dutos aéreos (Figura 2).



Figura 1 – Oleoduto aparente na encosta da Serra do Mar. Fonte: CETESB.



Figura 2 – Passagem aérea do oleoduto OSVAT no estado de São Paulo. Foto obtida em: <http://www.panoramio.com/photo/35889330>

Existe uma área sinalizada, com largura de 20 metros, que acompanha na superfície o percurso dos dutos terrestres. Esta área é conhecida como faixa de dutos ou faixa de servidão (Figura 3). O RTDT define esta faixa como área de terreno de largura definida, ao longo da diretriz dos dutos, legalmente destinada à construção, montagem, operação, inspeção e manutenção dos dutos, assim como à delimitação de área de segurança a terceiros. A faixa delimitada protege o traçado do duto, identifica os locais de instalação de equipamentos, sinaliza os locais onde não se podem fazer escavações, construções, ocupações, queimadas e obras em geral. As faixas de dutos atravessam áreas urbanas e rurais do país, gerando um impacto ambiental e social nestas regiões.

Os maiores problemas das faixas de dutos urbanas são restos de lixo e esgotos domésticos jogados no local. Em muitas áreas, a dificuldade de organização da comunidade local e dificuldade de acesso às faixas de dutos, tornam as intervenções urbanísticas mais complexas.

As áreas rurais onde estão as faixas de dutos, correspondem a maior parcela do comprimento total de dutos. O relevo acidentado, alternando regiões de planície e montanha, dá uma singularidade para o perfil das faixas de dutos. A área rural tem uma baixa densidade populacional, no entanto, possui problemas de impacto ambiental bastante diversificado. A maior preocupação é com processos erosivos, em terreno íngreme, que pode implicar a diminuição da cobertura do solo.



Figura 3 – Faixa do duto enterrado OSPLAN em Guararema, SP. Fonte: IBP

## **2.3 O Transporte Dutoviário no Brasil**

Entre os principais dutos de transporte existentes no Brasil estão os oleodutos, os gasodutos e os minerodutos. Estes dutos são denominados de acordo com o produto que transportam: petróleo bruto e derivado, gases combustíveis e minérios, respectivamente.

Os oleodutos e gasodutos são o meio de transporte a longas distâncias preferencial para a indústria petrolífera, por serem formas seguras, eficientes e baratas se comparadas com alternativas como o transporte ferroviário, naval ou rodoviário. Na maioria das vezes, o transporte dutoviário possui um único usuário desta infraestrutura, pois normalmente, é operado pelas grandes empresas petrolíferas e petroquímicas de cada país, principalmente pelo fato destas deterem os processos industriais e comerciais das duas pontas do modal, que podem ser: exploração, exportação, importação, refino e pontos de distribuição.

A malha dutoviária brasileira é detida em sua quase totalidade pela Petrobras, sendo a maior parte dos seus dutos de transporte geridos pela subsidiária Petrobras Transporte S.A. – Transpetro que encerrou o ano com uma malha dutoviária de mais de 14 mil km que garante o suprimento de energia em diversos estados do país. Dentre os 14 mil km de dutos, 7.355 km é a rede de gasodutos operada pela companhia que atravessa 306 municípios do Brasil. Este número representa a dimensão do negócio de gás natural nos últimos anos em território nacional. (Transpetro, 2012)

A Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A. (TBG) é proprietária e operadora, em solo brasileiro, do gasoduto Bolívia-Brasil. Com extensão total de 3.150 km, o gasoduto Bolívia-Brasil tem sua origem na Bolívia, em Santa Cruz de La Sierra, e percorre 557 km neste país. Em território brasileiro percorre 2.593 km, passando por 137 municípios em cinco estados: Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. (TBG, 2013)

Embora tenha dimensões continentais, o Brasil possui poucos dutos de transporte quando comparados a outros países. A malha brasileira de dutos é ainda muito menor do que as de países com territórios menores, como México e Argentina. A tabela abaixo

mostra a extensão atual da malha dutoviária brasileira, e as de outros países, incluindo nesse número oleodutos, gasodutos, e minerodutos.

Tabela 1: Extensão da malha de duto atualmente no Brasil e em outros países, em números aproximados. (CTDUT, 2012)

Malha de Dutos	
País	Extensão (km)
Estados Unidos	440 mil
Rússia	300 mil
Canadá	240 mil
México	34 mil
Argentina	39 mil
Brasil	26 mil

A malha atual de gasodutos brasileira apresenta aproximadamente 10 mil km de extensão, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2: Gasodutos de transporte existentes no Brasil. (MME, 2012)

Gasodutos existentes no Brasil	Extensão (km)	Início de operação
<b>Transportadora - Transpetro</b>		
CANDEIAS x ARATU	20,0	1970
GASEB	224,0	1974
SANTIAGO (CATU) x CAMAÇARI	32,0	1975
CANDEIAS x CAMAÇARI	37,0	1981
GASDUC I	183,0	1982
LAGOA PARDA x VITÓRIA	100,0	1983
NORDESTÃO I	424,0	1985
GASVOL	101,0	1986
GASPAL	325,0	1988
SANTIAGO (CATU) x CAMAÇARI	32,0	1992
GASAN	42,0	1993
GASVIT	46,0	1996
GASBEL	357,0	1996
URUCU x COARI - GARSOL	278,0	1998
GASFOR I	383,0	1999
GASALP	204,0	2000
CANDEIAS x DOW	15,0	2002
Ramal TermoFortaleza (CE) I e II	2,0	2003
Ramal Aracati	7,0	2004
Ramal UTE-Pernambuco	12,0	2004
SANTA RITA x SÃO MIGUEL DO TAIPU	25,0	2005
Açu - Serra do Mel	31,0	2007
Catu - Carmópolis - Trecho 02: Itaporanga - Carmópolis	67,0	2007
Atalaia - Itaporanga	29,0	2007
Carmópolis - Pilar	177,0	2007
DOW (CANDEIAS) ARATU-CAMAÇARI	28,0	2007
Cacimbas - Vitória	130,0	2007
CAMPINAS - RIO DE JANEIRO (Trecho Paulínia-Taubaté)	200,0	2007
CAMPINAS - RIO DE JANEIRO (Taubaté - Japeri)	255,0	2008
Cabiúnas – Vitória (GASCAV)	303,0	2008
Catu - Carmópolis - Trecho 01: Catu - Itaporanga	196,0	2008
Japeri - Reduc	45,0	2009
Gasoduto Coari - Manaus	383,0	2009
Gasoduto Paulínia - Jacutinga	93,0	2009
Ramal Terminal Ubu	10,0	2010
GASDUC III	179,0	2010
Cacimbas - Catu	954,0	2010
GASBEL II	267,0	2010
Pilar - Ipojuca	189,0	2010
Caraguatatuba - Taubaté	96,0	2011
GASPAL II	60,0	2011
GASAN II	38,0	2011
<b>TOTAL - TRANSPETRO</b>	<b>6.579,0</b>	
<b>Transportadora - TBG: Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia - Brasil S.A.</b>		
Corumbá - Campinas	1264,0	1999
Campinas - Guararema	153,0	2000
Campinas - Araucária	470,2	2000
Araucária - Biguaçu	277,2	2000
Biguaçu - Siderópolis	179,4	2000
Siderópolis - Porto Alegre	249,4	2000
<b>TOTAL - TBG</b>	<b>2.593,2</b>	
<b>Transportadora - TSB: Transportadora Sulbrasileira de Gás</b>		
Uruguaiana - Porto Alegre (Trecho 01)	25,0	2000
Uruguaiana - Porto Alegre (Trecho 03)	25,0	2000
<b>TOTAL - TSB</b>	<b>50,0</b>	
<b>Transportadora Gás Ocidente</b>		
Gasoduto Lateral Cuiabá	267,0	2002
<b>TOTAL BRASIL</b>	<b>9.489,2</b>	

## **Capítulo 3. Programa de Gerenciamento de Risco Ambiental de dutos**

### **3.1 Introdução**

A gestão da segurança operacional dos dutos terrestres (oleodutos e gasodutos), autorizados ou concedidos a operar pela ANP, decorre de duas razões básicas (RTDT, 2011):

A primeira, por ser a gestão da segurança operacional fator determinante na prevenção ou mitigação das consequências de eventuais incidentes que possam causar danos às pessoas envolvidas ou não com sua operação, ao patrimônio das instalações ou do público em geral e do meio ambiente.

A segunda, por ser a gestão da segurança operacional fator essencial para a confiabilidade do suprimento nacional de petróleo, derivados e gás natural.

Incidente é qualquer ocorrência, decorrente de fato ou ato intencional ou acidental, envolvendo: risco de dano ao meio ambiente ou à saúde humana; dano ao meio ambiente ou à saúde humana; prejuízos materiais ao patrimônio próprio ou de terceiros; ocorrência de fatalidades ou ferimentos graves para o pessoal próprio ou para terceiros; interrupção não programada das operações do duto por mais de vinte e quatro horas. (RTDT, 2011)

O gerenciamento de risco é o processo de controle de riscos compreendendo a formulação e a implementação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar os riscos, bem como manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil (CETESB, 2013).

Este gerenciamento deve ser um processo em contínuo desenvolvimento que acompanha quaisquer modificações na operação do duto terrestre e a empresa autorizada a operar o duto deve fazê-lo de forma segura e responsável, conscientizando todos os trabalhadores envolvidos para uma operação isenta de incidentes.

Para operar o segmento de duto com segurança e responsabilidade é preciso elaborar um programa de gerenciamento de risco ambiental eficiente, a fim de garantir a integridade estrutural do duto e prevenir ou mitigar as consequências de eventuais incidentes. Na figura 4 é apresentado um fluxograma que sintetiza a sequência metodológica para a realização de um gerenciamento de risco ambiental de um segmento de duto.

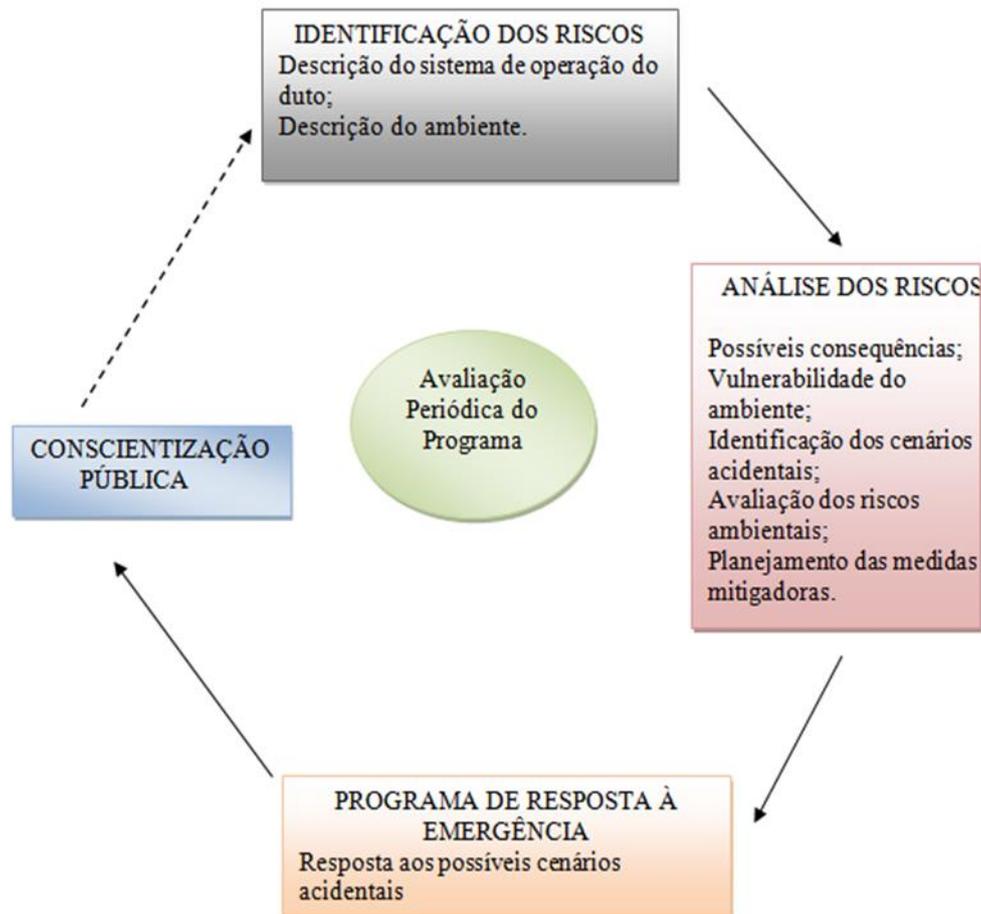


Figura 4: Programa de Gerenciamento de Risco Ambiental de Dutos.

### 3.2 Identificação dos Riscos

O conceito de risco pode ser definido como o efeito da incerteza nos objetivos. Esse efeito é um desvio em relação ao esperado – positivo e/ou negativo. Os objetivos podem ter diferentes aspectos (tais como metas financeiras, de saúde e segurança e ambientais) e podem aplicar-se em diferentes níveis, tais como estratégico, em toda a organização, de projeto, de produto e de processo. O risco é muitas vezes caracterizado pela referência aos eventos potenciais e às consequências, ou uma combinação destes,

expressas em termos de uma soma de consequências de um evento (incluindo mudanças nas circunstâncias) e da probabilidade de ocorrência associada. A incerteza é o estado, mesmo que parcial, da deficiência das informações relacionadas a um evento, sua compreensão, conhecimento, sua consequência ou probabilidade. (ISO 31000, 2009).

O risco associada com a manipulação de substâncias químicas, consideradas altamente perigosa, presentes nas diversas formas de transporte, com predominância para o transporte por dutos, é definido como a combinação entre a frequência de ocorrência de um acidente e a sua consequência (CETESB, 2013).

Para uma melhor compreensão do conceito de risco utilizado neste trabalho, no quadro abaixo se encontram definições (CETESB, 2003).

Acidente - Evento específico não planejado e indesejável, ou uma sequência de eventos que geram consequências indesejáveis;

Estimativa de consequências - Estimativa do comportamento de uma substância química quando de sua liberação acidental no meio ambiente;

Frequência - Número de ocorrências de um evento por unidade de tempo;

Perigo - Uma ou mais condições, físicas ou químicas, com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade, ao meio ambiente ou à combinação desses;

Dano - Efeito adverso à integridade física de um organismo.

O profissional responsável por fazer a análise de risco da operação do duto deve primeiramente identificar os riscos ambientais. Esta é a primeira etapa do programa de gerenciamento de risco ambiental, e depende da experiência do profissional. Este profissional deve ter uma facilidade em identificar um risco que possa levar a um acidente. Por isso, um profissional da própria companhia, ciente de todos os processos e atividades da mesma, e, habituado ao ambiente da operação, é mais eficaz que a realização desta etapa por um consultor externo.

Com base numa descrição do sistema de operação do duto e do ambiente em que ele está situado, os riscos podem ser identificados. Uma análise histórica de riscos relacionados a este tipo de operação é uma ferramenta de ajuda importante na etapa de identificação.

### **3.3 Análise dos Riscos**

Após o processo de identificação dos riscos, estes devem ser analisados. Esta análise de risco ambiental estuda as possíveis consequências no caso de um eventual incidente e a vulnerabilidade do ambiente, assim, estabelece os possíveis cenários acidentais.

Existem diversas técnicas de análise de risco, e a escolha da técnica depende do tipo de operação e do detalhamento necessário para a metodologia mais adequada para o caso em estudo. Estas metodologias podem ser aplicadas tanto na fase de operação, projeto ou pré-operacional.

Alguns fatores que determinam a escolha do tipo de análise a ser realizada são a qualidade e profundidade de informação desejada; a disponibilidade de informações; o custo da análise; o tempo disponível antes que as decisões e as ações devam ser tomadas; e a disponibilidade de pessoal para assistir o processo. (MORGADO, 2005)

Algumas das técnicas de análise de risco ambiental comumente utilizadas são: Análise Preliminar de Risco (APR) / Análise Preliminar de Perigo (APP); Série de Riscos (SR); E se?"/ Lista de verificação; Árvore de Falhas / Causas; Metodologia “BowTie Diagram”.

Essas técnicas fornecem uma avaliação qualitativa das probabilidades de falha e das consequências e suas severidades, possibilitando a consolidação de todos os possíveis cenários acidentais na realização da operação em estudo.

#### **3.3.1 Análise Preliminar de Risco (APR)**

A técnica denominada de Análise Preliminar de Risco (APR), também chamada de Análise Preliminar de Perigo (APP), é uma análise preliminar, realizada antes de um estudo mais completo, e visa selecionar os principais riscos e as principais áreas de riscos de uma unidade ou operação. É fundamental a boa compreensão do processo e do funcionamento dos equipamentos envolvidos na operação.

A partir da descrição dos riscos são identificadas as causas e efeitos dos mesmos, o que permite a elaboração de ações e medidas de prevenção das possíveis causas detectadas

ou mitigação das consequências. A priorização das ações é determinada pela caracterização dos riscos.

A maneira de ajudar no desenvolvimento da metodologia desta técnica é através de uma planilha como sugere a figura 5.

Risco	Causas	Efeitos	Categorias			Recomendações (mitigação/controle)	Nº Cenário
			Frequência	Severidade	Risco		

Figura 5: Exemplo de planilha para Estudo da Análise Preliminar de Risco (APR).

A APR é realizada através da classificação dos riscos identificados em relação à frequência e à severidade, as quais fornecem uma indicação qualitativa para cada um dos cenários identificados. A figura 6 mostra as categorias de frequências em uso atualmente para a realização de APR. E a figura 7 mostra as categorias de severidade.

Com a identificação dos cenários acidentais, ou seja, do conjunto formado pelo risco identificado, suas causas, efeitos, severidade e frequência, deve ser feita uma avaliação da viabilidade de operação do oleoduto ou gasoduto, considerando a severidade das consequências e a probabilidade dos riscos associados a esta operação. O nível de risco é definido através de uma matriz (Figura 8), indicando a frequência e a severidade dos eventos indesejáveis. E por fim, o profissional responsável deve elaborar um relatório técnico com todas as informações obtidas através da análise.

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
A	EXTREMAMENTE REMOTA	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer.
B	REMOTA	Não é esperada sua ocorrência.
C	IMPROVÁVEL	Pouco provável de ocorrer.
D	PROVÁVEL	Esperado ocorrer até uma vez.
E	FREQÜENTE	Esperado ocorrer várias vezes.

Figura 6: Categorias de frequências. Fonte: Morgado, 2002.

CATEGORIA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO/CARACTERÍSTICAS
I	DESPREZÍVEL	- Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; - Não ocorrem lesões/mortes de pessoas, o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
II	MARGINAL	- Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; - Lesões leves em empregados, prestadores de serviço ou de membros da comunidade.
III	CRÍTICA	- Danos severos aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; - Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviço ou em membros da sociedade; - Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofes.
IV	CATASTRÓFICA	- Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ou meio ambiente; - Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas.

Figura 7: Categorias de severidade. Fonte: Morgado, 2002.

GRAU DE RISCO					
SEVERIDADE/FREQUÊNCIA	A	B	C	D	E
IV	2 Moderado	3 Substancial	4 Intolerável	5 Intolerável	5 Intolerável
III	1 Tolerável	2 Moderado	3 Substancial	4 Intolerável	5 Intolerável
II	1 Tolerável	1 Tolerável	2 Moderado	3 Substancial	4 Intolerável
I	1 Tolerável	1 Tolerável	1 Tolerável	2 Moderado	3 Substancial

Figura 8: Matriz de Classificação de Risco. Fonte: Morgado, 2002 modificado.

### 3.3.2 Série de Riscos (SR)

A Série de Riscos é uma técnica de análise qualitativa dos riscos que tem por objetivo inibir a sequência de fatos negativos ou sua repetição. A metodologia usada apresenta a análise de sequências de eventos por relação causa-efeito. Desse modo, após definido

cada cenário de acidente, a inibição dos fatos negativos é através de medidas técnicas e/ou administrativas, no sentido de corrigir ou prevenir o risco identificado.

Ao estruturar-se de maneira lógica e sequencial, a SR apresenta de forma sistemática e em ordem cronológica todos os fatos relativos ao acontecimento em questão e as ligações entre estes fatos, reconstituindo a realidade.

A figura 9 mostra um dos modos de fazer uma série de risco. Para cada evento distinto é construída uma série de risco distinta.

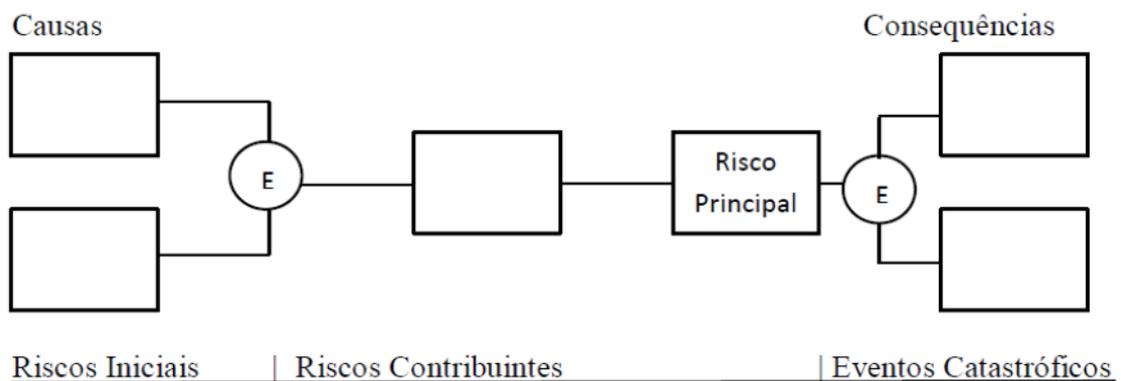


Figura 9: Modelo de série de risco.

### 3.3.3 “E Se”

Uma lista de quesitos é preparada com a finalidade de guia para o questionamento dos procedimentos, instalações e processo da situação em estudo. A técnica se desenvolve através de reuniões entre os membros das equipes que estão realizando a análise. A equipe questionadora deve ser conhecedora e familiarizada com o sistema a ser analisado.

Passos básicos para a aplicação desta técnica (De Cicco e Fantazzini, 1994):

Formação do comitê de revisão: montagens das equipes e seus integrantes;

Planejamento prévio: planejamento das atividades e pontos a serem abordados na aplicação da técnica;

Reunião Organizacional: com a finalidade de discutir procedimentos, programação de novas reuniões, definição de metas para as tarefas e informação aos integrantes sobre o funcionamento do sistema em análise;

Reunião de revisão de processo: para os integrantes ainda não familiarizados com o sistema em estudo;

Reunião de formulação de questões: formulação de questões "O QUE - SE...", começando do início do processo e continuando ao longo do mesmo, passo a passo, até o produto acabado colocado na planta do cliente;

Reunião de respostas às questões (formulação consensual): em sequência à reunião de formulação das questões, cabe a responsabilidade individual para o desenvolvimento de respostas escritas às questões. As respostas serão analisadas durante a reunião de resposta às questões, sendo cada resposta categorizada como: - resposta aceita pelo grupo tal como submetida; - resposta aceita após discussão e/ou modificação; - aceitação postergada, em dependência de investigação adicional. O consenso grupal é o ponto chave desta etapa, onde a análise de riscos tende a se fortalecer;

Relatório de revisão dos riscos do processo: o objetivo é documentar os riscos identificados na revisão, bem como registrar as ações recomendadas para eliminação ou controle dos mesmos.

#### 3.3.4 **Árvore de Falhas (AF)**

A Análise por Árvore de Falhas (AAF) é um método eficiente para o estudo dos fatores que poderiam causar um evento indesejável, no caso, falhas. Esta técnica se aplica no estudo de situações complexas.

O principal conceito na AAF é a transformação de um sistema físico em um sistema estruturado em diagrama (a árvore de falhas), onde são especificadas as causas que levam a ocorrência de um específico evento indesejado de interesse, chamado evento topo.

O evento indesejado é colocado no nível superior e assim, recebe o nome de evento topo. A partir deste nível o sistema é construído de cima para baixo, enumerando todas

as causas que levam ao evento topo. Os eventos do nível inferior dão origem a todos os eventos de nível acima deles, e são chamados de eventos primários.

A AAF fornece um método para determinar as causas do acidente, ou seja, do evento topo. É um modelo gráfico que dispõe das combinações de falhas de equipamentos e procedimentos que possam resultar em um acidente. A análise inicia-se com o evento indesejável, que deve ser evitado, e identifica as causas deste evento. Logo, o cenário acidental é definido por um diagrama que mostra a inter-relação lógica entre as causas básicas e o acidente. Este diagrama possui a forma de diversos ramos de árvore, por isso a técnica é denominada árvore de falhas. A estrutura básica de construção de uma AF pode ser sintetizada conforme a figura 10.

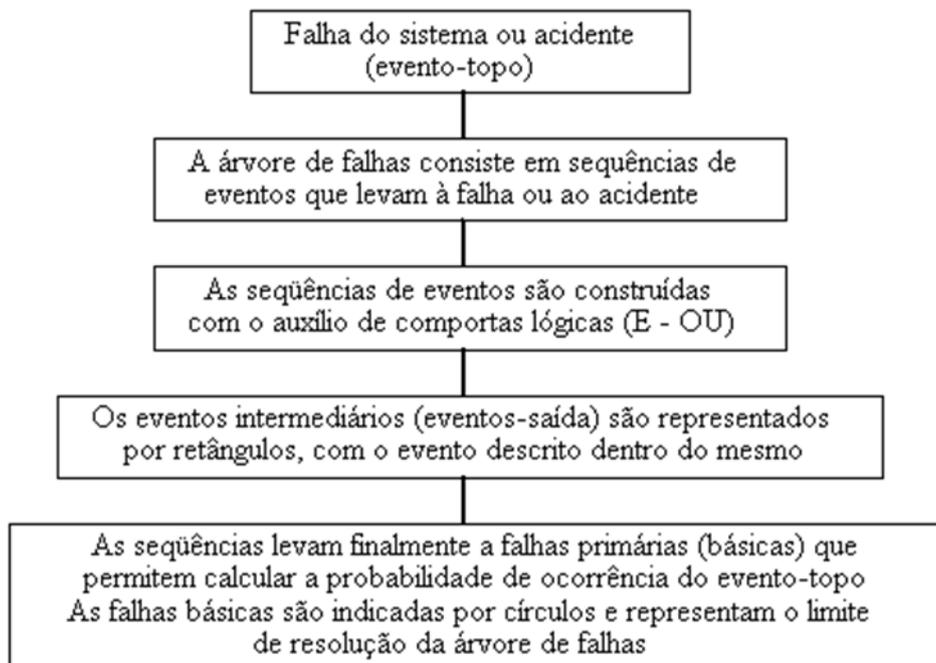


Figura 10: Estrutura básica de construção de uma Árvore de Falhas. Fonte: HENLEY E KUMAMOTO, 1981.

Embora tenha sido desenvolvida como técnica quantitativa, a AAF é usualmente realizada em análises qualitativas para determinar as combinações de falhas que possam causar o evento topo.

O método de AAF, para uso de uma forma qualitativa, pode ser elaborado seguindo as etapas abaixo:

Seleção do evento indesejável ou evento topo, cujas causas de ocorrência devem ser identificadas nesta análise;

Uma descrição dos fatores envolvidos na operação, dentre eles, ambiente, projetos e processos. Dessa forma, determinar as falhas que possam vir a contribuir para ocorrência do evento topo selecionado;

E por fim, montagem do diagrama de AF.

O processo inicia com as causas que poderiam gerar o evento indesejável, formando o primeiro nível. À medida que, passo a passo, até o evento topo, é desenhada a árvore de falhas, é adicionada as combinações de eventos e falhas contribuintes.

Desta forma, para a árvore de falhas, ao se aplicar o procedimento de simples diagramação da árvore, é possível obter um grande número de informações da situação em estudo, e assim, ter uma visão das possíveis ações que devem ser realizadas para o controle e mitigação dos eventos indesejados.

### **3.3.5 Metodologia “BowTie Diagram”**

A metodologia de análise de risco conhecida como BowTie mostra a relação entre as causas e as consequências de um evento indesejável, também denominado de evento topo. É uma representação gráfica de uma análise de riscos de fácil compreensão. Seu diagrama possui a forma de uma gravata borboleta, como mostra a figura 11. Através da elaboração desta técnica é possível definir medidas de controle das causas e de mitigação das consequências do evento topo.

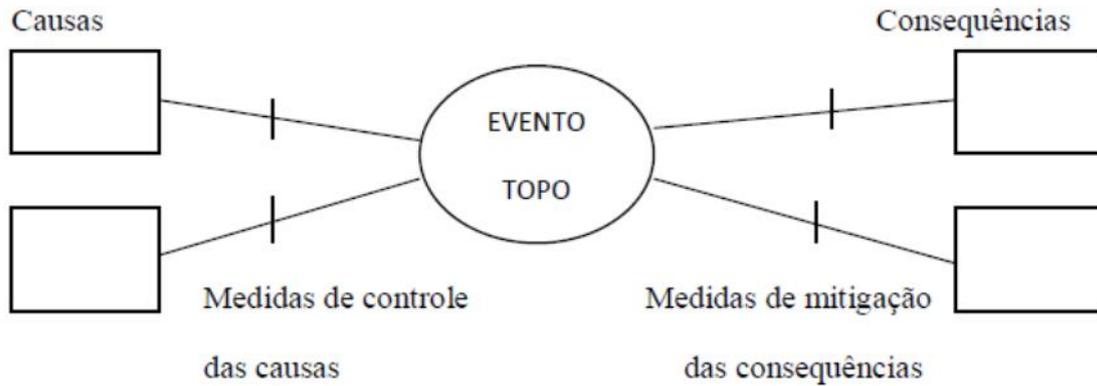


Figura 11: Modelo de análise de risco pelo método “BowTie”.

### 3.4 Programa de Resposta à Emergência

O operador deve criar um programa de resposta à emergência rápido e eficiente para cada cenário acidental identificado durante as realizações das técnicas de análise de riscos, e todos os procedimentos devem ser treinados pela equipe determinada a atuar na ação de resposta à emergência.

As ações do plano de emergência devem ser tomadas para salvaguardar: a vida das pessoas; o cumprimento das leis e normas vigentes; a segurança e o bem estar da população e dos empregados; proteger o meio ambiente; a continuidade das operações e a proteção das instalações.

O programa de resposta à emergência definirá a equipe que administrará a emergência e suas responsabilidades, os procedimentos a serem seguidos em caso de uma emergência, todos os recursos que serão utilizados nas ações de controle e extinção da emergência, o relacionamento com órgãos específicos para auxílio mútuo no atendimento de uma emergência e o relacionamento com as comunidades do entorno para assegurar ações organizadas visando sua proteção.

### 3.5 Conscientização Pública

O operador do duto também deve conscientizar e mobilizar as autoridades competentes e a comunidade vizinha sobre procedimentos preventivos para mitigação de incidentes. Há uma necessidade de associar o convívio da vizinhança com a integridade de dutos,

logo, a participação das comunidades vizinhas, no desenvolvimento de projetos, colabora para garantir a integridade de dutos.

### **3.6 Avaliação Periódica do Programa**

Para que o programa de gerenciamento de risco seja uma ferramenta eficaz no controle e prevenção dos riscos ambientais, todo o programa deve ser avaliado periodicamente para uma melhoria contínua dos processos. Esta avaliação periódica deve ser feita sempre que surgirem novas tecnologias, mudanças na legislação ambiental, mudanças no sistema de operação do duto, mudanças no ambiente, mudanças na vizinhança, ou qualquer mudança que venha influenciar na segurança operacional do duto. Toda documentação do programa de gerenciamento de risco deve ser arquivada e estar sempre disponível para acesso por pessoas envolvidas na segurança do duto.

## **Capítulo 4. Análise de Riscos na Faixa de Duto**

### **4.1 Definição do Sistema a ser Estudado**

Conforme foi exposto no capítulo 2 deste trabalho, os dutos terrestres possuem uma área de terreno ao longo de sua diretriz, de largura limitada, denominada Faixa de Dutos. Esta área específica, e áreas adjacentes a ela, estão passíveis de ações provocadas por fenômenos geológico-geotécnicos que podem prejudicar a integridade estrutural do duto, afetando assim, a sua segurança de operação. Portanto, é preciso que seja realizada uma análise de risco ambiental considerando estes fenômenos naturais e de interferências de obras de qualquer natureza com o solo ou subsolo. Esta análise pode ser feita em qualquer etapa da vida de uma dutovia.

### **4.2 Estimativa dos Riscos**

Ao descrever o ambiente em que a linha de duto passa, é preciso conhecer as características e os parâmetros de resistência do solo em estudo, a fim de estimar um provável comportamento, e assim, permitir a adequada análise de um problema. Logo, é

preciso realizar uma investigação geológico-geotécnica no local. Esta investigação deve ser prévia ao projeto da linha de duto, pois seus dados são valiosos para a concepção do mesmo.

Um dos maiores riscos que se pode correr no campo de Engenharia de Construções é iniciar uma obra sem um conhecimento tão perfeito quanto possível do terreno (rocha ou solo) de fundação. Recordemos que o objetivo da Geotécnica é exatamente o de determinar, tanto quanto possível sob fundamentação científica, a interação terreno-fundação-estrutura, com o fim de prever e adotar medidas que evitem recalques prejudiciais ou ruptura do terreno, com o conseqüente colapso da obra. (CAPUTO, 1988)

Existem diversos métodos para a exploração do subsolo e a escolha por um ou outro depende das dimensões e finalidades da obra, das características do terreno obtidas por mapas topográficos, geológicos, aerofotos e/ou reconhecimento de campo, dos dados disponíveis de investigações anteriores e da observação do comportamento de estruturas próximas.

Entre esses métodos, os principais são:

Com retirada de amostras (deformadas ou indeformadas): abertura de poços de exploração; execução de sondagens.

Ensaio de Laboratório: caracterização; ensaios de resistência ao cisalhamento.

Ensaio in loco: ensaio de palheta / vane test; ensaio de penetração estática de cone / cone penetration test (CPT); prova de carga.

A abertura de poços de exploração permite uma observação in loco das diferentes camadas do subsolo e também, a extração de amostras. Por isto, esta técnica é considerada a que melhor satisfaz aos fins de prospecção. No entanto, seu emprego é limitado na prática devido seu elevado custo, o qual o torna muitas vezes economicamente inviável.

Quando se trata de terrenos onde se encontram corpos estranhos, grandes blocos de rocha, restos de antigas construções, ou ainda, quando se atinge o nível do lençol

freático, pode ser adotada uma técnica mista, isto é, inicialmente é executada a abertura de poços, e então, o prosseguimento se dá com a execução de sondagens.

A norma brasileira NBR 9604 de SET/1986 – Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento, estabelece as condições necessárias para os procedimentos na abertura de poço de exploração e os critérios para a retirada das amostras de solo. Na figura 12 é reproduzido um poço de exploração escorado por cortinas.

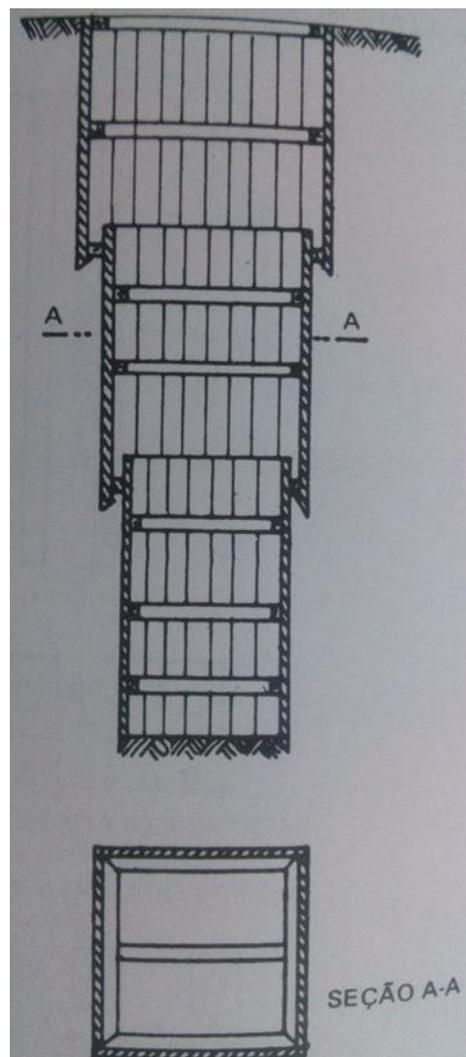


Figura 12: Reprodução de um poço de exploração. Fonte: CAPUTO, 1988.

A execução de sondagens é a técnica mais utilizada nas investigações geológico-geotécnicas dos solos. Consiste na abertura de um furo no solo por meio de ferramentas ou máquinas, permitindo a extração de amostras das diferentes camadas atravessadas.

Esta técnica também permite conhecer o nível do lençol freático da região de estudo. Há diferentes tipos de sondagens, e eles serão apresentados a seguir.

É um processo simples, rápido e econômico para a exploração preliminar em camadas superficiais do solo. O furo é feito por trados manuais, dos tipos cavadeira (Figura 13), torcido, helicoidal e concha, ou por trados mecanizados que permitem furos de maior diâmetro, atingem profundidades maiores e atravessam solos mais compactos e mais rijos. Esta técnica é limitada a solos muito rijos em que não se desagregam pela ação destas ferramentas, grandes profundidades e a presença de água. É utilizada antes de iniciar a sondagem de simples reconhecimento.

As sondagens a trado têm o seu procedimento normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR 9603/86.

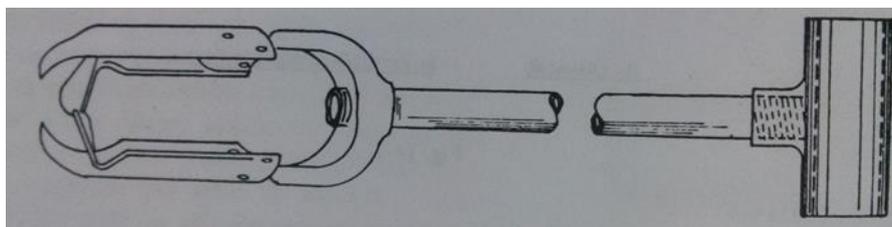


Figura 13: Trado cavadeira. Fonte: CAPUTO,1988.

A sondagem de simples reconhecimento, também conhecida por sondagem à percussão com circulação de água, é amplamente utilizada na investigação do subsolo e além de permitir a retirada de amostras e a determinação do nível d'água, também permite medir a resistência do solo através da penetração dinâmica do solo.

O procedimento da sondagem utiliza o equipamento representado na figura 14, e consiste, basicamente, em perfurar o terreno por um tubo com peças de aço cortantes, mediante golpes de uma massa com peso e altura de queda constantes. Durante o processo além de colhidas as amostras, são registrados a penetração e o número de golpes para medir a resistência à penetração do solo.

Sua execução é padronizada pela ABNT através da NBR 6484 de FEV/2001 – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.

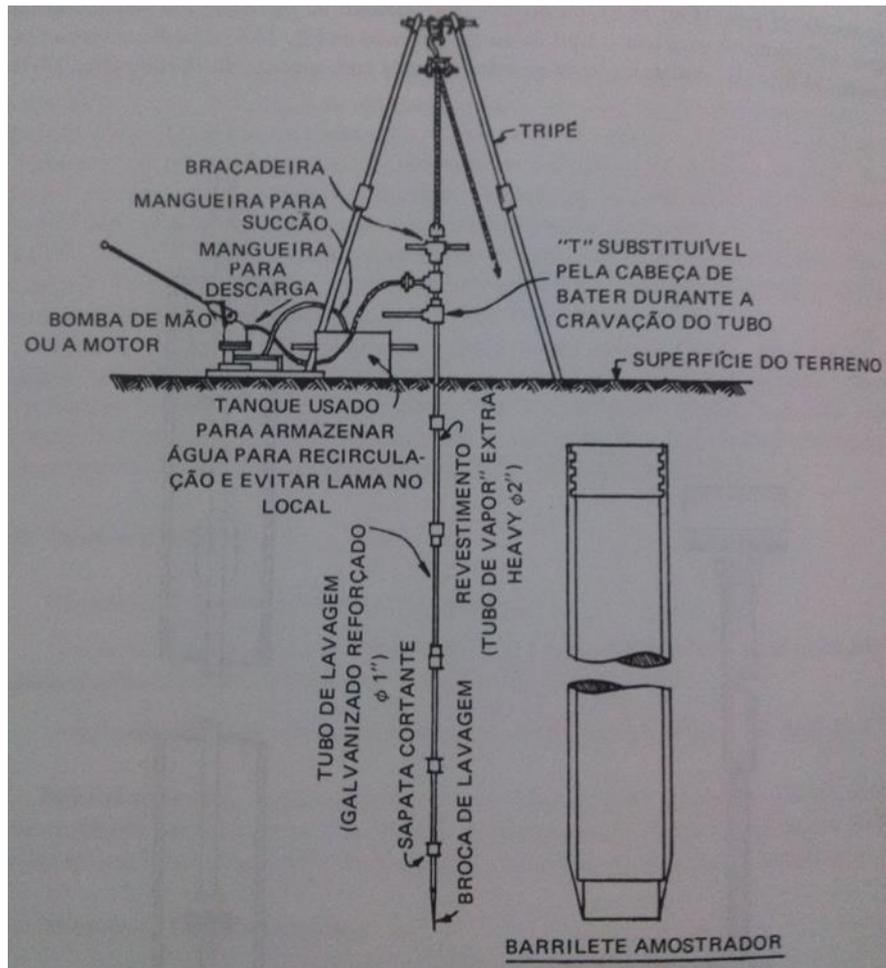


Figura 14: Representação do equipamento de sondagem de reconhecimento. Fonte: CAPUTO,1988.

Em terrenos rochosos a obtenção de amostras é feita por meio de sondas rotativas, um conjunto motomecanizado projetado para a coleta de amostras contínuas do material rochoso, empregando-se geralmente brocas de diamante. A sondagem rotativa é realizada sempre que for impossível prosseguir com a sondagem a percussão.

O *Vane Test* que nós chamamos de ensaio de palheta determina in loco a resistência ao cisalhamento não-drenada do solo coesivo. Este método consiste num aparelho introduzido no terreno, permitindo conhecer o momento necessário a fazê-lo girar. A este se opõem os momentos devidos às resistências ao cisalhamento que se desenvolvem ao longo da superfície lateral e das bases do cilindro de ruptura do solo que envolve as duas placas retangulares como mostra o esquema da figura 15.

A norma brasileira NBR 10905 de OUT./1989 - Solo - Ensaio de palheta in situ prescreve o método de ensaio.

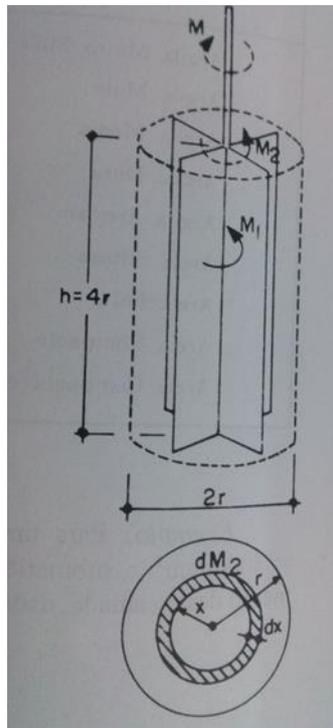


Figura 15: Esquema da palheta usada no Vane Test. Fonte: CAPUTO, 1988.

Uma prova de carga direta consiste em carregar progressivamente o terreno utilizando placas metálicas sobre estacas ou tubulão, e dessa forma, obter as características de compressibilidade do solo. Seu procedimento está descrito na NBR 6122/96.

A importância desses estudos é tão grande e tão evidente que alguém já comparou o engenheiro que os omitisse, com um cirurgião que operasse sem um prévio diagnóstico ou com um advogado que defendesse uma causa sem um prévio entendimento com o seu cliente (CAPUTO, 1988).

Face ao exposto, verifica-se o quanto é importante realizar a investigação, e dessa forma, conhecer as características do solo presente na faixa de duto. Um programa de investigação geotécnica, através das amostras coletadas e ensaios em laboratórios, e dos parâmetros obtidos pelos ensaios in situ, fornece: a caracterização, espessura e dimensão de cada camada do subsolo, profundidade do terreno rochoso ou do solo impenetrável, profundidade do nível d'água e as propriedades do solo ou rocha, dentre elas, resistência ao cisalhamento, permeabilidade e compressibilidade.

Assim, tendo o conhecimento adequado do solo da faixa de duto, também deve ser feita uma verificação das condições meteorológicas da região e do sistema de drenagem natural ou artificial presente.

Caso o segmento de duto terrestre seja construído em uma encosta, deverá ser realizada uma análise de estabilidade do talude, devido a desastrosas consequências que os escorregamentos podem acarretar.

Os mecanismos que levam à instabilidade do talude são o aumento de esforços atuantes no solo ou a diminuição da resistência do material que o compõe. Para verificar se um talude está estável, tendo acumulado dados relativos ao solo ou rocha conforme foi apresentado anteriormente, deve-se então, efetuar análises de estabilidade.

Geralmente estas análises são realizadas por programas de computadores que permitem uma rapidez de resultados e na observação da influência de fatores na estabilidade do talude analisado.

O operador do duto também deve verificar a existência de obras próximas, no solo ou subsolo, que possam afetar a faixa do duto.

Descrito o ambiente, as possíveis ações advindas de fenômenos geológico-geotécnicos já podem ser identificadas. Dentre estas possíveis ações, estão:

Erosão do solo – fenômeno provocado por impacto das chuvas, do vento e a variação de temperatura, que alteram e desagregam as partículas do solo, que vão sendo removidas e transportadas.

Recalque do terreno – fenômeno definido por deformações provocadas por carregamentos verticais no terreno.

Movimentação de terra devido a obras próximas (aterros, escavações, demolições).

Movimentação do talude: rastejo – fenômeno de movimentação do solo lento e contínuo, sem definição de limite, provocado pela ação da gravidade com influência de variação de temperatura e umidade; e corrida – fenômeno de movimento de massa rápido e contínuo ocasionado pela perda de atrito interno entre as partículas, provocada pelo excesso de água presente no solo.

Escorregamentos rotacionais e translacionais, Queda de blocos, Queda de detritos – fenômenos de movimentos de massa rápidos, com volume definido e duração curta. Inúmeras são as causas que provocam estes escorregamentos (sobrecargas, mudança na geometria ou na inclinação do talude, vibrações, elevação do nível d'água, piping, diminuição da coesão aparente, desmatamento, intemperismo).

Conhecidas estas ações, os possíveis riscos de vazamento do produto transportado, através da perda de integridade estrutural do duto, são estabelecidos.

### **4.3 Análise Preliminar de Risco**

Estimados os riscos ambientais, estes devem ser analisados. O primeiro passo da análise de risco ambiental é escolher a técnica de análise de risco adequada para o empreendimento em estudo. No caso, dentre as técnicas apresentadas no capítulo 3, a Análise Preliminar de Risco (APR) será utilizada como exemplo.

A metodologia de APR permite identificar qualitativamente os possíveis problemas que podem ocorrer na faixa do duto, suas possíveis causas e consequências, a categoria dos riscos, propondo medidas para mitigação dos riscos na operação da dutovia.

A análise de risco ambiental deve ser realizada por uma equipe multidisciplinar composta por um responsável pela condução da técnica escolhida e por demais membros detentores do conhecimento do ambiente, do projeto e da operação do sistema em questão.

Conforme exposto no capítulo anterior, a utilização de uma planilha ajuda no desenvolvimento da técnica. A planilha de APR com os possíveis riscos estimados, até então, está apresentada na tabela 3.

Na condução da APR, cada risco será considerado individualmente como ocorrência independente, sem qualquer relação entre si. Dessa maneira, serão estabelecidos possíveis cenários acidentais distintos e também independentes.

A segunda coluna da tabela de APR lista as possíveis causas para cada risco estimado (Tabela 4).

Tabela 3: Planilha de APR com os possíveis riscos estimados no estudo de análise de risco na faixa de duto.

Riscos	Causas	Efeitos	Categorias			Recomendações	Cenário N°
			F	S	R		
Erosão do solo							
Recalque do terreno							
Movimentação de terra devido a obras próximas							
Movimentação do talude (rastejo/corrída)							
Escorregamentos rotacionais ou translacionais/ Queda de blocos/ Queda de detritos)							

Tabela 4: Planilha de APR com os possíveis riscos e causas estimados no estudo de análise de risco na faixa de duto

Risco	Causas	Efeitos	Categorias			Recomendações	Cenário N°
			F	S	R		
Erosão do solo	chuvas, vento e variação de temperatura						
Recalque do terreno	carregamentos verticais, rebaixamento do NA						
Movimentação de terra devido a obras próximas	aterros, escavações e demolições						
Movimentação do talude (rastejo/corrida)	variação de temperatura e umidade/ excesso de água						
Escorregamentos (rotacionais ou translacionais/ Queda de blocos/ Queda de detritos)	sobrecarga, mudança na geometria ou na inclinação do talude, vibrações, elevação do nível d'água, piping, diminuição da coesão aparente, desmatamento, intemperismo						

Na etapa seguinte desta análise, é preciso estimar as consequências, ou seja, os fenômenos resultantes dos possíveis riscos encontrados. Foi considerada a perda de integridade estrutural do duto, portanto, a ruptura da estrutura do duto, para cada situação de risco, e assim, as seguintes ocorrências de vazamento de óleo ou gás, incêndio e posterior explosão.

Pelo fato de o produto transportado, pelo tipo de dutovia adotada, ser de periculosidade relevante e em quantidades significativas, nesta etapa é necessário verificar a vulnerabilidade do ambiente, através de dados da densidade demográfica do local, as condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção de ventos), presença de cursos d'água e de área de proteção ambiental, para que todos os possíveis efeitos subsequentes possam ser contemplados: contaminação do solo ou subsolo, contaminação de cursos d'água e contaminação de área de proteção ambiental, contaminação do ar, e também, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material.

Dessa maneira, na terceira coluna da planilha de APR foram caracterizados os possíveis efeitos advindos da ocorrência de cada risco identificado na primeira coluna. (Tabela 5)

A quarta coluna da tabela de APR, representada na tabela 6, é utilizada para a classificação do risco, indicando a categoria de frequência e severidade de cada cenário acidental. Verificamos no Capítulo 3 que podemos definir estas categorias, e definir o grau de risco através da matriz de risco.

O risco pode ser aceitável se considerado de nível 1- tolerável. Se considerado de nível 2- moderado, é aceitável com os controles e procedimentos existentes. Caso seja de nível 3- substancial, é necessário aumentar as medidas de controle do risco e mitigação das consequências. Os níveis de risco 4 e 5 são intoleráveis para operação segura do duto.

Tabela 5: Planilha de APR com as possíveis consequências dos possíveis riscos encontrados

Risco	Causas	Efeitos	Categorias			Recomendações	Nº
			F	S	R		
Erosão do solo	chuvas, vento e variação de temperatura	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material					
Recalque do terreno	Carregamentos verticais	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material					
Movimentação de terra devido a obras próximas	aterros, escavações e demolições	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material					
Movimentação do talude (rastejo/corrida)	variação de temperatura e umidade/ excesso de água	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material					
Escorregamentos (rotacionais ou translacionais/ Queda de blocos/ Queda de detritos)	sobrecarga, mudança na geometria ou na inclinação do talude, vibrações, elevação do nível d'água, piping, diminuição da coesão aparente, desmatamento, intemperismo	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material					

Tabela 6: Planilha de APR com o grau de risco estimado no estudo de análise de risco na faixa de duto.

Risco	Causas	Efeitos	Categorias			Recomen- dações	Nº
			F	S	R		
<b>Erosão do solo</b>	chuvas, vento e variação de temperatura	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	C	III	3		
<b>Recalque do terreno</b>	Carregamentos verticais	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	C	III	3		
<b>Movimentação de terra devido a obras próximas</b>	aterros, escavações e demolições	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	C	III	3		
<b>Movimentação do talude (rastejo/ corrida)</b>	variação de temperatura e umidade/ excesso de água	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	C	III	3		
<b>Escorregamentos (rotacionais ou translacionais/ Queda de blocos/ Queda de detritos)</b>	sobrecarga, mudança na geometria ou na inclinação do talude, vibrações, elevação do nível d'água, piping, diminuição da coesão aparente, desmatamento, intemperismo	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	C	III	3		

Uma avaliação dos níveis de riscos deve ser realizada. O resultado da avaliação irá determinar as condições de viabilidade da operação do duto. Com a conclusão de uma operação viável, as medidas de prevenção dos riscos e mitigadora das consequências devem ser planejadas. Estas medidas, assim que implementadas, irão diminuir a categoria de risco definida na análise. Algumas destas medidas seguem abaixo.

Medidas de prevenção dos riscos:

Obras de contenção de taludes instáveis; Obras de construção de um sistema de drenagem eficiente; Cobertura vegetal adequada para cada região por onde a linha de duto atravessa (Figura 16); Controle de obras de qualquer natureza no solo ou subsolo próximo a faixa de duto; Monitoramento da faixa de duto.

Medidas de mitigação das consequências:

Uso de equipamento de proteção individual; Contenção rápida do vazamento de óleo; Remoção do produto vazado; Abatimento da nuvem de gás natural; Evacuação da área afetada; Sistema de alerta/alarme.

Na coluna de recomendações da tabela 7 é mostrada as possíveis medidas de prevenção dos riscos e mitigadora das consequências que devem ser implementadas.

Na última coluna da tabela de APR se encontram os números de cada cenário acidental encontrado pela análise. Na tabela 8 verificamos que foram estimados 5 cenários acidentais distintos durante a análise preliminar de risco.



Figura 16: Troca da cobertura vegetal existente na faixa, com crescimento controlado para evitar erosão e garantir a integridade do duto. Fonte: IBP.

Tabela 7: Planilha de APR com as medidas de prevenção dos riscos e mitigadora das consequências

Risco	Causas	Efeitos	Categ. Recomendações			Nº
			F	S	R	
Erosão do solo	chuvas, vento e variação de temperatura	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	C	3	Obras de construção de um sistema de drenagem eficiente / Cobertura vegetal adequada para cada região por onde a linda de duto atravessa / Monitoramento da faixa de duto / Uso de equipamento de proteção individual / Contenção rápida do vazamento de óleo ou abatimento da nuvem de gás natural / Remoção do produto vazado/ Evacuação da área afetada
Recalque do terreno	Carregamentos verticais	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	C	3	Reforço de fundação/ Monitoramento da faixa de duto / Uso de equipamento de proteção individual / Contenção rápida do vazamento de óleo ou abatimento da nuvem de gás natural / Remoção do produto vazado/ Evacuação da área afetada
Movimentação de terra devido a obras próximas	aterros, escavações e demolições	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	C	3	Controle de obras de qualquer natureza no solo ou subsolo próximo a faixa de duto / Monitoramento da faixa de duto / Uso de equipamento de proteção individual / Contenção rápida do vazamento de óleo ou abatimento da nuvem de gás natural / Remoção do produto vazado/ Evacuação da área afetada
Movimentação do talude (rastejo/ corrida)	variação de temperatura e umidade/ excesso de água	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	C	3	Obras de construção de um sistema de drenagem eficiente / Cobertura vegetal adequada para cada região por onde a linda de duto atravessa / Monitoramento da faixa de duto / Uso de equipamento de proteção individual / Contenção rápida do vazamento de óleo ou abatimento da nuvem de gás natural / Remoção do produto vazado/ Evacuação da área afetada
Escorregamentos (rotacionais ou translacionais/ Queda de blocos/ Queda de detritos)	sobrecarga, mudança na geometria ou na inclinação do talude, vibrações, elevação do nível d'água, piping, diminuição da coesão aparente, desmatamento, intemperismo	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	C	3	Obras de contenção de taludes instáveis / Obras de construção de um sistema de drenagem eficiente / Cobertura vegetal adequada para cada região por onde a linda de duto atravessa / Monitoramento da faixa de duto / Controle de obras de qualquer natureza no solo ou subsolo próximo a faixa de duto / Uso de equipamento de proteção individual / Contenção rápida do vazamento de óleo ou abatimento da nuvem de gás natural / Remoção do produto vazado/ Evacuação da área afetada

Tabela 8: Planilha de APR com os 5 possíveis cenários acidentais encontrados

Risco	Causas	Efeitos	Categ.		Nº
			F	S/R	
Erosão do solo	chuvas, vento e variação de temperatura	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	3	1
Recalque do terreno	Carregamentos verticais	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	3	2
Movimentação de terra devido a obras próximas	aterros, escavações e demolições	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	3	3
Movimentação do talude (rastejo/ corrida)	variação de temperatura e umidade/ excesso de água	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	3	4
Escorregamentos (rotacionais ou translacionais/ Queda de blocos/ Queda de detritos)	sobrecarga, mudança na geometria ou na inclinação do talude, vibrações, elevação do nível d'água, piping, diminuição da coesão aparente, desmatamento, intemperismo	Ruptura do duto / vazamento do produto / incêndio e,ou, posterior explosão / contaminação do solo ou subsolo, de cursos d'água, de área de proteção ambiental, do ar, mortes, danos à saúde do ser-humano e perda material	3	3	5

#### **4.4 Gestão dos Recursos de Resposta a Emergência**

Após estabelecer as medidas preventivas e mitigadoras, o operador do oleoduto ou gasoduto deverá criar um programa de resposta à emergência para cada cenário acidental identificado na análise de risco ambiental. Deverá ser avaliada a capacidade de resposta a cada cenário e deverão ser apresentadas as ações de resposta às emergências. O operador será responsável por preparar o programa de resposta à emergência do duto e documentá-lo.

O programa poderá utilizar estruturas e recursos compartilhados que serão acionados, independentemente de pertencerem ao próprio transportador ou a terceiros.

O programa deve estabelecer o treinamento para os membros da equipe de resposta a emergência, consideradas as práticas adotadas pelas regulamentações brasileiras. A equipe treinada para responder a emergência de vazamento de um produto de alto teor de inflamabilidade deve atender ao uso de apropriado equipamento de proteção individual.

O programa de resposta à emergência do duto deve também contemplar (RTDT, 2011): Identificação do duto e responsável legal; Descrição dos acessos; Cenários acidentais; Sistemas de alerta; Comunicação do acidente; Estrutura Organizacional de Resposta; Procedimentos Operacionais de Resposta; Equipamentos e materiais de resposta; Procedimento para acionamento de recursos e estruturas de resposta complementares, quando aplicável.

A comunicação do incidente deve ser à ANP, aos órgãos públicos (Corpo de Bombeiros, Polícia, Defesa Civil) e outras autoridades competentes, para rápida e efetiva resposta de cada tipo de emergência. Nos casos de Incidentes com poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, aos demais órgãos mencionados na RESOLUÇÃO CONAMA 398/2008 (RTDT, 2011).

O Programa deve ser avaliado e revisado, no mínimo, nas situações em que uma análise de risco ambiental determinar, acontecerem modificações físicas, operacionais ou organizacionais na dutovia que afetem a sua capacidade de resposta, o desempenho do programa, consequente ao seu acionamento por simulação ou emergência real, assim o recomendar e em outras situações, a critério da ANP.

O programa deve ser reavaliado e adequado, no mínimo, a cada 5 anos, e seu gerenciamento a cada 3, e o Transportador deve ser responsável pela manutenção e atualização dos dados e procedimentos necessários à sua plena operacionalização, bem como pela proposição da revisão, quando necessário, e as versões anteriores devem ser arquivadas pelo período de 5 anos, e do gerenciamento do programa, por 3 anos. (RTDT, 2011)

Para a execução eficaz do programa de resposta à emergência, são feitos exercícios simulados, a fim de avaliar o programa.

#### **4.4.1 Programa de Resposta a Emergência de Oleodutos**

O programa de resposta à emergência de oleodutos deve responder efetivamente aos seguintes casos, no mínimo: vazamento de líquidos inflamáveis ou de grande periculosidade, principalmente para líquidos altamente voláteis, que tem a propriedade de se evaporar em temperatura ambiente, passam facilmente do estado líquido para o estado de vapor ou gasoso, quando devem ser estabelecidas as precauções adicionais a serem tomadas e os métodos adequados para a avaliação das áreas de risco em função da extensão da nuvem de vapor formada; incêndio; explosão; minimização da probabilidade de ignição acidental do líquido vazado; minimização do volume de líquido vazado; contenção do vazamento e do produto vazado.

Para Incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, o Transportador deve elaborar procedimentos de emergência em conformidade com a RESOLUÇÃO CONAMA 398/2008. Para comprovação do atendimento aos requisitos estabelecidos nessa Resolução, no caso do Transportador já ter procedimentos de emergência implantados, com estrutura ou terminologia diferente, deve ser elaborada tabela explicativa indicando a correspondência entre os tópicos ou termos constantes dos seus procedimentos com os estabelecidos pela Resolução. (RTDT,2011)

#### **4.4.2 Programa de Resposta a Emergência de Gasodutos**

O programa de resposta à emergência de gasodutos deve responder efetivamente aos seguintes casos, no mínimo: vazamento de gás, principalmente quando existirem edificações na vizinhança; incêndio; explosão; minimização do volume de gás vazado; contenção do vazamento e do produto vazado.

#### **4.5 Participação das Comunidades Vizinhas**

A participação das comunidades vizinhas no desenvolvimento de projetos de proteção da faixa, na colaboração dos programas de resposta à emergência, ajuda a garantir a integridade dos dutos.

## **Capítulo 5. Considerações Finais**

Neste trabalho foi realizado o Estudo Qualitativo de Análise de Risco da faixa de duto considerando fenômenos geológico-geotécnicos do solo e subsolo, de forma que fosse possível uma análise de viabilidade de operação da linha de duto terrestre em termos de segurança ambiental.

Por meio da aplicação da metodologia de um Programa de Gerenciamento de Risco, estimaram-se os riscos associados à faixa de duto. E os possíveis cenários acidentais foram estabelecidos a partir da utilização da técnica de Análise Preliminar de Risco.

Esta análise resultou nas possíveis medidas que devem ser tomadas para o controle dos riscos na faixa de duto e mitigação das consequências, caso o acidente venha ocorrer.

Assim, o estudo permitiu mostrar a importância de todos os procedimentos do programa de gerenciamento de risco ambiental para o controle e prevenção do mesmo. E, também, o conhecimento das alterações no solo ou subsolo, motivadas por fenômenos geológicos naturais e de obras próximas, significativo para a ocorrência de incidentes na faixa de duto.

Como em todas as obras de engenharia civil, foi visto que a dutovia também se assenta sobre o terreno e inevitavelmente requer que o comportamento do solo seja devidamente considerado para sua segurança de operação.

Com este trabalho foi possível compreender que não é suficiente identificar um risco, é indispensável tentar descobrir sua causa, e assim, elaborar medidas de prevenção, executá-las e, assistir os resultados.

## Referências

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>

Acessado em: 25/03/2013.

ASMT Standard D4719, 1987, Test method for pressuremeter testing in soils. American Society for Testing and Materials.

BORYSIEWICZ, M.J. e POTEPSKI, S., Pipeline Management Systems Based On Risk Analysis. CoE MANHAZ, Institute of Atomic Energy.

BRASIL. Resolução Nº 6, de 03/02/2011, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) - aprova o Regulamento Técnico ANP nº 2/2011 - Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural (RTDT).

CAPUTO, H. P., 1988, Mecânica dos Solos e suas Aplicações - Fundamentos, Livros Técnicos e Científicos Editora, 6a edição, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental.

Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

Acessado em: 20/03/2013.

CTDUT – Centro de Tecnologia em Dutos

Disponível em: <<http://www.ctdut.org.br>>

Acessado em: 20/03/2013.

DE CICCIO, F., e FANTAZZINI, M. L., A identificação e análise de riscos. Revista Proteção - Suplemento especial n.2, Novo Hamburgo, n.28, abril, 1994.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M., 1984, Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação, Edgard Blucher, 2a edição, São Paulo, SP, Brasil.

HAMMER, W., 1972, Handbook of system and product safety, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J, United States.

HENLEY, E. J., e KUMAMOTO, H., 1981, Reliability Engineering and Risk Assessment , Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J, United States.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis.

Disponível em: <<http://www.ibp.org.br> >

Acessado em: 20/04/2013.

KOCHEN, R., Dutos e Obras Lineares – Condicionantes Geotécnicas de Projeto e Construção, GeoCompany Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente, Barueri, SP, Brasil, 2008.

MME – Ministério de Minas e Energia

Disponível em: <<http://www.mme.gov.br> >

Acessado em: 20/04/2013.

MORGADO, C. R. V.. Gerência de Riscos 1: Conceitos Básicos. Apostila. 2005.

MORGADO, C. R. V., MELO, C. H. e GUEIROS JR, J. M. S., Avaliação de Riscos para Priorização do Plano de Segurança, Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Niterói, RJ, 22-23 de Novembro de 2002.

NBR ISO 31000, 2009, Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 6122, 1996, Projeto e execução de fundações. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 6484, 2001, Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 9603, 1986, Sondagem a trado. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 9604, 1986, Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 10905, 1989, Ensaio de Palheta in situ. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 12069, 1991, Solo – Ensaio de penetração de cone in situ (CPT). ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Panoramio

Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/35889330>>

Acessado em: 20/04/2013.

PETROBRÁS

Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br>>

Acessado em: 20/04/2013.

PINTO, Carlos de Souza, 2002, Curso Básico de Mecânica dos Solos, Oficina de Textos, 2a edição, São Paulo, SP, Brasil.

RIBEIRO, G., VAZ, M. T., CAMARGO, R. F., The Right-Of-Way And The Environment: Reducing Urban And Countryside Impacts, Rio Pipeline Conference and Exposition, Rio de Janeiro, RJ, 20-22 de Setembro de 2011.

RTDT, 2011, *Regulamento Técnico ANP nº 2/2011 - Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural..*

SÁ, T. S., Análise Quantitativa de Risco Aplicada à Indústria de Gases, 2008, 199 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

TBG – Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A.

Disponível em: <<http://www.tbg.com.br> >

Acessado em: 25/05/2013.

TRANSPETRO - Petrobras Transporte S.A.

Disponível em: <<http://www.transpetro.com.br> >

Acessado em: 20/04/2013.