

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DOUTORADO EM SISTEMAS DE GESTÃO SUSTENTÁVEIS**

**CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO DE SEGURANÇA OPERACIONAL EM
DUTOS DE TRANSPORTE ATRAVÉS DA ESTRUTURAÇÃO DE UM BANCO
NACIONAL DE DADOS DE FALHAS**

Niterói
2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DOUTORADO EM SISTEMAS DE GESTÃO SUSTENTÁVEIS**

**CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO DE SEGURANÇA OPERACIONAL EM
DUTOS DE TRANSPORTE ATRAVÉS DA ESTRUTURAÇÃO DE UM BANCO
NACIONAL DE DADOS DE FALHAS**

DOUGLAS THIAGO DA SILVA ALVES

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Sistemas de Gestão Sustentáveis. Área de Concentração: Sistemas de Gestão da Sustentabilidade. Linha de Pesquisa: Apoio à Decisão em Organizações Sustentáveis.

Orientador:

Prof. Dr. Gilson Brito Alves Lima

Niterói
2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

A474c Alves, Douglas Thiago da Silva
Construção do conhecimento de segurança operacional em
dutos de transporte através da estruturação de um banco
nacional de dados de falhas / Douglas Thiago da Silva Alves ;
Gilson Brito Alves Lima, orientador. Niterói, 2021.
314 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói,
2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPSIG.2021.d.06064513667>

1. Dados de falha. 2. Duto. 3. Risco. 4. Segurança na
indústria. 5. Produção intelectual. I. Lima, Gilson Brito
Alves, orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola
de Engenharia. III. Título.

CDD -

DOUGLAS THIAGO DA SILVA ALVES

CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO DE SEGURANÇA OPERACIONAL EM DUTOS DE TRANSPORTE ATRAVÉS DA ESTRUTURAÇÃO DE UM BANCO NACIONAL DE DADOS DE FALHAS

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Sistemas de Gestão Sustentáveis. Área de Concentração: Sistemas de Gestão da Sustentabilidade. Linha de Pesquisa: Apoio à Decisão em Organizações Sustentáveis.

Aprovada em 29 de abril de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Gilson Brito Alves Lima, D.Sc. – Orientador
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Annibal Parracho Sant'Anna, PhD.
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Licínio Esmeraldo da Silva, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Luiz Octávio Gavião, D.Sc.
Escola Superior de Guerra - ESG

Prof. Theodoro Antoun Netto, PhD.
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof. Sérgio Barros da Cunha, PhD.
Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Comunidade Brasileira de Dutos e aos diversos públicos de interesse envolvidos na atividade dutoviária no Brasil. O mesmo consiste em uma singela contribuição para o atingimento do objetivo de se estabelecer um banco de dados de falhas em nosso país, ferramenta importante para o fortalecimento dos pilares da segurança e do gerenciamento dos riscos associados à operação dos dutos de transporte existentes e a serem futuramente construídos no território nacional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e ao apoio incondicional da minha esposa Bia durante todo o período em que este trabalho foi desenvolvido, bem como ao incentivo e ao suporte dos demais membros da minha família (minha mãe Fátima e meu pai José – *in memoriam*, meus irmãos Rodrigo e Diogo, meus sogros Fátima e Paulo, e outros familiares mais próximos).

Agradeço também ao meu orientador Prof. Gilson por todos os ensinamentos, pela disponibilidade e pelo suporte para o desenvolvimento desta tese. Tenho-o como um grande mestre, detentor de uma postura profissional exemplar e exímio conhecedor no campo da Análise e Gerenciamento de Riscos e Confiabilidade.

Aos meus gerentes Edir e Luiz Paulo, pelo incentivo e pela compreensão no que tange o desafio de se conciliar o trabalho e os estudos.

Aos membros da banca pelo tempo dedicado na leitura prévia da tese, na elaboração dos comentários e na exposição dos mesmos durante a defesa. Indiscutivelmente as sugestões apresentadas contribuíram sobremaneira para o aprimoramento do presente trabalho.

A todos os colegas, da Petrobras e de outras instituições, que contribuíram direta ou indiretamente para que esta tese pudesse ser elaborada. Destaco a participação de Ana Paula Bahiense, Ana Paula de Souza, Alexandre Glitz, Edmilson Silva, Erica Vanessa, Leopoldine Frioni, Osimar Simião, Rafael Paes, Ramon Loback, Tiago Novo e Vicente Thiago, os quais suportaram a elaboração do questionário de pesquisa durante a etapa do teste piloto.

Aos colegas da Transpetro Ildemar Nunes, pela confiança mediante a autorização da utilização de dados técnicos desta operadora neste trabalho; e Reinaldo Neves, que auxiliou no entendimento e no tratamento destes dados.

E também aos colegas Marcelino Guedes (PIPELINEBRAZIL), Eduardo Mamede (ATGAS) e André França (CTDUT) por acreditarem no valor deste trabalho, incentivarem a realização do mesmo e promoverem a divulgação do questionário de pesquisa.

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo”.
Nelson Mandela

“Seja impetuoso, um livre-pensador, supere suas limitações”.
Friedrich Wilhelm Nietzsche

RESUMO

Atualmente, o modal dutoviário é considerado imprescindível para o transporte de hidrocarbonetos e outros produtos perigosos nas quantidades e distâncias necessárias de forma econômica e segura. As empresas operadoras em particular asseguram um alto nível de segurança de seus dutos investindo grande quantidade de esforço e de recursos na prevenção de acidentes, em estratégias de mitigação dos seus impactos (tais como procedimentos eficientes de contingência) e também na confiabilidade de seus sistemas operacionais durante todo o ciclo de vida de seus ativos. Entretanto, a atividade dutoviária, tanto no Brasil quanto no exterior, vem sendo frequentemente solicitada a demonstrar a sua performance em segurança relacionada às suas atividades tanto por parte de órgãos ambientais e reguladores, quanto também por parte da sociedade, considerando tanto os ativos já em operação como também aqueles que ainda serão construídos (novos dutos). Neste contexto, a coleta organizada e padronizada de dados relacionados a eventos de falha em dutos, tais como os respectivos mecanismos de falha e suas consequências, bem como dados pertinentes e específicos dos ativos e de suas operações, é imprescindível para fomentar o processo de construção do conhecimento relacionado a este tema. Assim sendo, este documento tem como objetivo a proposição de uma pesquisa interdisciplinar para suportar a elaboração de um Banco Nacional de Dados de falhas, especificamente direcionado para a área de dutos de transporte terrestre de hidrocarbonetos (gasodutos e oleodutos), com vistas a oferecer subsídios para o aprimoramento do gerenciamento de riscos desta atividade industrial, evidenciar valores a serem agregados por este tipo de ferramenta relacionados à segurança operacional, além de permitir a reflexão acerca dos seus benefícios. Através do levantamento do estado da técnica referente aos diversos *benchmarks* existentes atualmente no mundo para coleta e tratamento de dados desta natureza e para este tipo de ativo, realizou-se uma pesquisa (*survey*) junto à comunidade brasileira de dutos composta por especialistas de diversas disciplinas, de forma a estabelecer previamente uma taxonomia de coleta apropriada e outros parâmetros relevantes para a futura estruturação do Banco de Dados em questão, e que reflitam o contexto atual da atividade dutoviária brasileira. Adicionalmente, de posse dos resultados da pesquisa, a construção de um diagrama bowtie explicitando causas, consequências, controles de prevenção e de mitigação associados a eventos de falhas em dutos, além da obtenção e posterior tratamento de dados históricos de falhas junto a uma operadora brasileira de dutos permitiu demonstrar que os mesmos possuem aplicabilidade prática e podem ser utilizados para os propósitos delineados pelos objetivos deste trabalho. Entende-se, por fim, que esta tese poderá contribuir para a ampliação do olhar da comunidade acadêmica sobre o desafio de compreender a geração de conhecimento e de valor relacionados à segurança na operação de dutos de transporte no Brasil, segundo uma abordagem mais moderna, tecnológica e eficiente.

Palavras-Chave: Banco de Dados de Falhas, Segurança de Processo, Acidentes em Dutos, Perda de Contenção, Gestão de Riscos Operacionais

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Localização de oleodutos (a) e gasodutos (b) no mapa do Brasil..... | 19 |
| Figura 2 - Diagrama de Jantsch para a pesquisa interdisciplinar proposta..... | 28 |
| Figura 3 – Principais etapas elaboradas durante a realização do trabalho..... | 30 |
| Figura 4 – Mapa da Literatura – Segurança de Processos e Bancos de Dados de Falha..... | 33 |
| Figura 5 - Histórico de grandes acidentes da indústria, normas e regulamentos..... | 36 |
| Figura 6 – Evolução das Estratégias de Gestão de Segurança de Processos..... | 41 |
| Figura 7 – Evolução de conceitos importantes para a Segurança de Processos..... | 44 |
| Figura 8 – Evolução de Elementos de Segurança de Processos - lições aprendidas..... | 44 |
| Figura 9 – Elementos e Pilares propostos pelo Sistema de Gestão de Segurança de Processos do CCPS..... | 46 |
| Figura 10 – Diagrama Bowtie..... | 48 |
| Figura 11 – Abordagem proposta pelo CCPS /API baseada no conceito e Tiers..... | 51 |
| Figura 12 – Hierarquia de Camadas de Proteção proposta pelo CCPS..... | 51 |
| Figura 13 – Metáfora do Queijo Suíço..... | 52 |
| Figura 14 – Indicadores Reativos e Proativos aplicados a Sistemas de Controle de Risco..... | 53 |
| Figura 15 – Filosofia da “Dupla Checagem” baseada em indicadores reativos e proativos..... | 54 |
| Figura 16 – Estrutura da metodologia de pesquisa aplicada..... | 69 |
| Figura 17 – Fluxo de informação apresentando as fases de uma revisão sistemática..... | 72 |
| Figura 18 – Fluxo proposto para obtenção do Questionário da Pesquisa de Campo..... | 81 |
| Figura 19 – Esquemático representando o objeto de pesquisa e as hipóteses a serem estudadas..... | 83 |
| Figura 20 – Fluxo PRISMA aplicado à revisão sistemática da literatura..... | 92 |
| Figura 21 – Escopo adotado por cada banco de dados..... | 112 |
| Figura 22 – Exposição da malha europeia de gasodutos ao longo do tempo distribuída por classes de ano de construção..... | 112 |
| Figura 23 – Escala tipo <i>Likert</i> proposta para avaliação das perguntas pelos futuros respondentes da pesquisa..... | 119 |
| Figura 24 – Evolução das respostas ao questionário em base semanal..... | 123 |
| Figura 25 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Tipo de Instituição..... | 124 |
| Figura 26 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Tipo de Experiência..... | 125 |
| Figura 27 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Área de Atuação..... | 126 |
| Figura 28 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Grau de conhecimento sobre as disciplinas segurança / riscos / integridade..... | 127 |
| Figura 29 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Conhecimento dos <i>Benchmarks</i> Internacionais..... | 128 |
| Figura 30 – Gráficos para as categorias de causa e respectivos tipos específicos associados à corrosão e defeitos de material..... | 134 |
| Figura 31 – Gráficos para tipos específicos de causas associados à equipamentos, interferência externa, operação e forças da natureza..... | 135 |
| Figura 32 – Gráficos para temas relacionados às consequências do evento: modo de falha e impacto a pessoas e patrimônio..... | 138 |

| | |
|--|-----|
| Figura 33 – Gráficos para temas relacionados às consequências do evento: impactos ao meio ambiente e financeiro. | 139 |
| Figura 34 – Gráficos referentes a características físicas/de projeto do duto no local do vazamento e dados temporais/geográficos. | 141 |
| Figura 35 – Gráficos referentes a variáveis operacionais, medidas de prevenção/mitigação e detecção. | 142 |
| Figura 36 – Gráficos para os fatores temáticos associados à dimensão “malha dutoviária”. | 145 |
| Figura 37 – Manutenção e implementação do banco de dados de falhas. | 147 |
| Figura 38 – Publicidade / sigilo de dados e estatísticas. | 148 |
| Figura 39 – Manutenção e implementação do banco de dados de falhas. | 149 |
| Figura 40 – Critério de reporte para eventos de falha em gasodutos..... | 149 |
| Figura 41 – Critério de reporte para eventos de falha em gasodutos..... | 150 |
| Figura 42 – Gráficos “ <i>boxplot</i> ” para as dimensões “Eventos” e “Consequências”. | 154 |
| Figura 43 – Gráficos “ <i>boxplot</i> ” para o fator temático “Características do local” pertencente à dimensão “Eventos”. | 155 |
| Figura 44 – Gráfico “ <i>boxplot</i> ” para a dimensão “Malha dutoviária”..... | 156 |
| Figura 45 – Árvore de categorias e subcategorias de causa para eventos de falha em dutos terrestres. | 164 |
| Figura 46 – Versão preliminar do Bowtie – Ameaças, Consequências e Evento Topo. | 169 |
| Figura 47 – Versão final do Bowtie – Ameaças, Consequências, Evento Topo e Barreiras de Prevenção / Mitigação. | 172 |
| Figura 48 – Fatores de degradação e respectivos controles aplicáveis a todas as barreiras do Bowtie. | 173 |
| Figura 49 – Malha dutoviária alvo de estudo - Oleodutos. | 175 |
| Figura 50 – Quantitativo anual de eventos – Período entre 1978 e 2008. | 176 |
| Figura 51 – Distribuição de falhas para a malha de oleodutos em estudo – Período entre 1978 e 2008. | 178 |
| Figura 52 – Distribuição de falhas para a malha de oleodutos em estudo – Período entre 1999 e 2008. | 179 |
| Figura 53 – Quantitativo de falhas específicas – Período entre 1978 e 2008. | 179 |
| Figura 54 – Evolução anual do comprimento total da malha dutoviária. | 180 |
| Figura 55 – Exposição da malha dutoviária segregada por tipo de produto transportado. | 181 |
| Figura 56 – Exposição da malha dutoviária segregada por classe de diâmetro. | 182 |
| Figura 57 – Exposição da malha dutoviária segregada por ano de construção. | 183 |
| Figura 58 – Evolução da exposição acumulada ao longo do tempo. | 183 |
| Figura 59 – Taxa de falha média acumulada. | 185 |
| Figura 60 – Média móvel da taxa de falha considerando um intervalo de 5 anos..... | 185 |
| Figura 61 – Taxa de falha anual (pontual). | 186 |
| Figura 62 – Comparação das taxas de falha anual, média acumulada e média dos últimos 5 anos. | 187 |
| Figura 63 – Taxa de falha média para cada causa de falha. | 188 |
| Figura C.1 – Carta de apresentação do pesquisador no início do formulário no formato do Google Forms. | 233 |

| | |
|---|-----|
| Figura C.2 – Primeira página do formulário piloto no formato do Google Forms. | 234 |
| Figura D.1 – Carta de apresentação do pesquisador no início do questionário de pesquisa no formato do <i>Google Forms</i> | 245 |
| Figura D.2 – Primeira página do questionário de pesquisa no formato do <i>Google Forms</i> | 246 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Os vinte países com maiores malhas dutoviárias em extensão. | 18 |
| Tabela 2 - Grandes acidentes de segurança de processo ocorridos na indústria. | 38 |
| Tabela 3 - Principais normas e regulamentos internacionais publicados em resposta a grandes acidentes. | 39 |
| Tabela 4 - Principais resoluções e regulamentos publicados no Brasil pela ANP. | 40 |
| Tabela 5 – Correlação entre Práticas de Gestão da ANP e Elementos do CCPS. | 47 |
| Tabela 6 – Indicadores de Segurança de Processos – Levantamento. | 55 |
| Tabela 7 – Levantamento dos Bancos de Dados de Falha em Dutos. | 57 |
| Tabela 8 – Etapas propostas para realização da pesquisa. | 70 |
| Tabela 9 – Informações específicas da investigação sistematizada. | 74 |
| Tabela 10 – Correlação entre as técnicas de coleta de dados propostas e os respectivos objetivos e questões de pesquisa a serem atendidos. | 77 |
| Tabela 11 – Modelo utilizado para elaboração do Instrumento Temático. | 80 |
| Tabela 12 – Hipóteses a serem testadas na pesquisa. | 83 |
| Tabela 13 – Quadro referencial teórico - documentos elencados durante a revisão bibliográfica. | 93 |
| Tabela 14 – Frequência de citações dos <i>benchmarks</i> nos artigos resultantes da etapa de seleção. . | 95 |
| Tabela 15 – Dimensões de análise e fatores temáticos abordados. | 98 |
| Tabela 16 – Variáveis identificadas para o fator temático “Causas”. | 100 |
| Tabela 17 – Variáveis identificadas para o fator temático “Consequências”. | 102 |
| Tabela 18 – Distribuição de tamanho de furos adotadas pelos benchmarks. | 105 |
| Tabela 19 – Variáveis identificadas para o fator temático “Características do Local”. | 106 |
| Tabela 20 – Variáveis identificadas para a dimensão “Malha dutoviária ”. | 110 |
| Tabela 21 – Mapeamento das variáveis que influenciam a taxa de falha específica para cada categoria de causa. | 114 |
| Tabela 22 – Variáveis identificadas para a dimensão “Gestão”. | 116 |
| Tabela 23 – Participantes da primeira etapa do teste piloto”. | 118 |
| Tabela 24 – Principais contribuições obtidas na primeira etapa do teste piloto”. | 120 |
| Tabela 25 – Participantes adicionados à segunda etapa do teste piloto”. | 120 |
| Tabela 26 – Principais contribuições obtidas na segunda etapa do teste piloto”. | 122 |
| Tabela 27 – Valores calculados de Alfa de Cronbach. | 131 |
| Tabela 28 – Resultados da pesquisa de campo obtidos para a dimensão “Gestão”. | 150 |
| Tabela 29 – Resultados dos testes para variáveis que apresentaram divergências. | 152 |
| Tabela 30 – Dimensões de análise e fatores temáticos abordados. | 157 |
| Tabela 31 – Coeficientes de Spearman e p-valores para ambas as estratégias. | 158 |
| Tabela 32 – Principais resultados dos testes de hipótese. | 159 |
| Tabela 33 – Premissas adotadas para os testes de Lawshe. | 160 |
| Tabela 34 – Variáveis selecionadas como obrigatórias para composição do banco de dados de falhas em dutos terrestres. | 165 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 35 – Comparação das taxas de falha para o ano de 2008. | 189 |
| Tabela A.1 – Dados referentes aos formulários de coleta - CONCAWE e UKOPA. | 204 |
| Tabela B.1 – Instrumento Temático - Dimensão “Eventos”. | 212 |
| Tabela B.2 – Instrumento Temático - Dimensão “Malha dutoviária”. | 220 |
| Tabela B.3 – Variáveis identificadas através do levantamento da literatura – Dimensão “Gestão” ... | 222 |
| Tabela C.1 – Carta de apresentação enviada na primeira etapa do teste piloto. | 225 |
| Tabela C.2 – Conteúdo adicionado ao “Formulário Piloto”. | 226 |
| Tabela D.1 – Carta de apresentação enviada juntamente com o questionário de pesquisa. | 235 |
| Tabela D.2 – Conteúdo adicionado ao questionário de pesquisa. | 236 |
| Tabela E.1 – Codificação das perguntas e respectivas variáveis do questionário de pesquisa. | 247 |
| Tabela E.2 – Codificação das respostas do questionário de pesquisa. | 250 |
| Tabela F.1 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Fator Temático “Causas”. | 255 |
| Tabela F.2 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Fator Temático “Características do Local” | 256 |
| Tabela F.3 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Fator Temático “Consequências”. | 257 |
| Tabela F.4 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Dimensão “Malha Dutoviária” | 258 |
| Tabela G.1 – Codificação das categorias de respondentes utilizada nos testes. | 259 |
| Tabela G.2 – Frequência de ocorrência das variáveis na literatura e respectivos postos. | 260 |
| Tabela G.3 – Moda das respostas dos participantes e respectivos postos. | 263 |
| Tabela I.1 – Controles propostos pelo UKOPA (2014) para gestão de riscos na operação de dutos terrestres. | 296 |
| Tabela I.2 – Barreiras de prevenção propostas para cada ameaça do Bowtie. | 300 |
| Tabela I.3 – Barreiras de mitigação propostas para cada consequência do Bowtie. | 302 |
| Tabela J.1 – Histórico de falhas da malha São Paulo de oleodutos. | 303 |
| Tabela J.2 – Dados referentes aos dutos da malha São Paulo utilizados para cálculo da exposição. | 308 |
| Tabela J.3 – Dados referentes aos formulários de coleta - CONCAWE e UKOPA. | 311 |
| Tabela J.4 – Intervalos de confiança calculados para a taxa de falha em 2008. | 313 |

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA..... | 15 |
| 1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO | 16 |
| 1.3 SITUAÇÃO-PROBLEMA DA PESQUISA | 17 |
| 1.4 OBJETIVOS | 21 |
| 1.5 QUESTÕES DE PESQUISA | 22 |
| 1.6 DELIMITAÇÃO | 23 |
| 1.7 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA | 24 |
| 1.8 ORIGINALIDADE E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA DA PESQUISA | 25 |
| 1.9 ASPECTOS DA INTERDISCIPLINARIDADE DA PESQUISA..... | 26 |
| 1.10 ESTRUTURA DA PESQUISA | 29 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 33 |
| 2.1 SEGURANÇA DE PROCESSO | 34 |
| 2.2 EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA DE PROCESSO | 41 |
| 2.3 SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS..... | 43 |
| 2.4 MÉTRICAS | 45 |
| 2.4.1 Indicadores – Proposta CCPS..... | 50 |
| 2.4.2 Indicadores – Proposta HSE | 51 |
| 2.5 ESTABELECIMENTO DO ESTADO DA TÉCNICA | 56 |
| 2.5.1 CER – <i>Canadian Energy Regulator</i> | 57 |
| 2.5.2 DOT – <i>Department of Transportation</i> | 58 |
| 2.5.3 EGIG – <i>European Gas Pipeline Incident Data Group</i> | 60 |
| 2.5.4 CONCAWE – <i>Environmental Science for European Refining</i> | 61 |
| 2.5.5 UKOPA – <i>United Kingdom Onshore Pipeline Operators’ Association</i> | 63 |
| 2.5.6 APIA – <i>Australian Pipeline Industry Association</i> | 64 |
| 2.5.7 NOSDRA – <i>National Oil Spill Detection & Response Agency</i> | 66 |
| 3. METODOLOGIA DA PESQUISA | 69 |
| 3.1 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA..... | 69 |
| 3.1.1 Tipo de Pesquisa | 69 |
| 3.1.2 Campo da pesquisa..... | 70 |
| 3.2 MÉTODO DA PESQUISA | 70 |
| 3.2.1 Revisão sistemática da literatura | 72 |
| 3.3 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS | 77 |
| 3.4 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA | 78 |
| 3.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA DE CAMPO | 80 |
| 3.5.1 Teste Piloto | 80 |
| 3.5.2 Ferramenta de Pesquisa | 81 |
| 3.5.3 Características da população e critérios de seleção..... | 82 |
| 3.5.4 Hipóteses testadas..... | 82 |
| 3.6 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS | 83 |
| 3.6.1 Coeficiente Alfa de Cronbach | 84 |
| 3.6.2 Teste de Kruskal-Wallis e Teste de Dunn | 85 |
| 3.6.3 Coeficiente de Correlação de Spearman | 86 |
| 3.6.4 Teste de Lawshe..... | 88 |
| 4. RESULTADOS PARTE 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA | 90 |
| 4.1 QUADRO REFERENCIAL TEÓRICO..... | 90 |
| 4.1.1 Tendências temporais e de abrangência..... | 94 |
| 4.1.2 Outras referências a bancos de dados de falhas em dutos | 96 |
| 4.2 INSTRUMENTO TEMÁTICO | 97 |
| 4.2.1 Dimensão “Eventos” | 98 |
| 4.2.2 Dimensão “Malha dutoviária” | 109 |
| 4.2.3 Dimensão “Gestão” | 115 |
| 4.3 QUESTIONÁRIO DE PESQUISA | 117 |
| 4.3.1 Resultados do teste piloto | 118 |
| 5. RESULTADOS PARTE 2 – PESQUISA DE CAMPO | 123 |
| 5.1 PERFIL DOS ENTREVISTADOS NA PESQUISA | 124 |

| | | |
|-------|---|------------|
| 5.2 | AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DO QUESTIONÁRIO..... | 128 |
| 5.3 | CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO | 132 |
| 5.3.1 | Dimensão “Eventos” | 132 |
| 5.3.2 | Dimensão “Malha dutoviária” | 144 |
| 5.3.3 | Dimensão Gestão | 146 |
| 5.4 | TESTES DE HIPÓTESES | 151 |
| 5.4.1 | Teste de hipótese 1: Tempo de experiência | 151 |
| 5.4.2 | Teste de hipótese 2: Tipo de instituição para a dimensão “Gestão” | 156 |
| 5.4.3 | Teste de hipótese 3: Correlação | 157 |
| 5.5 | SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA FORMULÁRIO DE COLETA DE DADOS | 159 |
| 6. | DIAGRAMA BOWTIE PARA GESTÃO DE RISCOS NA OPERAÇÃO DE DUTOS TERRESTRES 168 | |
| 6.1 | EVENTO TOPO, AMEAÇAS E CONSEQUÊNCIAS | 168 |
| 6.2 | BARREIRAS DE PREVENÇÃO E DE MITIGAÇÃO | 170 |
| 7. | DADOS DE FALHA DA MALHA DUTOVIÁRIA BRASILEIRA | 174 |
| 7.1 | ESTATÍSTICAS RELACIONADAS AOS EVENTOS DE FALHA | 176 |
| 7.2 | ESTATÍSTICAS RELACIONADAS À MALHA DUTOVIÁRIA | 180 |
| 7.3 | CÁLCULO DAS TAXAS DE FALHA..... | 184 |
| 8. | CONCLUSÕES E PRÓXIMOS TRABALHOS | 191 |
| 8.1 | TRABALHOS FUTUROS | 193 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 195 |
| | APÊNDICE A – DOCUMENTOS RECEBIDOS POR EMAIL | 204 |
| | APÊNDICE B – INSTRUMENTO TEMÁTICO | 212 |
| | APÊNDICE C – FORMULÁRIO PILOTO | 224 |
| | APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE PESQUISA..... | 235 |
| | APÊNDICE E – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA | 247 |
| | APÊNDICE F – ESTATÍSTICAS REFERENTES AOS RESULTADOS DA PESQUISA | 254 |
| | APÊNDICE G – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS SOFTWARES | 259 |
| | APÊNDICE H – FORMULÁRIOS PARA COLETA DE DADOS | 289 |
| | APÊNDICE I – CONTROLES PARA GESTÃO DE RISCOS NA OPERAÇÃO DE DUTOS TERRESTRES | 296 |
| | APÊNDICE J – HISTÓRICO DE FALHAS - OLEODUTOS..... | 303 |

1. INTRODUÇÃO

O primeiro capítulo do presente documento visa a apresentação do tema desenvolvido na tese e os aspectos relacionados à mesma através da seguinte itemização: definição do problema de pesquisa (seção 1.1); contextualização do tema (seção 1.2); a situação-problema da pesquisa (seção 1.3); os objetivos gerais e específicos (seção 1.4); as questões e hipóteses inerentes à pesquisa (seção 1.5); a delimitação (seção 1.6); a justificativa (seção 1.7); a originalidade e contribuição científica (seção 1.8); os aspectos de interdisciplinaridade da pesquisa (seção 1.9); e finalmente a sua organização e estruturação (seção 1.10).

1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

A preocupação com o tema de segurança relacionado à realização de atividades industriais associadas ao transporte, ao armazenamento, à manipulação e ao processamento de produtos perigosos no Brasil por parte dos órgãos ambientais remonta à década de 80, com a publicação em 1986 da Resolução no 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986). Este documento tornou obrigatória, dentro dos processos de licenciamento ambiental, a elaboração de Análises Quantitativas de Risco (AQR) (comumente denominados como Estudos de Análise de Riscos (EAR)) para instalações as quais apresentem potencial de causar danos extramuros às comunidades vizinhas e ao meio ambiente (encaixando-se neste contexto os dutos de transporte de hidrocarbonetos). Isto permitiu, portanto, que a questão relacionada à prevenção de acidentes maiores passasse a ser contemplada nos processos de licenciamento no Brasil, seja em nível municipal, estadual ou federal.

Aderente a este movimento, o fortalecimento da cultura de segurança por parte dos órgãos reguladores, principalmente pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e especificamente para dutos de transporte de hidrocarbonetos em operação e a serem construídos no país, tem como principal marco a Resolução nº 6 de 03/02/2011, a qual aprovou o Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural – RTDT (ANP, 2011), relativos aos oleodutos e gasodutos autorizados ou concedidos a operar por esta agência.

Além de fundamental para os negócios das empresas operadoras, a gestão adequada dos riscos operacionais associados à atividade dutoviária constitui um fator determinante na prevenção ou mitigação das consequências de eventuais incidentes que possam causar danos às pessoas envolvidas ou não com a sua operação, ao patrimônio das instalações ou do público em geral e ao meio ambiente, além de contribuir para a preservação da imagem e reputação destas empresas e para a minimização de prejuízos advindos de eventos indesejados. Além disso, a gestão da segurança operacional também representa um fator essencial para a confiabilidade do suprimento nacional de petróleo, derivados e gás natural (ANP, 2011).

Neste âmbito, e tendo em vista o universo delimitado pelas malhas de oleodutos e gasodutos que movimentam derivados de petróleo e gás entre as diversas instalações logísticas do país, e que muitas vezes atravessam regiões densamente povoadas e ou que apresentam ecossistemas sensíveis, entende-se que a criação de um Banco de Dados de Falhas para este tipo de ativo se torna imprescindível para o fortalecimento dos pilares da segurança dos processos e do gerenciamento de riscos operacionais das operadoras de dutos no Brasil. Este tema se torna ainda mais importante quando se considera a questão recente de furto de derivados e de óleo cru através de derivações clandestinas nos dutos, problema este que, apesar de não ocorrer exclusivamente no país, tem o potencial de contribuir significativamente para o aumento dos riscos associados à atividade dutoviária.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Dados estatísticos disponíveis em diversas fontes internacionais indicam que dutos representam o modal de transporte de hidrocarbonetos e outros produtos perigosos inerentemente mais seguro quando comparado a outras opções, a exemplo do rodoviário, ferroviário, etc. As empresas operadoras em particular asseguram um alto nível de segurança de seus dutos investindo grande quantidade de esforço e de recursos na prevenção de acidentes, em procedimentos eficientes de contingência, em proteção ambiental e em confiabilidade de seus sistemas operacionais durante todo o ciclo de vida de seus ativos.

Entretanto, a indústria de operação de dutos, tanto no Brasil quanto no exterior, vem sendo frequentemente solicitada a demonstrar a sua performance em segurança

relacionada às suas atividades tanto por parte de órgãos ambientais e reguladores, quanto também por parte da sociedade, considerando os ativos já em operação e também aqueles que ainda serão construídos (novos dutos). Tais solicitações estão fundamentadas na comunicação mais aberta e detalhada entre operadores de dutos e os demais *stakeholders* envolvidos.

Neste contexto, a coleta organizada e padronizada de dados relacionados a eventos de falha em dutos, tais como os respectivos mecanismos de falha e suas consequências, bem como dados pertinentes e específicos dos ativos e de suas operações, é imprescindível para fomentar o processo de construção do conhecimento relacionado a este tema, de forma a gerar informações consistentes tanto para atender às solicitações dos *stakeholders* citadas acima quanto para subsidiar o gerenciamento de risco dos dutos pelas operadoras, suportando por fim as tomadas de decisão.

Para tanto, a obtenção de tais dados e informações relacionadas às falhas em dutos só é possível mediante o envolvimento de diferentes especialistas dentro de uma dada empresa operadora, uma vez que diferentes disciplinas e áreas do conhecimento estão envolvidas quando da ocorrência de eventos desta natureza. Adicionalmente, o uso de metodologias apropriadas para tratamento de tais dados, além do estabelecimento de uma padronização apropriada deste processo de coleta, é primordial no estabelecimento de parâmetros referentes à performance de segurança operacional para fins de reporte aos *stakeholders*, além de permitir que estas informações possam ser futuramente comparadas àquelas que são disponibilizadas por *benchmarks* internacionais.

1.3 SITUAÇÃO-PROBLEMA DA PESQUISA

Apesar da origem do princípio da utilização de dutos para transporte de fluidos remontar às civilizações antigas (FINK, 2016), como água no Império Romano (tubulações de chumbo) em cerca de 500 a.c. e na China (linhas de bambu) nos anos 400 a.c., apenas a partir do século XIX estas estruturas passaram a ser empregadas para a transferência de hidrocarbonetos em maior escala.

Inicialmente no estado da Pennsylvania, nos Estados Unidos, onde o primeiro duto para fins práticos foi construído pelo empreendedor e cientista Edwin Drake

(MENON, 2015), a utilização deste tipo de ativo para interligação de instalações da área de óleo e gás passou de dezenas de quilômetros para centenas de milhares ao redor de todo o mundo em um espaço de tempo de menos de dois séculos.

Segundo Hopkins (2003), 60% do combustível primário consumido atualmente advêm do petróleo e do gás natural, sendo a maioria deste percentual transportada através de dutos. Grande parte destes é classificada como dutos de transporte (*transmission lines*) e, apesar de os mesmos não estarem usualmente a vista do público em geral por serem construídos na grande maioria das vezes enterrados ou submersos, eles representam verdadeiras “artérias” dos sistemas de transferência de óleo, gás e seus derivados.

Os dutos usualmente possuem grandes diâmetros (os maiores chegam a atingir de 50 a 60 polegadas) e operam a altas pressões e vazões, otimizando a operação de transferência dos fluidos transportados. Normalmente são projetados, construídos e operados tendo como subsídios normas técnicas e regulamentos bem estabelecidos, uma vez que tais substâncias podem representar, em caso de eventual vazamento, um risco significativo para as populações que vivem nas suas vizinhanças e também para o meio ambiente.

De acordo com o World Atlas (2019), atualmente o mundo possui mais de 2,2 milhões de quilômetros de dutos em extensão distribuídos em 120 países. Os Estados Unidos lideram esta lista com uma participação de 65% do total deste número, seguido pela Rússia com 8% e pelo Canadá com 3% (os quais, juntos, totalizam 76%). Neste âmbito, a Tabela 1.1 a seguir traz os vinte países que possuem as malhas dutoviárias mais significativas ao redor do globo e as suas respectivas extensões.

Tabela 1: Os vinte países com maiores malhas dutoviárias em extensão.
Fonte: World Atlas (2019).

| # | País | Extensão (km) | # | País | Extensão (km) |
|---|----------------|---------------|----|-----------|---------------|
| 1 | Estados Unidos | 2.225.032 | 11 | Austrália | 34.612 |
| 2 | Rússia | 259.913 | 12 | Alemanha | 34.335 |
| 3 | Canadá | 100.000 | 13 | Argélia | 29.642 |
| 4 | China | 86.921 | 14 | Brasil | 27.468 |

| | | | | | |
|----|-------------|--------|----|-------------|--------|
| 5 | Ucrânia | 45.597 | 15 | Cazaquistão | 26.963 |
| 6 | Argentina | 39.850 | 16 | França | 23.345 |
| 7 | Reino Unido | 39.778 | 17 | Itália | 23.190 |
| 8 | Irã | 38.906 | 18 | Indonésia | 21.704 |
| 9 | Índia | 35.676 | 19 | Hungria | 20.877 |
| 10 | México | 37.008 | 20 | Polônia | 16.349 |

Como se nota, com exceção dos três países anteriormente destacados, a extensão da malha dutoviária brasileira possui uma ordem de grandeza significativa quando comparada às demais nações da lista, apesar de ser considerada relativamente modesta quando analisada a porcentagem do território brasileiro que é suprida pela mesma e o seu potencial de crescimento. Segundo Gomes (2009), alguns fatores contribuíram para este fato, dentre eles a concentração histórica da população ao longo da costa e, conseqüentemente, a construção de refinarias e terminais junto a estes grandes centros; o uso de outros modais de transporte como a cabotagem; a definição estratégica governamental de investimentos em hidrelétricas; e as reservas de petróleo se localizarem em sua grande maioria também junto à costa. A localização dos dutos terrestres no mapa é evidenciada na Figura 1.

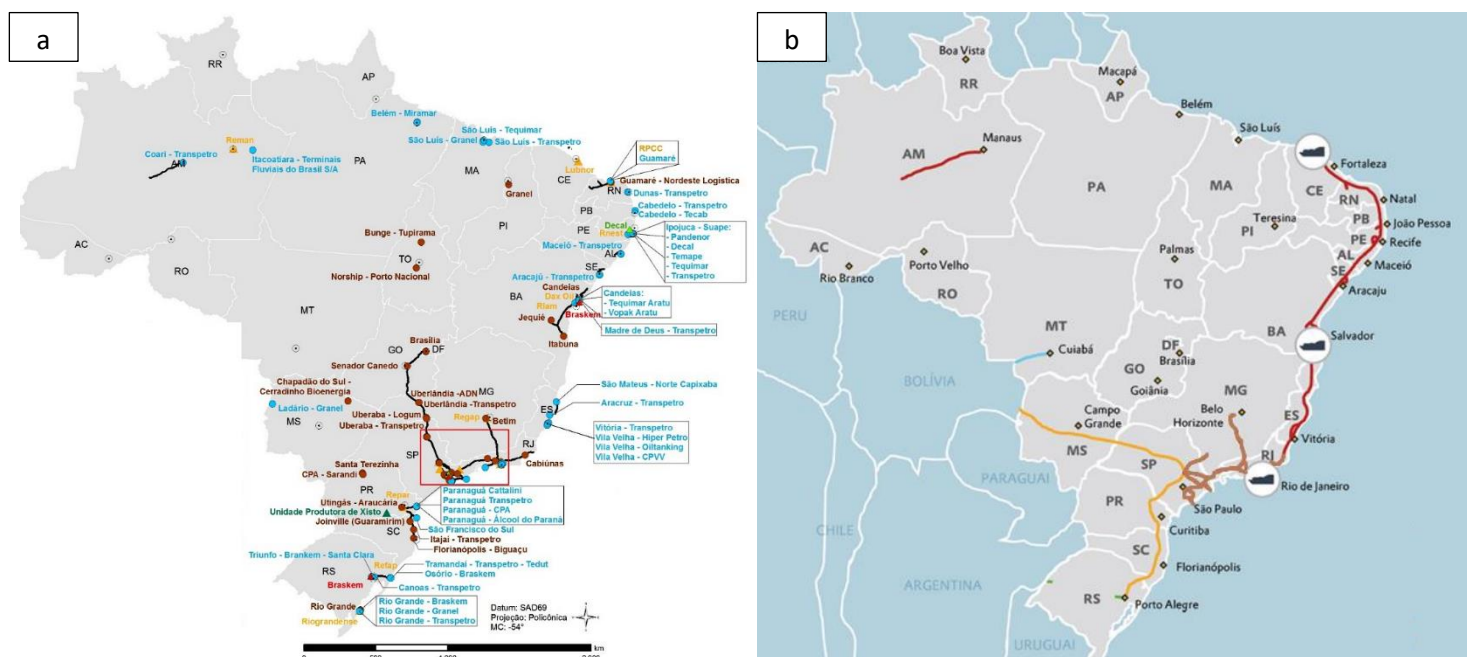


Figura 1 – Localização de oleodutos (a) e gasodutos (b) no mapa do Brasil.
Fonte: TRANSPETRO.

Mesmo que boa parte da extensão da malha de dutos brasileira passe por áreas rurais, uma parte significativa atravessa regiões densamente povoadas que compõem os grandes centros urbanos do país (como é o caso da região metropolitana de São Paulo e do Rio de Janeiro), bem como ecossistemas extremamente sensíveis e vulneráveis aos produtos transportados e consideradas Unidades de Conservação protegidas por lei, tais como Parques Nacionais, Reservas Biológicas, Áreas de Proteção Ambiental, etc.

Alguns acidentes registrados pela CETESB (2019) no Estado de São Paulo evidenciam a relevância do tema, tais como os ocorridos em Vila Socó (vazamento de 1.200 m³ de gasolina provocando dezenas de fatalidades) e em Bertioga (vazamento de 2.500 m³ petróleo com consequente impacto ambiental na Baixada Santista) em 1983; em São Sebastião (2.700 m³ de petróleo com consequente impacto ambiental no litoral norte) em 1994; e em Tamboré (liberação de 200 m³ de óleo combustível no interior de um condomínio de luxo) e em Barueri (liberação de 680 toneladas de GLP, colocando em risco a vida de inúmeras pessoas), na grande São Paulo, no ano de 2001. Outros dois acidentes pontuados por Braga *et al.* (2009), ocorridos no Rio de Janeiro (derramamento de cerca de 1.300 m³ de petróleo na Baía de Guanabara) e no Paraná (fuga de 4.000 m³ de petróleo no Rio Iguaçu) no ano 2000 reforçam este posicionamento.

Adicionalmente a estes exemplos de eventos históricos, recentemente tanto no Brasil como em diversas outras nações do mundo, tais como México, Nigéria, Colômbia e também países da União Europeia (FANDRICH, 2019), a ocorrência de furto de combustível por meio de derivações clandestinas provocadas por ações intencionais de terceiros configura como uma ameaça bastante relevante à segurança operacional da malha dutoviária nacional.

Conforme De Paula (2019), de acordo com informações da Transpetro, em 2017 foram registradas 227 tentativas de roubo de combustível, enquanto que em 2018, esse número subiu para 261. Subsidiária da Petrobras, esta empresa opera mais de 7.500 quilômetros de oleodutos no país. Informações provenientes dos dados coletados a respeito de tais eventos certamente tem o potencial de gerar conhecimento relevante para estabelecimento de ações de mitigação para esta questão e, conseqüentemente, para o gerenciamento dos riscos associados.

1.4 OBJETIVOS

A presente pesquisa tem como objetivo geral a construção do conhecimento de segurança mediante a proposição de um Banco de Dados de falhas para suporte à decisão na área de Gestão de Riscos, aplicável à atividade dutoviária de transporte terrestre de hidrocarbonetos e que possa ser implementado por operadoras de dutos no Brasil.

Neste contexto, são delineados alguns objetivos específicos, apresentados a seguir.

- ✓ Objetivos específicos associados à fundamentação teórica
- a) Mapear, na literatura, conceitos relacionados à disciplina de segurança de processos que possam subsidiar a construção de um material de apoio à tomada de decisão relacionada ao gerenciamento de riscos em dutos a partir da constituição de um banco de dados de falha;
- b) Mapear, na literatura, as principais características dos bancos de dados de falhas em dutos terrestres previamente existentes, tais como escopo, arquitetura (taxonomia), processo de coleta e periodicidade, indicadores, dentre outros;
- c) Levantar os parâmetros de coleta e as respectivas tipologias de dados adotados por cada uma das referências mapeadas;
- ✓ Objetivos associados ao método a ser aplicado
- d) Identificar quais características e os parâmetros de coleta que são mais comumente adotados pelos bancos de dados analisados;
- e) Elaborar uma pesquisa com base nos dados levantados na literatura a ser submetida a especialistas brasileiros da área de dutos, tendo como insumo a identificação de características e parâmetros adotados pelos *benchmarks*;
- f) Identificar, mediante estudo estatístico dos resultados da pesquisa, quais seriam as características e os parâmetros de coleta a serem adotados para a composição de um banco de dados nacional, bem como as principais disciplinas envolvidas;
- g) Avaliar eventuais correlações entre a taxonomia resultante para o banco de dados nacional e o levantamento de parâmetros mais frequentemente adotados pelos *benchmarks* (item c);

h) Avaliar eventuais correlações entre as respostas obtidas, o tipo de instituição e o tempo de experiência dos profissionais que responderam à pesquisa.

Para validação dos objetivos associados ao método a ser aplicado, foram testadas algumas hipóteses que estão apresentadas no capítulo sobre metodologia da pesquisa.

1.5 QUESTÕES DE PESQUISA

Neste âmbito, emergem as seguintes questões básicas que terão um papel fundamental no direcionamento deste estudo:

- Quais conceitos relacionados à disciplina de segurança de processos podem ser aplicados na proposição de um material de apoio à tomada de decisão para o aperfeiçoamento do gerenciamento dos riscos em dutos e que tenha como cerne um banco de dados de falha nacional?
- Como são estruturados os bancos de dados internacionais existentes específicos para dutos terrestres, bem como quais são suas características e parâmetros de coleta?
- Quais opções podem ser consideradas no que tange o tratamento dos dados de falha a serem coletados?
- Quais características identificadas nos bancos de dados internacionais são aplicáveis também à malha dutoviária brasileira, de forma a subsidiar a definição do banco de dados nacional?
- Quais são as áreas de conhecimento envolvidas no processo de coleta de bancos de dados de falhas na indústria dutoviária de uma forma geral?
- Existem diferenças entre a taxonomia resultante da pesquisa a ser realizada e o levantamento dos dados mais frequentemente coletados pelos *benchmarks* internacionais?
- Existem diferenças entre as opiniões dos respondentes em relação aos diversos itens da pesquisa em função das instituições das quais fazem parte e do tempo de experiência?

O conjunto de questões proposto busca possibilitar a elaboração de uma arquitetura de coleta de dados adequada para constituição de um banco nacional de falhas em dutos terrestres, a qual também será utilizada como base para a proposição de um diagrama Bowtie como ferramenta de suporte à decisão no gerenciamento dos riscos operacionais relacionados à atividade dutoviária.

Em paralelo, busca-se verificar a possibilidade de obtenção de dados históricos de falha junto a empresas operadoras brasileiras, de forma a organizá-los conforme a arquitetura a ser proposta e tratá-los por meio da aplicação das métricas usualmente empregadas pelos *benchmarks* internacionais.

1.6 DELIMITAÇÃO

Este estudo delimita-se ao contexto da indústria dutoviária nacional, especificamente para os ativos que se encaixam na classificação da ANP como “dutos de Transporte”, conforme consta no Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural – RTDT (ANP, 2011). Além disso, ressalta-se que os eventos de interesse que constituirão o escopo do banco de dados nacional a ser construído restringem-se àqueles que resultem em vazamentos (perda de contenção). Eventos que representam apenas o potencial de causar acidentes em ativos dutoviários (ditos “quase-acidentes” ou desvios), apesar de relevantes para o gerenciamento de riscos, não compõem a princípio o escopo da presente análise.

Com relação à delimitação temporal desta pesquisa, foi feito um levantamento na literatura para tentar identificar a existência de bancos de dados internacionais de falhas em dutos que estejam atualmente ativos e que foram citados em documentos datados dos últimos 20 anos.

Adicionalmente, futuras pesquisas poderão ser realizadas tanto para a ampliação do escopo do banco de dados de falhas em dutos a ser constituído (exemplo: inclusão de eventos de desvios / quase acidentes), quanto para a elaboração de bancos para outros tipos de ativos, tais como refinarias, plataformas, plantas de processamento de gás, etc. Entende-se que os princípios que fundamentam a metodologia do presente trabalho podem ser diretamente aplicados para tais finalidades.

Um último ponto que merece ser destacado no que tange o escopo desta tese é que o mesmo não contempla o desenvolvimento de um sistema computadorizado (ELMASRI et al., 2016), mas sim a definição de requisitos técnicos específicos associados aos dutos terrestres e ao tipo de evento em análise para compor a arquitetura do banco de dados de falhas. A ideia é que esta arquitetura sirva como referência para a futura elaboração de um sistema informatizado a ser empregado para a coleta de tais dados junto às empresas operadoras.

1.7 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

De acordo com Aloqaily (2018), consensualmente dutos são considerados um modal seguro para o transporte de materiais perigosos, fato este que, dentre outros, sustenta o crescimento da malha de dutos de uma forma geral no globo principalmente ao longo das últimas quatro décadas. A manutenção desta vasta malha representa um desafio para os respectivos proprietários e operadores destes ativos, bem como para os demais *stakeholders* envolvidos, incluindo as comunidades vizinhas e autoridades/órgãos reguladores.

Ainda segundo Aloqaily (2018), um dos principais motivos para tanto é, em diferentes graus em diferentes países do mundo, a ausência de dados representativos que permitam a estimativa adequada do potencial de ocorrência de vazamentos de produtos perigosos a partir destes dutos e, conseqüentemente, a avaliação dos riscos relacionados a sua operação. Ocorrências associadas à perda de contenção (LOC – *loss of containment*), resultantes de falha dos dutos, representam os principais eventos que devem ser controlados para o manutenção de níveis de segurança adequados para as comunidades circunvizinhas e para o meio ambiente das regiões atravessadas por tais instalações lineares. O conhecimento dos modos e das causas de falha, bem como a análise de integridade, são componentes críticos para o gerenciamento dos riscos, principalmente quando se tem em vista que estes dutos podem transportar produtos inflamáveis e/ou tóxicos processados e produzidos em plantas químicas, petroquímicas, refinarias, plantas de gás, etc.

Neste âmbito, e trazendo para o contexto da realidade do Brasil, torna-se evidente a necessidade de se constituir um banco de dados de falhas em dutos no país, de forma a suprir esta lacuna de informações a serem geradas pelos dados a

serem futuramente coletados (seguindo a lógica da gestão do conhecimento) e, conseqüentemente, contribuindo para o aperfeiçoamento da gestão de riscos nos ativos em questão.

Além de gerar dados estatísticos para subsidiar uma gestão de riscos mais eficaz destes ativos, a criação de um Banco de Dados de Falhas em Dutos permitirá, ao longo do tempo, a demonstração por parte das operadoras da eficácia das melhorias implementadas na segurança da operação dos dutos junto aos órgãos de controle; avaliação da performance dos respectivos Sistemas de Gerenciamento de Riscos; a comparação da realidade dos dutos destas empresas com *benchmarks* internacionais; e fornecer subsídios tanto para os processos de licenciamento ambiental (para dutos existentes e para novos projetos) quanto para outras análises específicas.

Ressalta-se que, apesar da existência de bancos de dados internacionais, já citados anteriormente, a estruturação de um banco nacional é primordial para que se gerem dados, informações e conhecimento que reflitam a realidade operacional e a cultura de segurança intrínsecos às empresas e das comunidades vizinhas às faixas de dutos presentes no território nacional.

1.8 ORIGINALIDADE E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA DA PESQUISA

Apesar de já existirem iniciativas de operadoras em países desenvolvidos (tais como Estados Unidos, Canada, Austrália, Reino Unido e outras nações europeias) no intuito de se associarem e criarem seus próprios Bancos de Dados de falhas em dutos, este tema de pesquisa é bastante incipiente na indústria dutoviária brasileira. A maioria das empresas, pelo relativamente baixo grau de maturidade no assunto, apesar de registrarem internamente eventos de falhas em dutos, não o fazem de forma sistematizada e padronizada a ponto de permitir que informações sejam obtidas a partir destes dados primários e, conseqüentemente, não viabilizando a construção estruturada de conhecimento possível de ser utilizado nas tomadas de decisão associadas ao gerenciamento de riscos.

Associado a este fator, a originalidade da pesquisa também pode ser evidenciada pelo fato de que não se encontrou, na bibliografia pesquisada, nenhum

outro trabalho que se proponha a estudar diretamente a estruturação de um Banco de Dados de falhas em dutos especificamente para a malha dutoviária brasileira.

Adicionalmente, do ponto de vista da realização de Análises Quantitativas de Risco com finalidade de licenciamento ambiental, esta lacuna representada pela falta de informações referentes à malha dutoviária brasileira acaba sendo suprida por dados de falha disponibilizados nos relatórios dos *benchmarks* internacionais citados anteriormente, dados estes que não necessariamente são representativos para a realidade dos dutos em operação no país. Esta afirmação é fundamentada no fato de que alguns mecanismos de falha, tais como corrosão por exemplo, dependem fortemente da idade e da gestão de integridade dos ativos, as quais podem variar em função da localidade geográfica e da cultura em gerenciamento de riscos, dentre outros fatores.

Tendo em vista este contexto, entende-se que a principal contribuição esperada desta pesquisa está relacionada com a proposição de um Banco de Dados de falhas aplicável aos dutos em operação no país, o qual terá como objetivo principal a geração de informações que refletirão a realidade da malha dutoviária nacional. Por fim, além da utilização destas informações de falhas para elaboração de Análises Quantitativas de Risco para fins de licenciamento, o conhecimento a ser gerado a partir destas informações poderá ser utilizado pelas empresas operadoras como suporte ao processo de tomada de decisões, otimizando os níveis de segurança operacional e, conseqüentemente, minimizando perdas relacionadas a eventos não desejados. Estes resultados terão impacto considerável na indústria dutoviária do país no que se refere à gestão de riscos operacionais dos ativos.

1.9 ASPECTOS DA INTERDISCIPLINARIDADE DA PESQUISA

Partindo-se de um estado inicialmente proposto pela ciência, dito disciplinaridade – tentativa de se explicar o mundo complexo por meio de disciplinas isoladas – pode-se traçar uma linha de evolução do pensamento científico, passando pela multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade (PEREIRA *et al.*, 2016). A multidisciplinaridade tem como estratégia de estudo empregar diversas disciplinas para a solução de um dado problema, sem, contudo, considerar a interação entre as mesmas. A interdisciplinaridade admite não só a associação entre as

disciplinas, mas incentiva e valoriza a interação entre elas, promovendo a reciprocidade de troca de conhecimento. Por fim, a transdisciplinaridade visa a análise de um sistema complexo em sua totalidade, sem definir fronteiras entre disciplinas, ou seja, através da perfeita sinergia entre as mesmas (DE ALVARENGA *et al.*, 2011).

Dessa forma, compreende-se que a Interdisciplinaridade é a recomposição de um problema complexo e de difícil solução, que pode ser melhor solucionado quando se analisa o todo, em vez de uma investigação detalhada, isolada e sem integração de cada uma das partes que compõem o objeto em estudo. Esta nova estratégia epistemológica para resolução de problemas complexos valoriza o diálogo e a interação entre disciplinas distintas, culminando em um melhor entendimento dos mesmos e que seria impossível de ser atingido por uma disciplina isoladamente, qualquer que seja.

No que tange ao conceito da pesquisa interdisciplinar, a *National Academy of Sciences* (2005) estabelece que se trata de um modo de pesquisa por equipes ou indivíduos que integra informação, dados, técnicas, ferramentas, perspectivas, conceitos e/ou teorias de duas ou mais disciplinas ou áreas específicas de conhecimento com a finalidade de promover o entendimento fundamental ou a solução de problemas cujas soluções estão além do escopo de uma única disciplina ou campo de prática de investigação. Adiciona ainda que a pesquisa é verdadeiramente interdisciplinar quando esta não apenas se utiliza de duas disciplinas em conjunto para criar um produto, mas também representa uma integração e uma síntese de ideias e métodos.

Neste âmbito, este trabalho tem como base a pesquisa interdisciplinar para suporte ao desenvolvimento e aplicação de métodos de apoio à tomada de decisão no contexto da estruturação de um Banco Nacional de Dados de falhas, especificamente direcionado para a área de dutos terrestres de transporte de hidrocarbonetos (gasodutos e oleodutos), com vistas a oferecer subsídios para o aprimoramento do gerenciamento de riscos desta atividade industrial e evidenciar valores relacionados à segurança a serem agregados ao negócio por este tipo de ferramenta, além de permitir a reflexão acerca dos seus benefícios.

A construção do conhecimento e os resultados a serem apresentados nessa pesquisa buscam se alinhar ao contexto de forma interdisciplinar, integrando os

desenvolvimentos científicos, tecnológicos e culturais de diferentes áreas aplicados aos sistemas de gestão para uma sociedade sustentável. A proposta poderá contribuir para a ampliação do olhar da comunidade acadêmica sobre o desafio de compreender a geração de conhecimento e de valor relacionados à segurança na operação de dutos de transporte no Brasil, segundo uma abordagem mais moderna, tecnológica e eficiente.

Assim sendo, busca-se, através da Figura 2 a seguir, a representação de um diagrama de Jantsch (JANTSCH *et al.*, 1997) que explicita alguns pilares interdisciplinares primordiais relacionados à construção do conhecimento para o aprimoramento do gerenciamento de riscos de dutos a partir da construção do banco de dados de falhas.

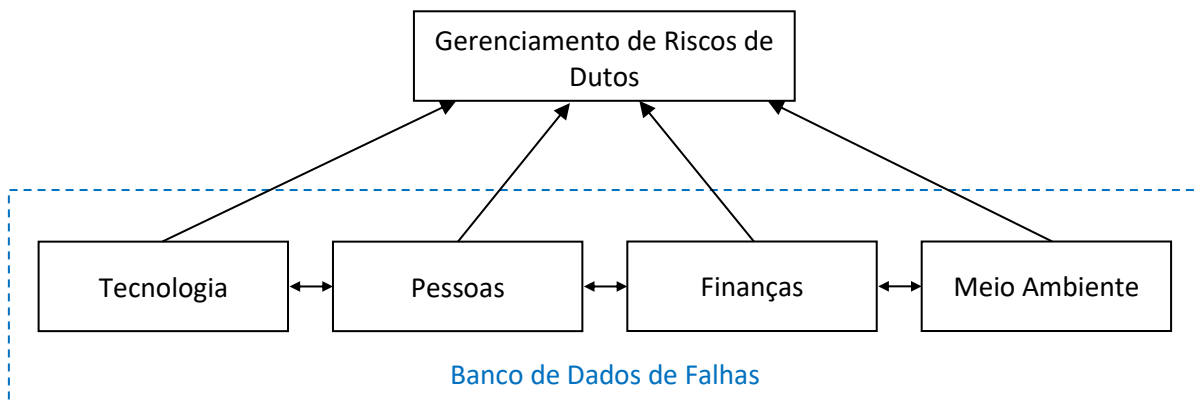


Figura 2 - Diagrama de Jantsch para a pesquisa interdisciplinar proposta.

Fonte: O próprio autor.

Conforme explicitado anteriormente, a caracterização dos eventos abordados pelo banco de dados tem como base o levantamento das possíveis ameaças que podem comprometer a segurança operacional destes ativos e dos seus respectivos impactos. As ameaças estão intimamente relacionadas a aspectos tecnológicos intrínsecos à operação dos dutos e às pessoas como atores (ativos ou passivos) causais de eventos a serem levantados pelo banco, enquanto que as consequências (impactos) associadas possuem relação direta com o conceito de sustentabilidade e, conseqüentemente, com o entendimento do modelo TBL – *triple bottom line*, que inter-relaciona as dimensões social (pessoas – neste caso, como vítimas), ambiental (meio ambiente – importante vetor potencialmente afetado) e econômica (finanças – danos monetários).

1.10 ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente tese está estruturada em oito capítulos principais, divididos em tópicos e, quando necessário, subtópicos. O primeiro capítulo tem como finalidade realizar uma introdução geral ao tema, sendo composto pela apresentação do tema em si e do problema de pesquisa; contextualização do gerenciamento de riscos operacionais associado a banco de dados de falhas em dutos; situação-problema da pesquisa; descrição dos objetivos; questões de pesquisa e sua delimitação; bem como sua justificativa e posterior destaque às lacunas do conhecimento a serem preenchidas e contribuições científicas. Finalizando o capítulo inicial, evidencia-se o caráter interdisciplinar da pesquisa proposta.

Com o intuito de auxiliar o entendimento dos demais capítulos, descritos a seguir, a Figura 3 apresenta um fluxograma com as principais etapas desenvolvidas a longo deste trabalho.

Seguindo sua estrutura de apresentação, a fundamentação teórica, responsável pelo suporte à realização da parte prática deste trabalho, é explicitada no Capítulo 2, abordando assuntos relacionados à proposta da pesquisa. É apresentado um levantamento bibliográfico geral referente à disciplina de segurança de processos, bem como é detalhada a metodologia Bowtie e tipos de métricas/indicadores que podem auxiliar na gestão da segurança de ativos. Por fim, explicita-se também o levantamento do estado da técnica referente aos *benchmarks* internacionais atualmente existentes na indústria para coleta e consolidação de dados de falha de dutos terrestres.

Estabelecida a fundamentação teórica do estudo, o próximo passo foi definir e delimitar os procedimentos metodológicos a serem utilizados. Esse processo, lógico e sequencial, guiará a prática da pesquisa, sendo fundamental em seu desenvolvimento, conforme evidenciado no terceiro capítulo.

Por sua vez, o quarto capítulo traz a primeira parte dos resultados obtidos através do mapeamento da literatura, realizado por meio da metodologia PRISMA. É evidenciada a construção do quadro referencial teórico resultante da consolidação dos dados obtidos a partir da pesquisa bibliográfica e, posteriormente, do instrumento temático que identificou as variáveis mais frequentemente coletadas pelos bancos de

dados internacionais. Na sequência, explicita-se também o questionário aplicado na pesquisa de campo resultante da realização do teste piloto junto a especialistas.

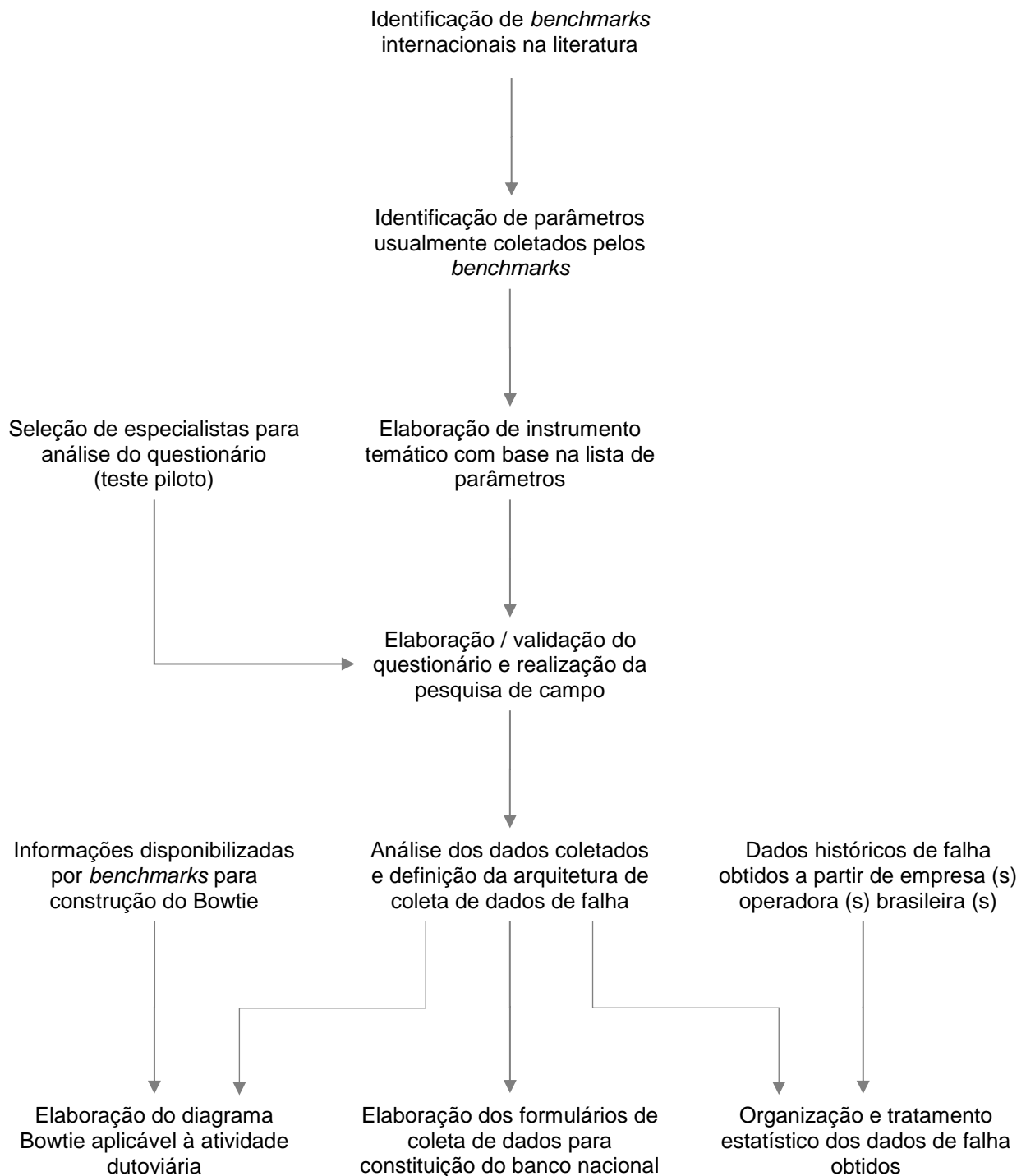


Figura 3 – Principais etapas elaboradas durante a realização do trabalho.
Fonte: O próprio autor.

A segunda parte dos resultados, apresentados no Capítulo 5, diz respeito aos dados adquiridos através da realização da pesquisa de campo em si. Primeiramente, são apresentadas estatísticas referentes ao perfil dos respondentes, considerando tipo de instituição à qual os mesmos pertencem; tempo de experiência na atividade dutoviária; nível de conhecimento na área de riscos operacionais e segurança de processos; e área de atuação. É feita também a avaliação da confiabilidade do questionário mediante aplicação do coeficiente Alfa de Cronbach, bem como são apresentadas e consolidadas as respostas dos participantes da pesquisa de campo para cada uma das perguntas. Após explorar estes resultados através de estatística descritiva, passa-se aos testes das hipóteses construídas a partir das questões de pesquisa. Finaliza-se este capítulo explicitando as variáveis que de fato foram selecionadas para compor os formulários de coleta a serem aplicados eventualmente pelo futuro banco de dados nacional.

O Capítulo 6 propõe, a partir dos resultados explicitados no capítulo anterior e de informações obtidas através dos *benchmarks*, a construção de um material de apoio à tomada de decisão relacionada ao gerenciamento de riscos em dutos pautado na metodologia Bowtie. Neste sentido, é proposto um diagrama com a proposição de evento topo, ameaças, consequências e barreiras a serem monitoradas pelas operadoras mediante a aplicação e o acompanhamento de indicadores reativos e pró-ativos, os quais abrangem diversos elementos essenciais para a gestão dos riscos operacionais associados à operação de dutos terrestres.

Além disso, o Capítulo 7 traz o histórico de falhas da TRANSPETRO (uma operadora brasileira de dutos terrestres, subsidiária da PETROBRAS) entre os anos de 1978 e 2008, bem como a organização destes dados com base na arquitetura proposta e o seu tratamento estatístico aos moldes do que é realizado pelos *benchmarks* internacionais. São apresentadas distribuições de causas de falhas; estatísticas relativas ao volume de produto liberado nos eventos que compõem o histórico; gráficos explicitando a evolução da malha dutoviária em análise no período supracitado; e por fim cálculo de taxas de falha considerando os dados de eventos de falha e de exposição da malha de dutos, informações estas que reforçam o caráter de ineditismo deste trabalho. Foram adotadas as mesmas métricas que são empregadas nos relatórios que são disponibilizados por alguns dos *benchmarks*.

Finalmente, o Capítulo 8 traz as conclusões mais relevantes do trabalho como um todo, bem como propostas de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Esse capítulo traz a revisão da literatura, realizada com a finalidade de dar embasamento à discussão formulada. A análise dos estudos anteriores permitiu a conceituação da Segurança na Operação de Dutos, perpassando pelos conhecimentos advindos da área de Segurança de Processos e pela elucidação da relevância da coleta de dados de acidentes em dutos. Neste contexto, o levantamento do estado da técnica referente aos bancos de dados de falha pré-existentes torna-se primordial para a criação do arcabouço a ser utilizado como base para a presente pesquisa, conforme ilustrado na Figura 4.

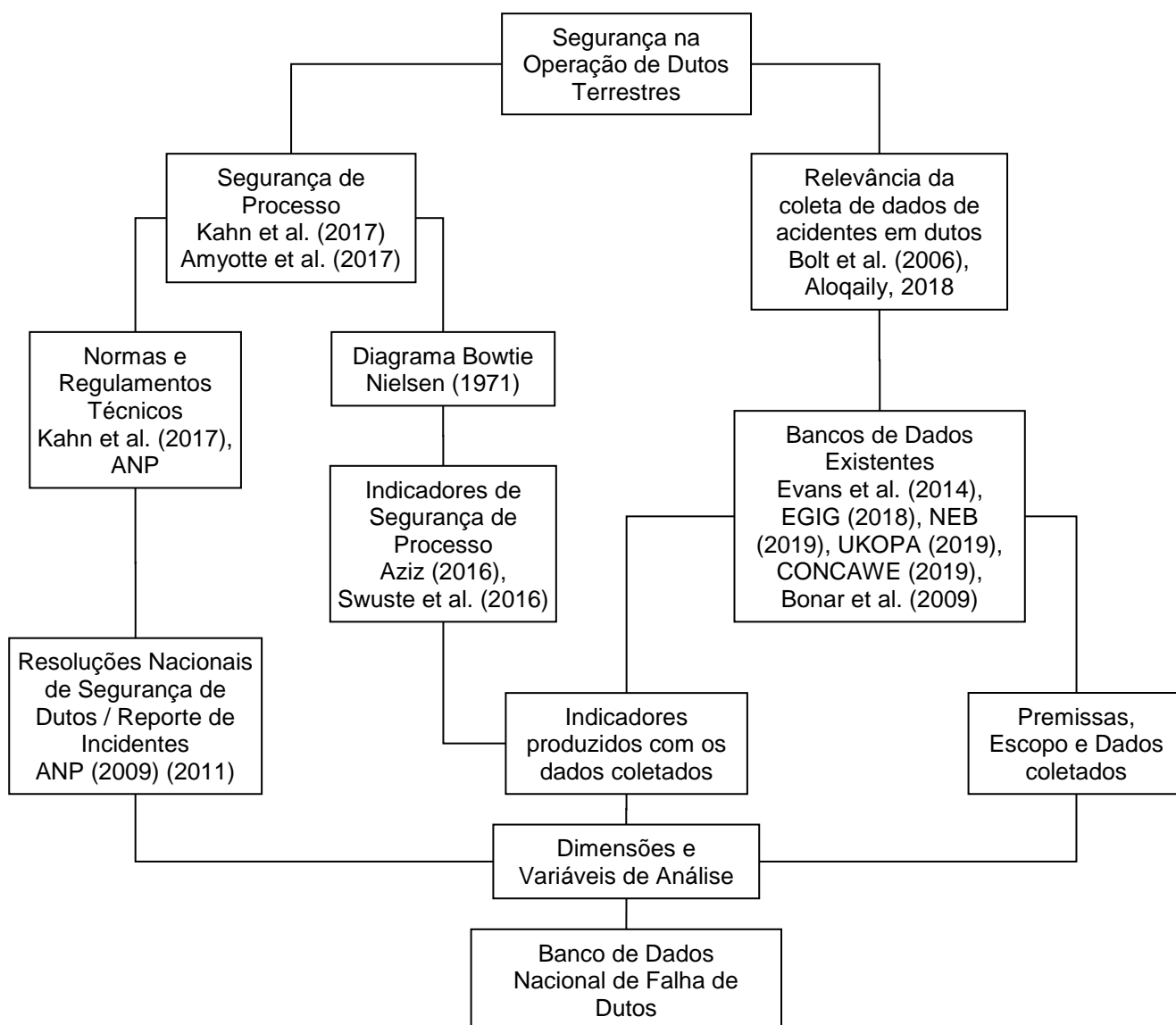


Figura 4 – Mapa da Literatura – Segurança de Processos e Bancos de Dados de Falha.
Fonte: Baseado em Creswell (2010).

Além de auxiliar o pesquisador na organização de sua pesquisa, o mapa apresentado anteriormente permite uma melhor visualização da literatura estudada e proporciona, portanto, uma leitura mais clara aos leitores (CRESWELL, 2010).

2.1 SEGURANÇA DE PROCESSO

Conforme colocado por Khan *et al.* (2017), a indústria de óleo e gás de uma forma geral constitui um setor cujas atividades intrinsecamente são associadas a riscos. A extração, o transporte e o processamento de hidrocarbonetos envolvem operações complexas que submetem produtos perigosos a altas pressões e temperaturas, além de processos físico-químicos de transformação da matéria que podem implicar em altas taxas de liberação de energia. Aliados a esta questão, a crescente demanda por energia e conseqüentemente o surgimento de novas oportunidades de negócio nesta área, dentre outros fatores, constituem elementos importantes que incentivam operadores a cada vez mais aumentarem seus apetites a risco no sentido de as atividades deste segmento serem conduzidas em condições e ambientes gradualmente mais extremos. Na prática, isto tem resultado, por exemplo, em instalações cada vez maiores, processos mais complexos e plantas de arranjo (*layouts*) cada vez mais compactos.

Neste contexto, a ocorrência de grandes acidentes (*Major Accidents*) vem ao longo dos anos despertando uma crescente preocupação da indústria (e também dos órgãos reguladores) a respeito da importância de as decisões operacionais e de negócio serem tomadas tendo como base uma análise abrangente e completa dos respectivos riscos com o intuito de se identificar medidas que por fim possam prevenir ou mitigar as potenciais perdas associadas. Esta inquietação é a origem da ciência que atualmente se denomina como “Segurança de Processo”.

No que se refere à sua definição, a norma americana API RP-754 (API, 2016) conceitua Segurança de Processo como um “arcabouço disciplinar para promover a gestão da integridade dos sistemas e processos operacionais que envolvem a manipulação de produtos perigosos, por meio da aplicação de princípios e boas práticas de projeto, engenharia, operação e manutenção”. Diferentemente do conceito de segurança ocupacional, a qual aborda eventos que possam resultar em risco para a saúde do trabalhador (exemplo: quedas, escorregões, tropeços, etc), a segurança

de processo tem como foco a prevenção e a mitigação de eventos que possam resultar na liberação não controlada de substâncias perigosas ou energia (HSE, 2015). Estes eventos têm o potencial de causar impactos significativos tais como fatalidades, danos ambientais, perdas patrimoniais e paradas não-programadas de produção (estas duas últimas relacionadas a perdas financeiras).

Historicamente, uma série de acidentes relacionados à segurança de processo ocorreram em diferentes partes do mundo como resultado da intensa industrialização ocorrida ao longo do século 20 e do conseqüente aumento da complexidade das tecnologias desenvolvidas e empregadas no setor (KHAN *et al.*, 2016). Entretanto, foi apenas após as amplas repercussões de grandes acidentes como aqueles ocorridos em Flixborough (Reino Unido - 1974), Seveso (Itália - 1976) e Bhopal (Índia - 1984) (ALVES *et al.*, 2016) que agências regulatórias e outros órgãos governamentais iniciaram as discussões a respeito do que atualmente se define como Gestão de Segurança de Processo (*Process Safety Management* – PSM). As ocorrências de outros graves eventos em anos subsequentes, tais como os acidentes de Texas City (EUA - 2005) e de Macondo (*Deepwater Horizon*) (Golfo do México - 2010), deflagraram um movimento importante no sentido de se modernizar as práticas existentes relacionadas à segurança de processo.

Isto fez com que a indústria de óleo e gás de uma forma geral reconhecesse que a prevenção de eventos catastróficos envolve não apenas o desenvolvimento tecnológico, mas principalmente o aprofundamento e aperfeiçoamento da gestão de segurança dentro das organizações. Neste contexto, a utilização da Gestão de Segurança de Processo (PSM) como ferramenta para o estabelecimento de níveis adequados de segurança para as operações de processos perigosos emergiu como um consenso global, resultando no surgimento de diversas normas, diretrizes (*guidelines*) e regulamentos focados no tema (KHAN *et al.*, 2016). Alguns exemplos são as normas 29 CFR 1910.119 da OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) e RP 750 do API (*American Petroleum Institute*) nos Estados Unidos, e a PSM Standard publicado pelo CSChE (*Canadian Society for Chemical Engineering*) no Canadá. Na Europa, por sua vez, estes documentos foram integrados desde 1982 à legislação da União Europeia através das “Diretivas de Seveso” I (Directive 82/501/EEC), II (Directive 96/82/EC) e III (Directive 2012/18/EU).

Basicamente todos estes programas de Gestão de Segurança de Processo citados cobrem os mesmos requerimentos básicos, embora o número de elementos pode variar dependendo dos critérios utilizados.

Com base nas informações citadas anteriormente, a Figura 5 aponta ao longo da linha do tempo a ocorrência de grandes acidentes na indústria de óleo e gás e as respectivas normas e regulamentos que surgiram como resposta à repercussão dos mesmos.

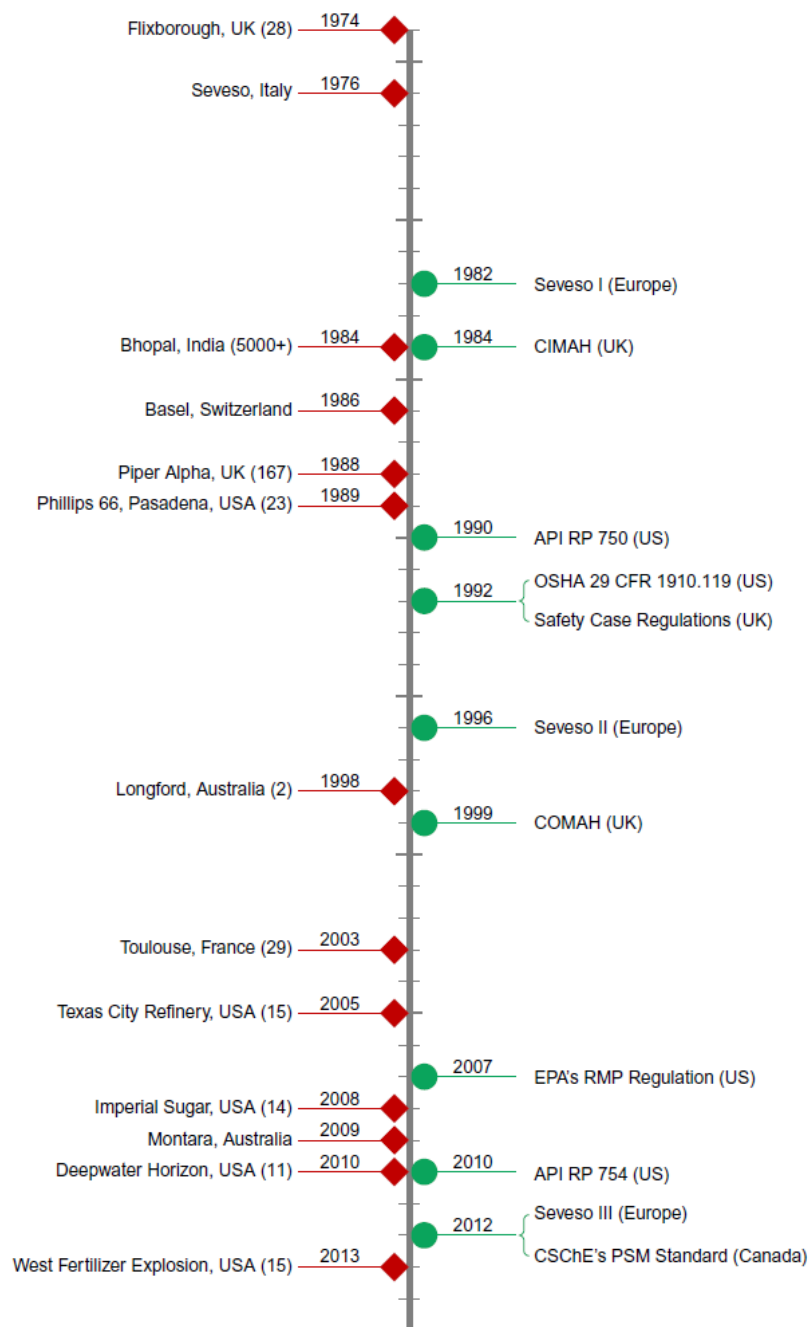


Figura 5 - Histórico de grandes acidentes da indústria, normas e regulamentos.
Fonte: Khan *et al.* (2017).

Ressalta-se que, na figura anterior (Fig. 5), os números indicados entre parênteses representam o quantitativo de fatalidades ocorridas em cada acidente, os quais por sua vez são representados na cor vermelha do lado esquerdo da linha do tempo, enquanto as normas e regulamentos são indicados na cor verde à direita. Maiores detalhes a respeito dos acidentes e das normas e regulamentos podem ser encontrados, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3.

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) tem como uma de suas atribuições o estabelecimento e a fiscalização de requisitos mínimos para a garantia da proteção da saúde humana e do meio ambiente durante a condução das atividades das empresas que pertencem ao segmento de óleo, gás e biocombustíveis (ANP, 2019). De acordo com Mendes *et al.* (2014), o desenvolvimento da estrutura regulatória de segurança atualmente proposta pela agência, inicialmente estabelecida para a área offshore em 2007 através da Resolução ANP nº 43/2007 que instituiu o Regulamento Técnico do SGSO (Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional), teve como motivação o afundamento da plataforma P-36 em 2001 na Bacia de Campos, o qual resultou em 11 fatalidades. Informa-se também que um ano antes a Resolução ANP Nº 27/2006 propôs um Regulamento Técnico para definição de procedimentos de segurança relacionados com a Devolução de Áreas de Concessão na Fase de Produção.

Neste contexto, nos dez próximos anos a partir deste marco a referida agência se dedicou a desenvolver resoluções e regulamentos técnicos que fossem aplicáveis aos demais ativos que compõem a cadeia do óleo e do gás. Em resumo, a Resolução ANP nº 2/2010 estabeleceu o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade Estrutural das Instalações Terrestres de Produção de Petróleo e Gás Natural (RTSGI); a Resolução ANP nº 6/2011, o Regulamento Técnico de Dutos Terrestres (RTDT); Resolução ANP nº 41/2015, o Regime de Segurança Operacional de Sistemas Submarinos e o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional de Sistemas Submarinos – SGSS; e a Resolução ANP nº 46/2016 que instituiu o Regime de Segurança Operacional para Integridade de Poços de Petróleo e Gás Natural e aprova o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP). Maiores detalhes podem ser encontrados na Tabela 4.

Tabela 2 - Grandes acidentes de segurança de processo ocorridos na indústria.

Fonte: Khan et al. (2016).

| Ano | Local | Descrição |
|------|--------------------------|--|
| 1974 | Flixborough, Reino Unido | Explosão em Nuvem de Ciclohexano que causou 28 fatalidades, mais de 100 feridos e destruiu completamente as instalações da unidade industrial. |
| 1976 | Seveso, Itália | Liberação de grande quantidade substâncias tóxicas (pesticidas e fungicidas) no meio ambiente, ocasionando milhares de mortes da fauna local e contaminação de pessoas por ingestão de compostos nocivos à saúde. |
| 1984 | Bhopal, Índia | Vazamento de 42 toneladas do gás metil isocianato (MIC) em uma planta do pesticida Sevin (1-naftol-N-metilcarbamato), matando pelo menos 4000 pessoas nas primeiras semanas e causando milhares de mortes e doenças subsequentes. |
| 1986 | Basiléia, Suíça | A água utilizada no combate de um grande incêndio em uma fábrica carregou produtos altamente tóxicos para o rio de onde se fazia a captação, matando por envenenamento milhares de peixes e emitindo fumaça tóxica sobre a cidade. |
| 1988 | Piper Alpha, Reino Unido | Resultado de uma série de falhas sistêmicas que culminou na morte de 167 pessoas, perda de bilhões de dólares e destruição total da plataforma. O acidente ocorreu após uma série de explosões e incêndios. |
| 1989 | Phillips 66, Pasadena | Grande liberação de produto inflamável (etileno e butano) seguida de explosão em nuvem de vapor destruiu boa parte da planta de polietileno, resultando em 23 fatalidades e 314 feridos, além de significativa perda financeira. |
| 1998 | Longford, Austrália | Explosão em uma planta de gás levando à morte de dois operários e interrupção do fornecimento de gás por mais de duas semanas para o mercado local. |
| 2003 | Toulouse, França | Explosão em uma planta de fabricação de nitrato de amônio (NH_4NO_3) resultando em 29 fatalidades e afetando cerca de 2000 pessoas. A extensão dos danos extrapolou os limites da instalação e afetou população e infraestrutura vizinhas. |
| 2005 | Texas City, EUA | Grande liberação de mistura de hidrocarbonetos inflamáveis (benzeno-heptano) seguida de explosão em nuvem de vapor durante a partida de uma unidade de isomerização, resultando em 15 fatalidades e cerca de 100 feridos. |
| 2008 | Imperial Sugar, EUA | Explosão de poeira (<i>dust explosion</i>) seguida de incêndio em refinaria de açúcar causando a morte de 14 pessoas e ferindo outras 38, incluindo 14 com queimaduras gravíssimas. |
| 2009 | Montara, Austrália | Cenário de <i>blowout</i> com liberação de grande vazamento de óleo e gás a partir de uma plataforma marítima (Montara), com duração total de 75 dias. Não houve feridos ou fatalidades. |
| 2010 | Deepwater Horizon, EUA | Cenário de <i>blowout</i> com liberação de grande vazamento de óleo e gás a partir de uma plataforma marítima (<i>Deepwater Horizon</i>) e consequente explosão, resultando em 11 fatalidades e grandes danos ambientais à costa dos Estados Unidos. |
| 2013 | West Fertilizer, EUA | O incêndio e explosão de cerca de trinta toneladas de nitrato de amônio grau fertilizante após aquecidos por um incêndio nas instalações de estocagem e distribuição da companhia. Houve 15 fatalidades e 260 feridos. |

Tabela 3 - Principais normas e regulamentos internacionais publicados em resposta a grandes acidentes.

Fonte: Khan et al. (2016).

| Ano | Nome / Local | Descrição |
|------|--------------------------------|--|
| 1982 | Diretiva Seveso I – Europa | Tem como objetivo a prevenção dos acidentes graves que possam ser provocados por certas atividades industriais, bem como à limitação das suas consequências para o homem e o ambiente. Sua publicação teve como principal motivador o acidente de Seveso, ocorrido em 1976 na Itália. |
| 1984 | CIMAH – Reino Unido | O <i>Control of Industrial Major Accident Hazards</i> (CIMAH) implementou no Reino Unido as diretrizes estabelecidas pela Diretiva Seveso I (82/501/EEC), a qual é aplicável aos países da União Européia. |
| 1990 | API RP 750 – EUA | A norma técnica API RP 750, publicada pelo <i>American Petroleum Institute</i> , estabeleceu as diretrizes de gestão de segurança de processo que seriam futuramente as bases para a OSHA 29 CFR 1910.119. |
| 1992 | OSHA 29 CFR 1910.119 – EUA | Em resposta à solicitação do congresso americano, a OSHA (<i>Occupational Safety and Health</i>) publicou esta norma, baseada na API RP 750, a qual dispõe sobre requerimentos para a prevenção e minimização das consequências de liberações catastróficas de produtos químicos tóxicos, reativos, inflamáveis ou explosivos. |
| 1992 | Safety Case Reg. – Reino Unido | Em resposta ao acidente na plataforma Piper Alpha ocorrido no Mar do Norte, as <i>Safety Case Regulations</i> foram implementadas pelo HSE com o objetivo de reduzir os riscos relacionados a grandes acidentes (<i>major accident hazards</i>) para trabalhadores de instalações offshore ou de atividades a elas relacionadas. |
| 1996 | Diretiva Seveso II - Europa | Esta versão introduziu novos requisitos em relação à Diretiva anterior, principalmente no que se refere à gestão de segurança das instalações industriais, ao planejamento e resposta a emergências, ao planejamento do uso do solo e considerações sobre o "efeito dominó" para assegurar níveis adequados de proteção às comunidades vizinhas. |
| 1999 | COMAH – Reino Unido | Esta regulação britânica, denominada COMAH (<i>Control of Major Accident Hazards</i>), tem como objetivo geral estabelecer que todo operador responsável por plantas químicas deve tomar todas as medidas necessárias para a prevenção de grandes acidentes e limitar as suas consequências a pessoas e ao meio ambiente. |
| 2007 | EPA's RMP Regulations – EUA | Regulação proposta pela EPA (<i>Environmental Protection Agency</i>) com o objetivo de requerer das instalações que manipulem materiais perigosos o desenvolvimento e implementação de Planos de Gerenciamento de Riscos (<i>Risk Management Plan – RMP</i>), os quais devem ser revisados e submetidos à agência a cada 5 anos. |
| 2010 | API RP 754 – EUA | Titulada " <i>Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries</i> ", esta norma propõe indicadores reativos e proativos de segurança de processo para avaliação da gestão de instalações <i>onshore</i> . |
| 2012 | Diretiva Seveso III - Europa | A versão atual da Diretiva Seveso não teve como objetivo alterar os fundamentos da anterior, mas sim, dentre outros pontos, atualizar as classificações de produtos perigosos e, principalmente, reforçar a necessidade de se tornarem públicas determinadas informações de segurança sobre as plantas químicas pertencentes ao seu escopo. |

Tabela 4 - Principais resoluções e regulamentos publicados no Brasil pela ANP.
 Fonte: ANP (2019).

| Ano | Nome | Descrição |
|------|--------------------------|---|
| 2006 | Resolução ANP Nº 27/2006 | Estabelece o Regulamento Técnico que define os procedimentos a serem adotados na Desativação de Instalações e especifica condições para Devolução de Áreas de Concessão na Fase de Produção. |
| 2007 | Resolução ANP nº 43/2007 | Estabelece o Regulamento Técnico do SGSO, o qual é aplicável às instalações marítimas de perfuração e produção de petróleo e gás natural, tornando-se um importante instrumento para garantir a proteção da vida humana e do meio ambiente. Constitui o primeiro regulamento de segurança operacional do Brasil, composto por 17 práticas orientadas ao desempenho e à gestão de risco, incentivando o processo de melhoria contínua na operação das instalações. |
| 2009 | Resolução ANP Nº 44/2009 | Define o procedimento para comunicação de incidentes, a ser adotado pelos concessionários e empresas autorizadas pela ANP a exercer as atividades da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis, bem como distribuição e revenda. |
| 2010 | Resolução ANP nº 2/2010 | Estabelece o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade Estrutural das Instalações Terrestres de Produção de Petróleo e Gás Natural (RTSGI), o qual contempla medidas e procedimentos que visam à avaliação da integridade mecânica dos equipamentos, à operação segura das instalações e à proteção da vida humana e do meio ambiente. O regulamento abrange as instalações terrestres de produção, armazenamento e transferência autorizadas a executar as atividades de produção de petróleo e gás natural, processamento primário de petróleo, armazenamento e transferência de petróleo e compressão e transferência do gás natural durante todo o ciclo de vida das instalações. |
| 2011 | Resolução ANP nº 6/2011 | Propõe o Regulamento Técnico de Dutos Terrestres (RTDT), o qual define os requisitos essenciais e os mínimos padrões de segurança operacional para os dutos terrestres (oleodutos e gasodutos), incluindo os submersos, visando à proteção do público em geral, da força de trabalho da companhia operadora e das instalações e do meio ambiente. As normas também se aplicam para o processo de construção, operação e desativação de novos dutos terrestres. |
| 2014 | Resolução ANP Nº 21/2014 | Define os requisitos a serem cumpridos pelos detentores de direitos de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural que executarão a técnica de Fraturamento Hidráulico em Reservatório Não Convencional. Esta resolução foi proposta em resposta ao acidente ocorrido no Campo de Frade em 2011, na Bacia de Campos. |
| 2015 | Resolução ANP Nº 41/2015 | Propôs o Regime de Segurança Operacional de Sistemas Submarinos e o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional de Sistemas Submarinos – SGSS, os quais definem os requisitos essenciais e os mínimos padrões de segurança operacional e de preservação do meio ambiente. |
| 2016 | Resolução ANP nº 46/2016 | Instituiu o Regime de Segurança Operacional para Integridade de Poços de Petróleo e Gás Natural e aprovou o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP). Este regulamento define os requisitos essenciais e os mínimos padrões de segurança operacional em poços de petróleo e gás natural no Brasil. |

2.2 EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA DE PROCESSO

Segundo o CCPS (2014), conforme demonstrado na Figura 6, as indústrias químicas e os órgãos reguladores desenvolveram com o passar dos anos diferentes abordagens estratégicas para lidar com a possibilidade de ocorrência de grandes acidentes e, assim, promover a gestão de segurança de processos nas suas respectivas plantas industriais.

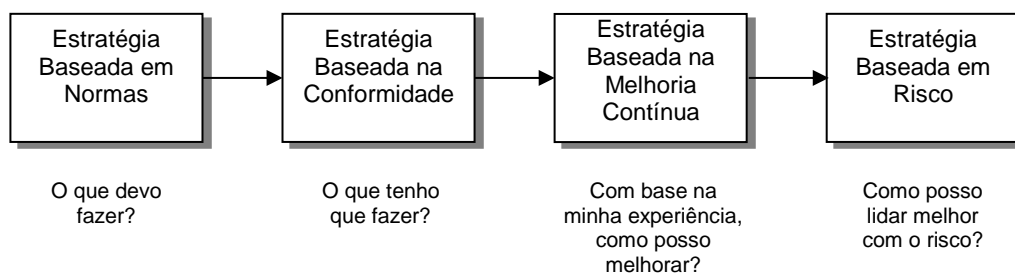


Figura 6 – Evolução das Estratégias de Gestão de Segurança de Processos.
Fonte: CCPS (2014).

É importante destacar que diferentes indústrias e diferentes órgãos reguladores certamente se encontrarão em diferentes patamares ao longo do espectro mostrado na Figura, podendo ocorrer esta discrepância inclusive dentro de uma mesma empresa entre diferentes instalações ou até mesmo entre departamentos de uma mesma planta, sendo possível ainda a seleção simultânea de múltiplas estratégias dependendo da necessidade ou da cultura de segurança implementada.

Neste contexto, a Gestão de Segurança de Processos Baseada em Normas tem como fundamento a utilização pelas empresas de padrões internos ou externos (tal como a norma API RP 750, citada anteriormente) que foram elaborados tendo como referência experiências pretéritas, os quais evoluíram ao longo do tempo através de duras lições, ou seja, acidentes e outros eventos de perdas (CCPS, 2014). Entretanto, como os eventos de Segurança de Processo são tipicamente raros, o CCPS (2014) ressalta que apenas esta experiência passada não se faz suficiente para direcionar os esforços para se prevenir futuramente a ocorrência de tais eventos indesejados. Independentemente deste aspecto, mediante a preocupação referente à “imutabilidade” das normas técnicas, as agências normativas ao longo do tempo (tais como API e ASME) passaram a fomentar o desenvolvimento de políticas que incitavam a atualização rotineira de códigos e normas, de forma a refletirem as lições

aprendidas com as novas experiências observadas e as evoluções tecnológicas da época.

Por sua vez, em função da crescente preocupação do público em geral a respeito dos impactos dos grandes acidentes já ocorridos desde então e também das potenciais consequências que poderiam emergir de eventos catastróficos na indústria química, agências governamentais/reguladoras começaram a emitir regulamentações com o objetivo de se definir níveis mínimos de atividades para a prevenção de acidentes e, conseqüentemente, limitar os danos a trabalhadores, ao público e ao meio ambiente (CCPS, 2014). Esta filosofia, definida como Gestão de Segurança de Processo Baseada na Conformidade, é exemplificada internacionalmente por todos os regulamentos citados anteriormente na Tabela 3, principalmente no que tange às Diretivas Seveso na Europa e aos regulamentos da OSHA e da EPA nos Estados Unidos; e nacionalmente pelas resoluções e regulamentos técnicos de segurança propostos pela ANP e explicitados na Tabela 4.

Importante ressaltar que os regulamentos estabelecem exigências mínimas que podem não ser suficientes para gerenciar riscos adequadamente em alguns casos e, em outros, podem direcionar de forma demasiada os esforços das empresas às questões de Segurança de Processos (CCPS, 2014). Apesar de esta estratégia ter trazido resultados bastante positivos para a indústria, em contrapartida a mesma pode acarretar na adoção de uma mentalidade reativa e baseada apenas na conformidade e no atendimento de tais regulamentos.

A gestão de segurança de processos baseada em melhoria contínua surgiu no intuito de se atender aos crescentes anseios da sociedade como um todo direcionados ao aumento do nível de segurança das instalações industriais. Este movimento conduziu à incorporação de padrões de melhoria contínua pelas empresas no que diz respeito às políticas ambientais, de segurança e de saúde dos trabalhadores (CCPS, 2014). Neste âmbito, esta estratégia tem como um de seus pilares a utilização de indicadores de resultados para definir o histórico do desempenho e, assim, retroalimentar o sistema de gestão e eventualmente propor mudanças. Entretanto, caso os eventos monitorados por tais indicadores forem de baixa probabilidade e alto impacto, tais como os grandes acidentes (*major accidents*), esta estratégia tende a não ser bem-sucedida, pois a ausência de eventos de perdas não significa

necessariamente que o Sistema de Gestão de Segurança de Processo esteja operando satisfatoriamente. Conforme defendido pelo HSE (2006), para uma gestão adequada dos riscos devem ser acompanhados indicadores tanto reativos (tais como indicadores de perda) como proativos (usualmente empregados para monitoramento de barreiras de prevenção e de mitigação).

Por fim, seguindo o fluxograma destacado na Figura 6, além de cumprir as exigências normativas e regulatórias, bem como perseguir o conceito de melhoria contínua através de lições aprendidas oriundas da experiência da própria empresa e da indústria e realizar o monitoramento de indicadores de resultados, a abordagem da gestão da segurança de processo baseada em risco também aplica informação de risco e indicadores de tendência para ajudar a medir e prever de modo confiável o desempenho da organização. As Diretrizes para a Segurança de Processos Baseada em Risco encorajam as organizações a compreenderem e considerarem os riscos durante as tomadas de decisão (CCPS, 2014). Assim sendo, a compreensão dos perigos e riscos, o monitoramento de um conjunto de indicadores de tendência e de resultados, e a condução periódica de avaliações da gestão como um todo auxiliam os gestores a reforçar os pontos fortes, a identificar oportunidades de melhoria e empregar ações corretivas em tempo hábil e de forma eficiente (aplicação de conceitos de custo-benefício, gerindo de forma adequada os recursos disponíveis para a mitigação dos riscos).

2.3 SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS

Segundo Amyotte *et al.* (2017), existem diferentes estruturas (*frameworks*) de Sistemas de Gestão de Segurança de Processos adotados em diversos países ao redor do mundo, destacando-se aqueles propostos nos Estados Unidos pelo *Center for Chemical Process Safety* (CCPS), no Canadá pelo *Canadian Society for Chemical Engineering* (CSCChE), na União Européia (Diretiva Seveso III) e na Austrália (*Safe Work Australia*).

Adicionalmente, o autor aponta que, independente do Sistema de Gestão analisado, percebe-se que todos eles são estruturados com base em “elementos” bem definidos e que foram identificados ao longo do tempo através do aprendizado contínuo no que diz respeito à prevenção de acidentes. Assim sendo, a Figura 7 a seguir ilustra, através de uma linha do tempo, a evolução de conceitos importantes

para o estabelecimento de tais elementos, enquanto que a Figura 8, por sua vez, evidencia a relação entre alguns destes elementos e as lições aprendidas por meio da ocorrência de grandes acidentes na indústria.

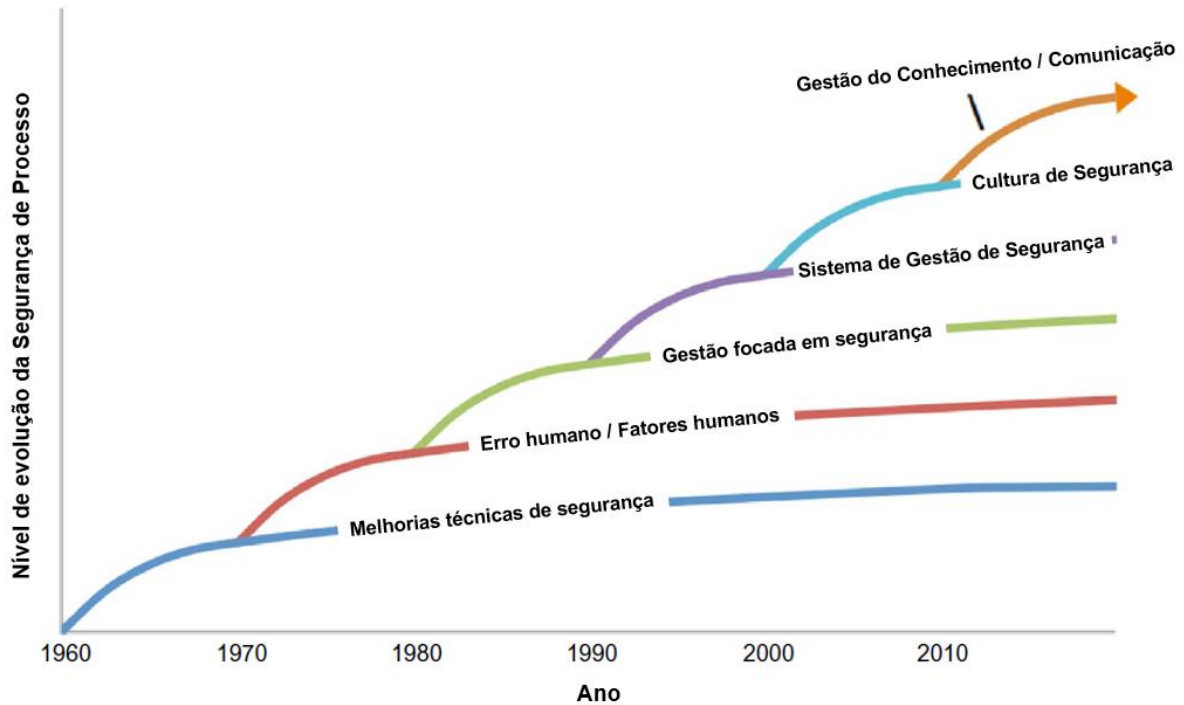


Figura 7 – Evolução de conceitos importantes para a Segurança de Processos.
 Fonte: Amyotte *et al.* (2017) – Traduzida pelo autor.

| Perda de Contenção | | Elementos de Segurança de Processos |
|--------------------|-------------------|---|
| Hoje | Hungary | |
| 2010 | Deepwater Horizon | Cultura de Segurança |
| 2005 | Texas City | Fatores Humanos |
| 2000 | | Localização da Instalação |
| 1995 | | |
| 1990 | | Gestão de Segurança de Processos |
| 1985 | Bhopal | Projeto Inerentemente Seguro |
| 1980 | | Resposta à emergência |
| 1975 | Seveso | Gestão de Mudanças |
| 1970 | Flixborough | Análise de Perigos de Processo |
| 1960s | | Investigação de Acidentes |

Figura 8 – Evolução de Elementos de Segurança de Processos - lições aprendidas.
 Fonte: Vaughen *et al.* (2012) – Traduzido pelo autor.

Neste contexto, apresenta-se a seguir na Figura 9 os elementos que compõem o Sistema de Gestão de Segurança de Processos Baseado em Risco recomendado pelo CCPS. Como se nota, são propostos quatro pilares dentro dos quais são classificados os diversos elementos de segurança de processos considerados, originados do processo evolutivo evidenciado nas figuras anteriores. Segundo Amyotte *et al.* (2017), o principal propósito da estrutura evidenciada na figura é, primeiramente, permitir a visualização geral do Sistema de Gestão proposto e, conseqüentemente, servir como guia para identificação de requerimentos de performance auditáveis referentes a cada elemento de forma a promover, por fim, a melhoria contínua da segurança de processos.

Finalmente, ressalta-se o grau de evolução do Sistema de Gestão proposto pelo CCPS comparativamente aos demais (conforme apresentado pelo referido autor) e também o fato de as práticas de gestão que compõem as resoluções e regulamentos publicados no Brasil pela ANP (MENDES *et al.*, 2014) possuírem forte correlação com os elementos estabelecidos pela referida instituição americana (fato este evidenciado a seguir na Tabela 5).

2.4 MÉTRICAS

Seguindo o princípio básico estabelecido pelo físico irlandês do Século XIX William Thompson (também conhecido como Lord Kelvin) de que não se pode aprimorar aquilo que não se pode medir, o qual certamente é aplicável no aferimento da eficiência e da eficácia de Sistemas de Gestão de uma forma geral, Aziz (2016) defende que a utilização de Indicadores de Performance de Segurança de Processo (PSPIs) é uma prática que tem o potencial de auxiliar organizações a inferirem o nível de risco associado às suas atividades e até mesmo ser um indicativo da probabilidade de ocorrência de um dado cenário acidental.

Adicionalmente, Aziz (2016) também estabelece que um programa efetivo de PSPIs tem a capacidade de fornecer indicativos de deterioração de sistemas de segurança críticos, os quais permitem às empresas implementarem ações para mitigação dos riscos associados. Adicionalmente, os indicadores também podem ser utilizados para realização de *benchmarks* entre instalações da mesma empresa e também entre diferentes organizações.

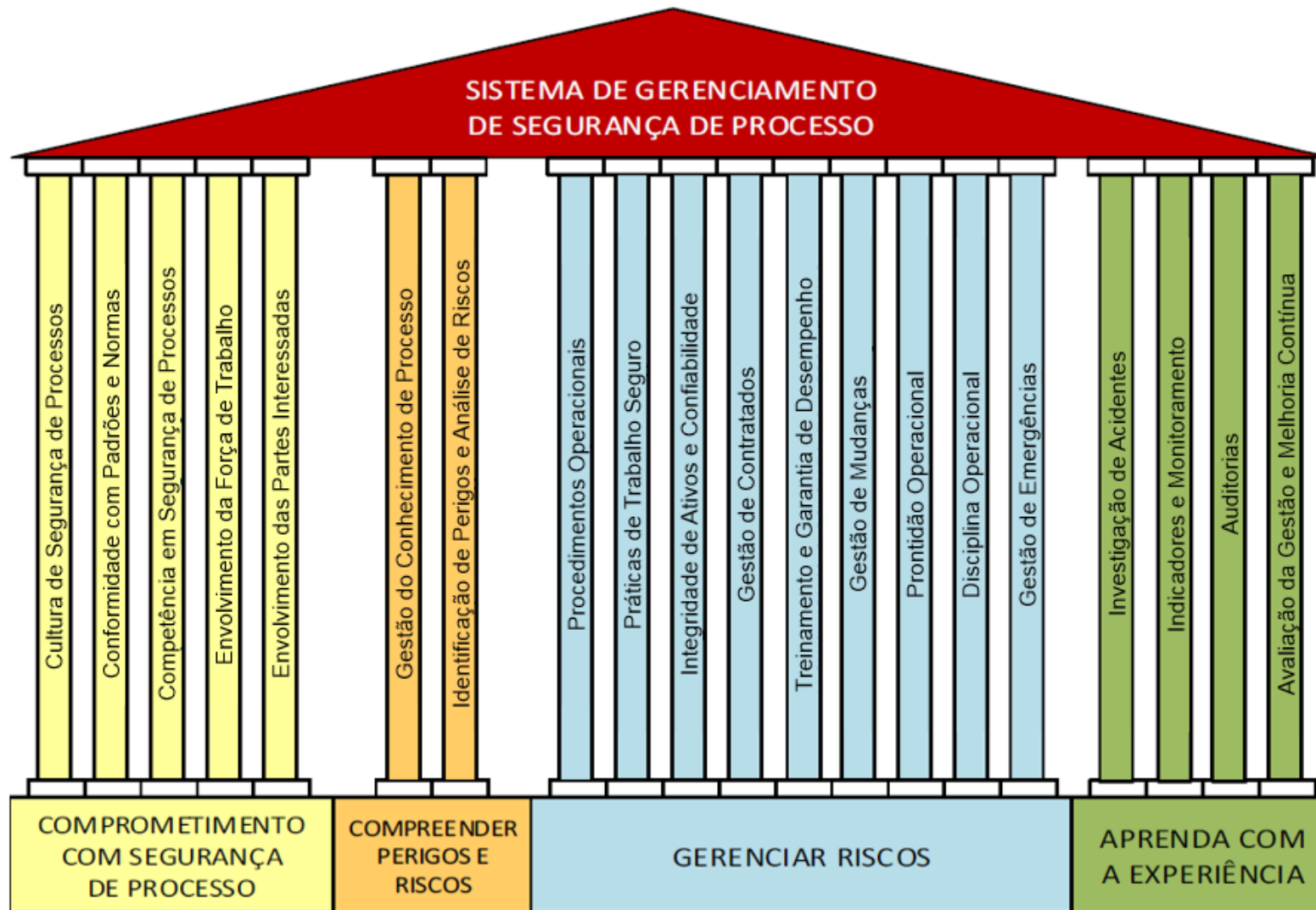


Figura 9 – Elementos e Pilares propostos pelo Sistema de Gestão de Segurança de Processos do CCPS.
 Fonte: CCPS (2019) – Adaptado pelo autor.

Tabela 5 – Correlação entre Práticas de Gestão da ANP e Elementos do CCPS.

Fonte: O autor.

| # | Práticas de Gestão da ANP | Elementos de Seg. de Processos do CCPS |
|----|---|--|
| 1 | Cultura de Segurança, compromisso e responsabilidade gerencial | Cultura de Segurança de Processos |
| 2 | Envolvimento de Pessoal | Envolvimento da Força de Trabalho |
| 3 | Qualificação, treinamento e desempenho do pessoal | Competência em Segurança de Processos |
| 4 | Ambiente de trabalho e fatores humanos | Não há um elemento específico, apesar do tema permear todo o processo |
| 5 | Seleção, controle e gerenciamento de contratadas | Gestão de Contratados |
| 6 | Monitoramento e Melhoria Contínua do Desempenho | Indicadores e Monitoramento Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua |
| 7 | Auditorias | Auditorias |
| 8 | Gestão da informação e da documentação | Gestão do Conhecimento de Processo Procedimentos Operacionais |
| 9 | Investigação de Incidentes | Investigação de Acidentes |
| 10 | Projeto, Construção, Instalação e Desativação | Integridade de Ativos e Confiabilidade Conformidade com Padrões e Normas |
| 11 | Elementos Críticos de Segurança Operacional | Integridade de Ativos e Confiabilidade |
| 12 | Identificação e Análise de Riscos | Identificação de Perigos e Análise de Riscos |
| 13 | Integridade Mecânica | Integridade de Ativos e Confiabilidade |
| 14 | Planejamento e Gerenciamento de Grandes Emergências | Gestão de Emergência |
| 15 | Procedimentos Operacionais | Procedimentos Operacionais |
| 16 | Gerenciamento de Mudanças | Gestão de Mudanças |
| 17 | Práticas de Trabalho Seguro e Procedimentos de Controle em Atividades Especiais | Práticas de Trabalho Seguro Disciplina Operacional Prontidão Operacional |

Neste âmbito, Swuste *et al.* (2016) realizou um levantamento do estado da arte bastante robusto a respeito do tema. Segundo o autor, apesar de haver diversas publicações que abordam os conceitos relacionados aos indicadores de segurança de processo, há poucos trabalhos empíricos a respeito deste tópico. Assim, do ponto de vista conceitual, é frequente a classificação de tais indicadores em dois grandes grupos, definidos como “indicadores reativos” (*lagging indicators*) e “indicadores proativos” (*leading indicators*), os quais, por definição, devem prover informações referentes ao nível de segurança de um dado sistema. Ressalta-se, porém, que a segurança é por definição uma condição associada a um dado processo que varia com o tempo (condição dinâmica) e que apenas pode ser medida de forma indireta e aproximada.

De forma a demonstrar a diferença entre estes dois tipos de indicadores (o que aparentemente não constitui um consenso conceitual entre as diversas bibliografias estudadas), o referido autor faz uso da “metáfora” Bowtie, a qual foi inicialmente proposta por Nielsen (1971) e cujo diagrama esquemático é demonstrado na Figura 10.

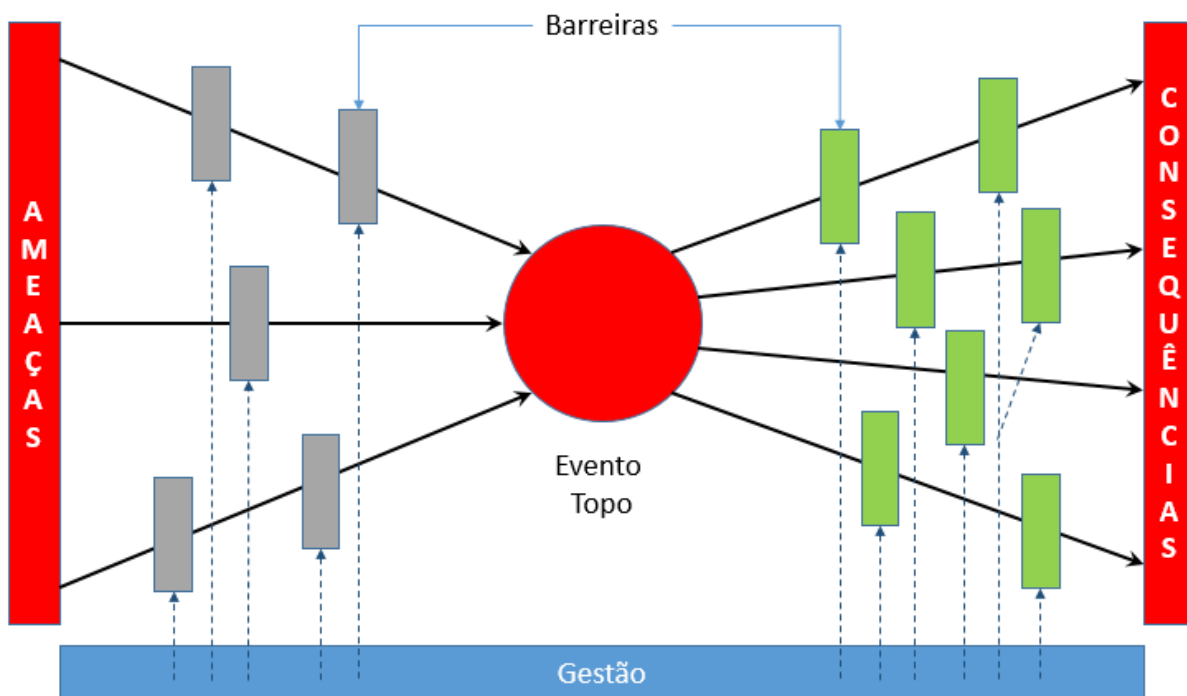


Figura 10 – Diagrama Bowtie.
Fonte: Swuste *et al.* (2016) – Adaptado pelo autor.

Como se nota no diagrama, o Bowtie tem como foco principal o Evento Topo (ou Evento Crítico), o qual é usualmente definido, dentro da disciplina de segurança de processo, como um evento de Perda de Contenção (*Loss of Containment – LOC*) ou

de Perda de Integridade Física (*Loss of Physical Integrity* – LPI). O lado esquerdo, também denominado “Árvore de Falha”, tem como objetivo identificar os possíveis cenários (setas em preto) que, a partir das possíveis causas/ameaças, possam levar à concretização do Evento Topo. Por sua vez, o lado direito, denominado “Árvore de Eventos”, mapeia os cenários que podem se desdobrar nas consequências a partir do evento central¹ (DELVOSALLE *et al.*, 2006). Interessante ressaltar que tais cenários possuem dinâmica diferentes: enquanto cenários que interligam ameaças e Evento Topo podem permanecer latentes e levar muito tempo para se concretizarem, os cenários da direita que se desdobram nas consequências podem ocorrer em questão de segundos (SWUSTE *et al.*, 2016).

Adicionalmente, a Figura 10 também apresenta estruturas denominadas “Barreiras” de segurança, as quais usualmente são representadas por sistemas físicos ou ações humanas fundamentadas em procedimentos específicos ou controles administrativos e que devem ser continuamente monitoradas (setas pontilhadas) pelo sistema de gestão de segurança/riscos no intuito de garantir a integridade das mesmas ao longo do tempo. Tais barreiras necessariamente estão associadas a uma dada função de segurança (*safety function*), a qual, por sua vez, é definida como uma ação a ser realizada no intuito de evitar/prevenir que um dado evento indesejado ocorra (barreiras preventivas – blocos em cinza), ou limitar/controlar as consequências após a eventual concretização deste evento (barreiras mitigadoras – blocos em verde). Assim sendo, o elemento responsável por implementar a função de segurança é de fato a barreira (DELVOSALLE *et al.*, 2006).

Isto posto, a distinção entre indicadores proativos e reativos proposta por Swuste *et al.* (2016) com base no Bowtie se torna simples de ser apresentada. Segundo o autor, usualmente os indicadores proativos são relacionados diretamente com as ameaças, as barreiras e respectivos cenários/fatores de gestão; enquanto que os indicadores reativos normalmente estão associados ao evento topo e às consequências. Hopkins (2009) corrobora e complementa esta visão, preconizando que indicadores proativos são associados ao monitoramento ativo da segurança, enquanto o segundo grupo relaciona-se ao monitoramento reativo.

¹ Segundo DELVOSALLE *et al.* (2006), o Bowtie é uma ferramenta amplamente utilizada para auxiliar no processo de identificação de riscos, a qual inclusive constitui um dos pilares do projeto ARAMIS (*Accidental Risk Assessment Methodology for Industries*) desenvolvido em resposta à publicação da Diretiva Seveso II na Europa.

Por outro lado, Aziz (2016) apresenta outras duas perspectivas relacionadas à definição de indicadores de segurança de processos, ambas defendidas por instituições bastante reconhecidas a nível internacional nesta área. A primeira, defendida pelo CCPS (2019), tem como base a definição de quatro níveis diferentes de gravidade relacionados à ocorrência de eventos de perda de contenção, denominados “Tiers”. A segunda, proposta pelo HSE (2006), fundamenta-se também no conceito de barreiras de segurança, denominadas Sistemas de Controle de Risco (RCS – *Risk Control System*). Dada a importância, ambos são apresentados em subitens a seguir.

2.4.1 Indicadores – Proposta CCPS

Conforme citado anteriormente, a abordagem do CCPS (2019) tem como fundamento básico a definição de “Tiers”, os quais originalmente foram propostos pela norma americana API RP 754 (API, 2016) e são ilustrados a seguir na Figura 11. Como se nota, os eventos relacionados à segurança de processos são classificados em diferentes níveis da pirâmide de acordo com as respectivas severidades – ou seja, acidentes de maior consequência são alocados no topo, enquanto eventos de menor impacto na base. A lógica representada por meio da pirâmide é que eventos de menor gravidade (localizados na base) são mais frequentes e ocorrem antes da concretização de um evento maior, catastrófico (topo). Se por hipótese em uma dada instalação industrial eventos de baixo impacto começarem a ocorrer mais frequentemente, isto teoricamente pode ser um presságio de que eventos de maior impacto estão na iminência de ocorrerem (Aziz, 2016).

Deste modo, a pirâmide é dividida em quatro níveis:

- Tier 1: eventos de segurança de processo de Consequências Maiores;
- Tier 2: eventos de segurança de processo de Consequências Menores;
- Tier 3: Desafios às Camadas de Proteção (ver Figura 12);
- Tier 4: Deficiências na disciplina operacional e/ou no Sistema de Gestão.

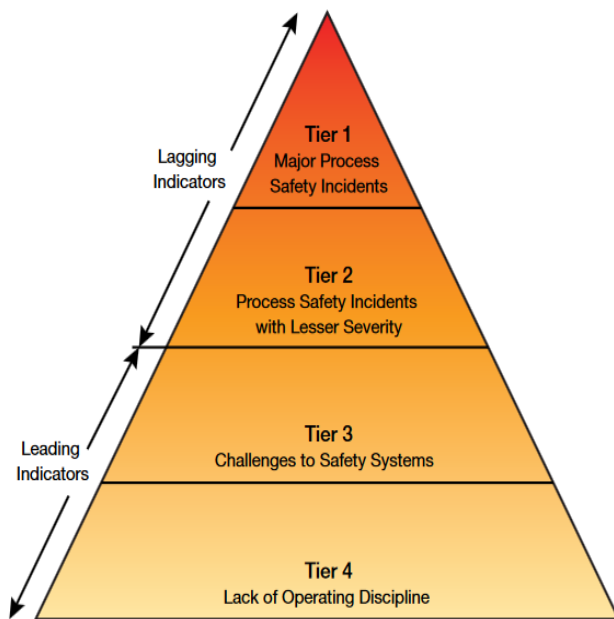


Figura 11 – Abordagem proposta pelo CCPS /API baseada no conceito e Tiers.
Fonte: API (2016).

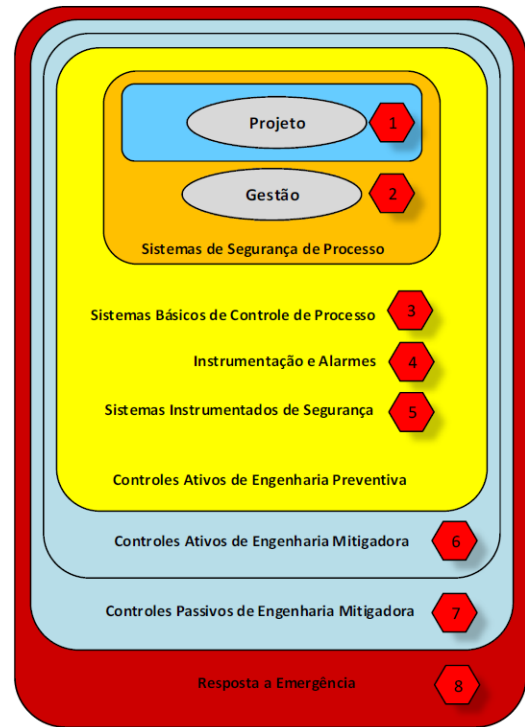


Figura 12 – Hierarquia de Camadas de Proteção proposta pelo CCPS.
Fonte: CCPS (2019).

De acordo com esta abordagem, os indicadores reativos estão relacionados aos eventos localizados mais próximos do topo da pirâmide, ou seja, eventos associados a perda de contenção com maior ou menor gravidade (Tiers 1 e 2). Por outro lado, os indicadores proativos são aqueles relacionados à base, que não contabilizam a ocorrência do Evento Topo em si (vazamento), mas sim tem como foco os eventos precursores, tais como desafios às camadas de proteção e deficiências no sistema de gestão (ambas, analogamente, representando exemplos de barreiras de segurança definidas anteriormente no Bowtie).

Importante destacar que esta abordagem baseada em “Tiers” tem sido adotada também pelo *International Association of Oil and Gas Producers* (IOGP, 2011) e pelo *European Chemical Industry Council* (CEFIC, 2011).

2.4.2 Indicadores – Proposta HSE

O HSE (2006) elaborou um guia com base nas práticas adotadas pelas indústrias químicas do Reino Unido para o desenvolvimento, a seleção e a implementação de indicadores para riscos maiores de processo (*major process risks*) associados a esta atividade. Segundo Hopkins (2009), o ponto de partida deste trabalho desenvolvido

pelo HSE é a metáfora do queijo suíço (REASON, 1990), o qual constitui uma ferramenta visual (assim como o Bowtie) que facilita o entendimento da aplicação do conceito de barreiras de segurança e, neste caso, também as possíveis fragilidades (degradações) destas barreiras (representadas pelos furos do queijo) as quais, alinhadas, podem levar a concretização de eventos indesejados e respectivas consequências (ver Figura 13).

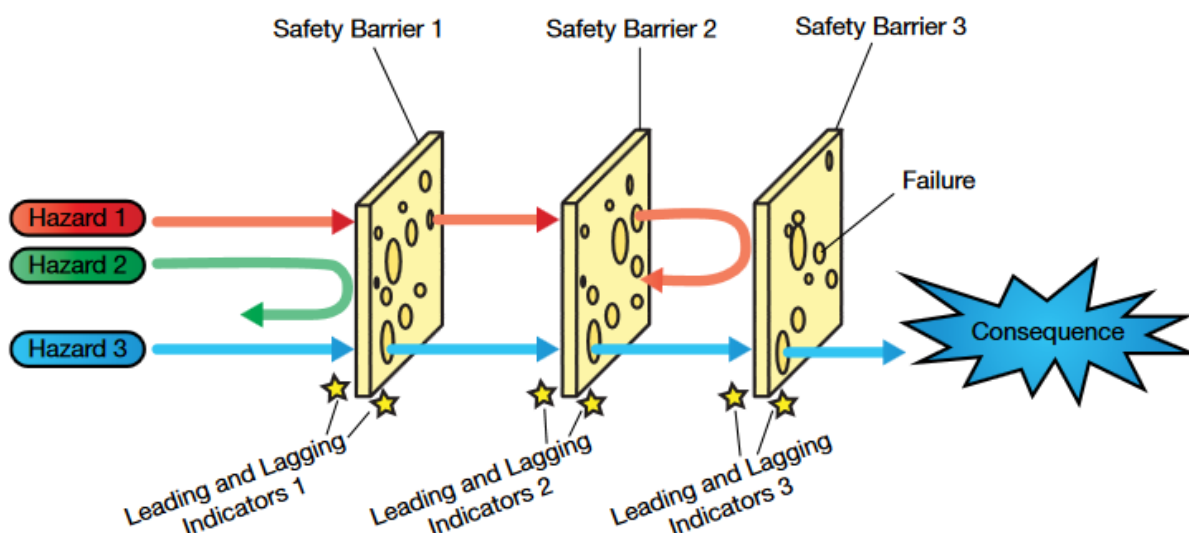


Figura 13 – Metáfora do Queijo Suíço.
Fonte: Aziz (2016).

Comparativamente ao que já foi apresentado anteriormente, a inovação trazida pelo modelo do HSE é a definição de indicadores proativos (*leading*) e reativos (*lagging*) para cada uma das barreiras de segurança pertinentes a um dado processo analisado (HOPKINS, 2009), as quais neste caso são denominadas de Sistemas de Controle de Risco (*Risk Control System* – RCS – Figura 14). Estes dois tipos de indicadores têm como finalidade avaliar a performance de um dado controle, promovendo, portanto, uma “dupla checagem” (SWUSTE *et al.*, 2016) do mesmo.

Seguindo esta lógica, os indicadores proativos têm a finalidade de identificar degradações nos Sistemas de Controle de Risco considerados críticos durante as inspeções de rotina associadas à fase de operação normal da planta, de forma a promover o monitoramento contínuo das barreiras e certificar de que as mesmas continuam a contribuir para redução dos riscos operacionais. Por sua vez, os indicadores reativos visam explicitar as falhas nestes mesmos Sistemas de Controle de Risco críticos associadas de fato à concretização de eventos indesejáveis (as quais podem ser identificadas, por exemplo, em processos de reporte e investigação dos

mesmos) e, conseqüentemente, revelar fragilidades e permitir o aperfeiçoamento contínuo. Segundo o HSE (2006), estes eventos indesejados não necessariamente devem resultar em fatalidades ou danos ao meio ambiente, podendo ser qualquer ocorrência que represente de fato uma falha do Sistema de Controle de Risco analisado.

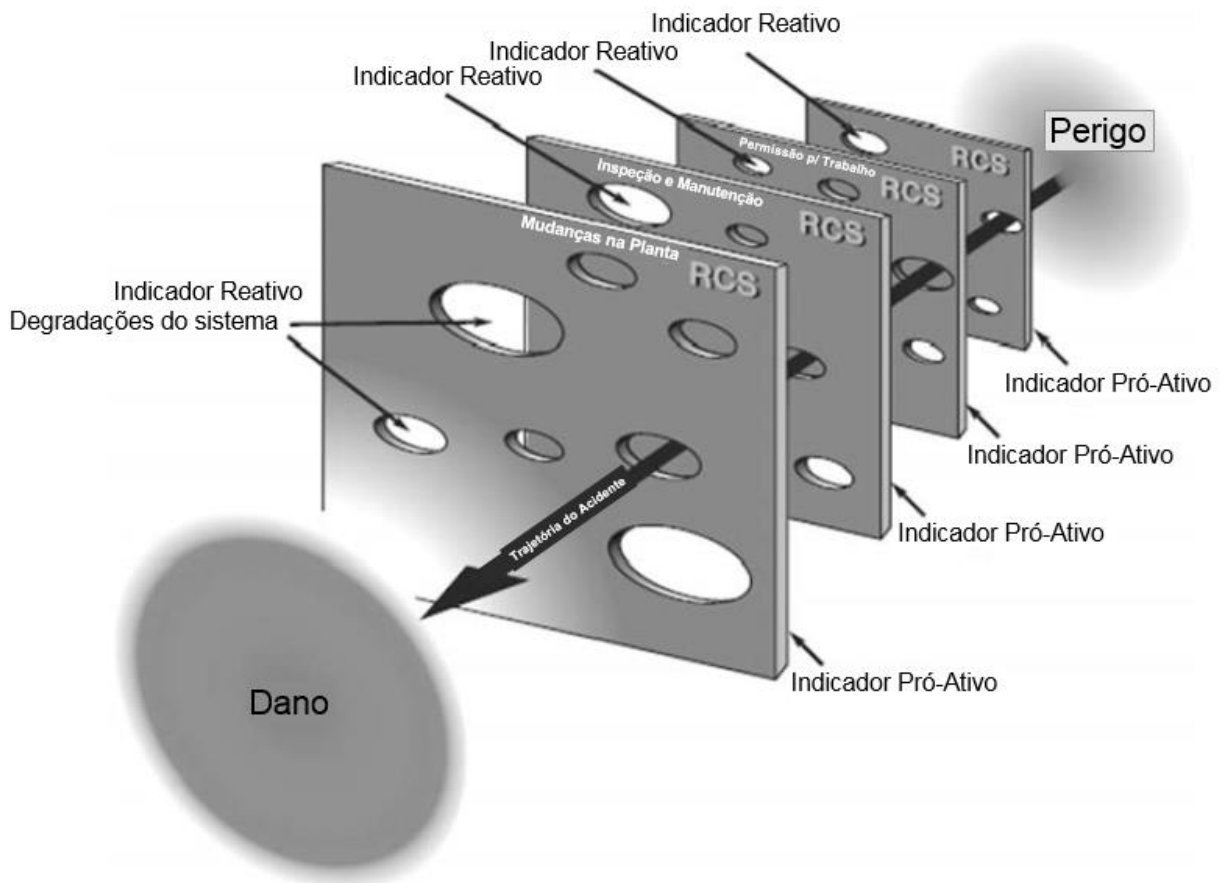


Figura 14 – Indicadores Reativos e Proativos aplicados a Sistemas de Controle de Risco.
Fonte: Hopkins (2009) – Traduzido pelo autor.

Para ilustrar os conceitos apresentados pelo HSE, um exemplo de um indicador proativo genérico seria o percentual de inspeções e manutenções realizadas em uma dada planta de processo frente ao total programado em um dado intervalo de tempo. O indicador reativo correspondente, por sua vez, poderia ser o número de acidentes de segurança de processo ocorridos na planta causados pela não realização ou por falhas na gestão dos procedimentos de inspeção e manutenção.

Adicionalmente, ressalta-se a importância da filosofia proposta pelo HSE (2006) referente à dupla checagem da efetividade dos Sistemas de Controle de Risco através de indicadores proativos e reativos. Conforme ilustrado na Figura 15, ambos atuam

como “guardiões” no sentido de monitorar e confirmar se as barreiras estão funcionando conforme planejado ou indicar a degradação das mesmas ao longo do tempo. Neste âmbito, o alinhamento da resposta de ambos é imprescindível, de forma que, se por exemplo, para uma dada barreira os indicadores proativos sinalizam alguma fragilidade/deficiência e os indicadores reativos são satisfatórios, isto pode significar que estes indicadores proativos não são de fato representativos para avaliar o Sistema de Controle em questão. Por outro lado, a situação contrária pode sinalizar que a barreira em questão é ineficaz na mitigação do risco.

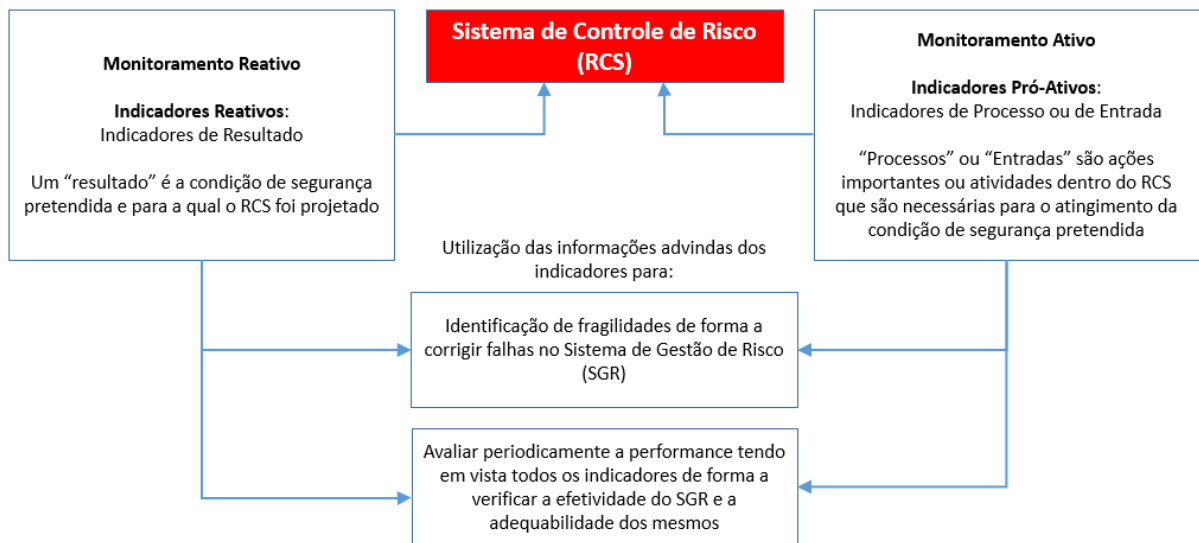


Figura 15 – Filosofia da “Dupla Checagem” baseada em indicadores reativos e proativos.
 Fonte: HSE (2006) – Traduzido pelo autor.

Por fim, a Tabela 6 a seguir relaciona diversos indicadores de segurança de processos levantados por Swuste *et al.* (2016) na literatura, os quais representam o estado da técnica oriunda de instituições como HSE, CCPS, IOGP, API e similares.

Tabela 6 – Indicadores de Segurança de Processos – Levantamento.
 Fonte: Swuste *et al.* (2016).

| # | Indicadores | Fonte |
|----|---|---|
| 1 | Alarmes: falhas, número de ocorrências por período de tempo | IOGP (2011), IOGP (2008) |
| 2 | Exposição a materiais/atividades perigosos | UK Oil and Gas Industry (2012) |
| 3 | Estado de Segurança: indesejados | OECD (2008a, b) |
| 4 | Acidentes: número | CCPS (2011) |
| 5 | Vazamentos: número, quantidade | CCPS (2011), ANSI_API (2016), CEFIC (2011) |
| 6 | Incêndios, Explosões: número de ocorrências, custos | IOGP (2011), HSE (2006), CCPS (2011), ANSI_API (2016), CEFIC (2011) |
| 7 | Perda de Contenção: quantidade, número de ocorrências | IOGP (2011), HSE (2006), CCPS (2011), ANSI_API (2016), CEFIC (2011) |
| 8 | Projeto: falhas | UK Oil and Gas Industry (2012), IOGP (2011), IOGP (2008), HSE (2006), OECD (2008a, b) , IOGP (2011), IOGP (2008) |
| 9 | Manutenção: controle de qualidade, falhas | |
| 10 | Testes: falhas | IOGP (2011), HSE (2006) |
| 11 | Sistemas de Segurança: frequência de ativação | IOGP (2011), ANSI_API (2016) |
| 12 | Instalações inerentemente seguras: número | OECD (2008a, b) |
| 13 | Perturbações de processo fora do escopo de projeto: número | EPSC (2012), ANSI_API (2016) |
| 14 | Sistemas de Segurança: frequência de falha | HSE (2006), ANSI_API (2016) |
| 15 | Inventário de produtos perigosos: quantidades | OECD (2008a, b) |

Siglas:

IOGP: International Association of Oil and Gas Producers.
 OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development.
 CCPS: Center for Chemical Process Safety.
 ANSI_API: American National Standards Institute / American Petroleum Institute.
 CEFIC: European Chemical Industry Council.
 HSE: Health and Safety Executive – UK.
 EPSC: European Political Strategy Centre.

2.5 ESTABELECIMENTO DO ESTADO DA TÉCNICA

De acordo com Bolt *et al.* (2006), estatísticas disponibilizadas por bancos de dados de falhas em dutos permitem inferir que a atividade dutoviária constitui a forma mais segura de transporte de gás a alta pressão quando comparado com outros modais de transporte. É perceptível nas diversas regiões do globo que a indústria dutoviária dispense grande quantidade de recursos no sentido de assegurar níveis de segurança aceitáveis às comunidades e aos ecossistemas presentes nas vizinhanças das faixas de dutos durante todo o ciclo de vida destes ativos.

Entretanto, segundo Alves *et al.* (2018), a indústria dutoviária, tanto no Brasil como nos demais países, vem sendo cada vez mais requisitada a demonstrar aos órgãos de controle (tais como agências regulatórias e ambientais) e à sociedade, indicadores de segurança que reflitam a performance desta atividade durante as etapas do ciclo de vida de seus ativos (tal como a resolução 44 da ANP que solicita dados de incidentes). Tais demandas se baseiam no princípio do estabelecimento de um canal de comunicação mais aberto entre indústria em geral e as demais partes interessadas envolvidas (*stakeholders*).

Bolt *et al.* (2006) propõe um guia para se criar um banco de dados de falhas em dutos de transporte de gás natural, de forma a subsidiar empresas ou demais instituições a iniciarem de forma estruturada a coleta de dados relevantes relacionados ao tema de segurança da atividade dutoviária. Neste sentido, o primeiro passo foi o levantamento do estado da técnica, ou seja, o levantamento dos bancos de dados que coletam dados e estabelecem indicadores de segurança referentes a gasodutos oriundos de diferentes partes do mundo, os quais são relacionados na Tabela 7 a seguir. Importante ressaltar que várias destas referências não possuem escopo restrito apenas a informações relacionadas a dutos de transporte de gás natural, coletando também informações referentes a oleodutos.

No tocante especificamente a dutos que transportam hidrocarbonetos líquidos, o banco de dados do CONCAWE também merece destaque, sendo citado por diversos trabalhos científicos da área (ALOQAILY, 2018). Juntamente com este último, o banco de dados do NOSDRA (OZIGIS *et al.*, 2020) (o mais recentemente criado dentre as referências encontradas na literatura) complementam a relação

explicitada na Tabela 7. No item seguinte, portanto, apresenta-se uma breve descrição de todos os bancos de dados identificados.

Tabela 7 – Levantamento dos Bancos de Dados de Falha em Dutos.

Fonte: Bolt *et al.* (2006) e Aloqaily (2018).

| Instituição | País/Região | Escopo | |
|-------------|----------------|-----------|-----------|
| | | Gasodutos | Oleodutos |
| CER | Canadá | X | X |
| DOT | Estados Unidos | X | X |
| EGIG | Europa | X | |
| CONCAWE | Europa | | X |
| UKOPA | Reino Unido | X | X |
| APIA | Austrália | X | X |
| NOSDRA | Nigéria | | X |

2.5.1 CER – *Canadian Energy Regulator*

Recentemente criado em 2018, o *Canadian Energy Regulator* (CER) atualmente exerce as funções anteriormente desempenhadas pelo NEB (*National Energy Board*) no que diz respeito à regulação da atividade dutoviária no Canadá e, desta forma, tornou-se automaticamente a instituição responsável pela coleta e organização de dados relacionados à segurança dos gasodutos e oleodutos no país (prática esta iniciada em 2001).

Dentre os diversos regulamentos preconizados pelo CER, o *Onshore Pipeline Regulations* (OPR) publicado em 1999 estabelece que esta agência reguladora deve ser notificada imediatamente pelas companhias operadoras canadenses a respeito de qualquer incidente relativo às etapas de construção, operação e abandono/descomissionamento relacionado a seus dutos, bem como submeter um relatório preliminar detalhando o evento assim que possível. Neste âmbito, incidentes são definidos como eventos de perda de contenção que resultem em:

- Fatalidade ou ferimentos graves em pessoas;
- Efeito adverso significativo ao meio ambiente;
- Incêndio ou explosão não intencionais;
- Vazamentos não intencionais de hidrocarbonetos de baixa pressão de vapor (LVP² – *Low Vapour Pressure*) acima de 1,5 m³;

² Segundo o CER, LVP tipicamente são representados por substâncias como petróleo ou derivados tais como gasolina ou diesel.

- Vazamentos não intencionais de hidrocarbonetos de alta pressão de vapor (HVP³ – *High Vapour Pressure*);
- Eventos operacionais em dutos que extrapolem os limites de projeto estabelecidos pelas normas CSA Z662 ou CSA Z276 ou qualquer outro limite estabelecido pela agência.

Importante destacar que, além do banco de dados, o NEB a partir de 2014 passou a produzir também um relatório de performance de segurança da atividade dutoviária no Canadá com o intuito de proteção do público e do meio ambiente (NEB, 2019). Segundo a agência, as métricas de performance são componentes indispensáveis dos sistemas de gestão de segurança/riscos, uma vez que focam tanto na melhoria contínua das barreiras estabelecidas para prevenir a ocorrência dos incidentes explicitados acima (indicadores proativos), bem como medir/quantificar as consequências dos mesmos após sua ocorrência (indicadores reativos).

2.5.2 DOT – *Department of Transportation*

O Departamento de Transporte dos Estados Unidos (*U.S. Department of Transportation*) foi criado em 1966 pelo congresso Americano com a incumbência de gerir a operação de diferentes modais de transporte no país, dentre os quais incluem aeroviário, rodoviário, ferroviário e dutoviário. Os dutos são regulados pelo regulamento intitulado *Office of Pipeline Safety* (OPS), sob fiscalização da PHMSA (*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*).

Segundo Evans *et al.* (2014), o banco de dados do DOT cobre aproximadamente 40.000 incidentes em dutos de diversos tipos (dutos de distribuição, transporte e de coleta) coletados desde 1968, a respeito dos quais são fornecidas informações detalhadas a respeito de ocorrências de fatalidades, feridos, perdas patrimoniais, danos ambientais, local e causa do evento, além de características físicas do ativo (material, diâmetro, espessura etc).

Entretanto, o referido autor enfatiza que houve mudanças ao longo do tempo (a primeira em 1984 e a segunda em 2002) dos critérios utilizados para reporte dos eventos, podendo levar, portanto, a inconsistências estatísticas quando da tentativa

³ Segundo o CER, HVP em geral são representados por gases liquefeitos, tais como propano e butano. Eles são transportados no estado líquido nos dutos, porém quando liberados na atmosfera se vaporizam com a expansão.

de se analisar os dados durante todo o período de existência do banco de dados. Esta informação é de suma importância, uma vez que o critério de reporte é um dos insumos mais relevantes para o estabelecimento de um banco de dados estruturado.

Considerando este contexto, explicitam-se abaixo os critérios atualmente utilizados pelo DOT (definidos em 2002) para reporte de eventos, respectivamente, para gasodutos e oleodutos de transporte:

1) Gasodutos – Eventos que resultem em:

- Perdas patrimoniais ao operador e outras entidades (terceiros) acima de US\$50.000,00 (cinquenta mil dólares), excluindo o valor do produto liberado (gás);
- Uma ou mais fatalidades;
- Uma ou mais pessoas feridas e que sejam hospitalizadas;
- Parada de planta de gás natural liquefeito (GNL);
- Demais eventos considerados significativos a critério do operador, mesmo que os quatro itens acima não sejam atendidos.

2) Oleodutos – Eventos que resultem em:

- Perdas patrimoniais ao operador e outras entidades (terceiros) acima de US\$50.000,00 (cinquenta mil dólares), incluindo o valor do produto liberado (líquido) e custos de remediação/limpeza;
- Uma ou mais fatalidades;
- Uma ou mais pessoas feridas e que sejam hospitalizadas;
- Incêndio ou Explosão;
- Perda de cinco ou mais galões ou, em alguns casos, cinco ou mais barris de líquido perigoso.

Além de dados referentes ao evento, o DOT solicita aos operadores o reporte anual de informações referentes à malha de dutos, de forma a prover posteriormente estatísticas normalizadas por “comprimento de duto”. Estes atributos incluem a extensão dos dutos por tipo de material, diâmetro nominal, ano de construção, classe de locação, dentre outros. Isto permite, posteriormente, a análise da influência de tais fatores na ocorrência dos eventos de falha.

Por fim, à semelhança do Canadá, o DOT solicita através de formulários a serem preenchidos anualmente pelos operadores (PHMSA, 2014; PHMSA, 2019a) o reporte detalhado de indicadores proativos, os quais complementam os indicadores reativos

requeridos nos formulários fornecidos pelas empresas (PHMSA, 2019b; PHMSA, 2019c) após a ocorrência dos eventos que atendem aos critérios de reporte descritos anteriormente.

2.5.3 EGIG – *European Gas Pipeline Incident Data Group*

Diferentemente dos países da América do Norte citados anteriormente, na Europa de uma forma geral não é exigido pelos órgãos de controle o reporte de ocorrências com a finalidade específica de se organizar Bancos de Dados de falhas para dutos.

Entretanto, em 1982 seis empresas europeias operadores de gasodutos de transporte se organizaram para reunir dados referentes a eventos de perda de contenção devido a causas não intencionais em seus ativos, dando origem ao *European Gas Pipeline Incident Data Group* – EGIG (BOLT *et al.*, 2006). O principal objetivo deste grupo era construir uma base estatística sólida a partir de dados oriundos de diferentes empresas, de forma a serem obtidos frequências e probabilidades associados a tais eventos mais representativos do que aqueles alcançados isoladamente pelas empresas. Atualmente, segundo o relatório mais atual emitido (EGIG, 2018), participam desta iniciativa 17 operadoras europeias, as quais são proprietárias de um extenso banco de dados coletados desde 1970.

Segundo EGIG (2018), considerando o número de participantes, a extensão da malha de dutos monitorada e o respectivo tempo de exposição, este banco de dados consiste em uma fonte confiável de informações referentes a eventos de perda de contenção associados à malha europeia de gasodutos de transporte (o que é corroborado por Aloqaily (2018)). Entretanto, uma vez que no relatório são apresentados dados médios (normalizados pela extensão total da malha), é ressaltado que características geográficas específicas de cada país não são necessariamente refletidas em tais dados.

Outra característica importante ressaltada é que, diferentemente da referência americana citada acima, os critérios de reporte neste caso foram consistentemente mantidos ao longo de todo o período, permitindo a comparação entre dados antigos e recentes e a interpretação dos mesmos de forma adequada. Os critérios de reporte aplicados pelo EGIG (2018) são:

- O incidente deve levar a uma perda de contenção não intencional de produto;

- O duto deve atender às seguintes condições:
 - O material dos tubos deve ser aço;
 - Ser terrestre (*onshore*);
 - Ter uma pressão máxima de operação acima de 15 barg (pressão manométrica);
 - Ser extramuros (ou seja, o escopo deste banco de dados apenas aborda trechos de dutos localizados fora das cercas das instalações pontuais, tais como estações de compressão, pontos de entrega, refinarias etc).
- Adicionalmente, ressalta-se que linhas de coleta (*gathering lines*) ou quaisquer equipamentos e componentes (como válvulas e compressores) não fazem parte do escopo do Banco de Dados do EGIG.

Entretanto, esta fonte europeia e a americana possuem também pontos em comum, tais como o fato das frequências de falha serem normalizadas “por comprimento de duto” e a discriminação destas frequências por atributos dos ativos, tais como diâmetro, espessura, ano de construção, material etc.

Por fim, cabe ressaltar que, ao mesmo tempo que o EGIG constitui a fonte de dados de falha para gasodutos de transporte mais consistente e representativa presente na literatura (ALQAILY, 2018), esta referência é estritamente focada em indicadores reativos associados a eventos de perda de contenção, não sendo o foco desta organização o reporte de um monitoramento contínuo de indicadores proativos associados à malha europeia de gasodutos.

2.5.4 CONCAWE – *Environmental Science for European Refining*

De forma análoga ao EGIG, diversas empresas europeias operadoras de oleodutos se reuniram ao longo do tempo com o objetivo de coletar dados de falha associados a eventos de vazamento de petróleo cru e seus derivados líquidos, dando origem ao *Concawe Oil Pipelines Management Group* (CONCAWE, 2019). A região geográfica originalmente coberta pelo grupo era compatível com os termos da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) da Europa Ocidental, a qual incluía na época 19 países membros (abarcando a Turquia, que excepcionalmente não fazia parte da OCDE). De 1971 a 1988, apenas dutos pertencentes a companhias da área de óleo e gás compunham o escopo do

CONCAWE, porém sistemas de oleodutos não comerciais (essencialmente pertencentes à OTAN) também passaram a fazer parte a partir de 1988. Além disso, após a reunificação da Alemanha, os oleodutos pertencentes à Alemanha Oriental também foram adicionados em 1991, seguidos da incorporação dos dutos localizados na República Tcheca e Hungria em 2001; Eslováquia em 2003; e Croácia em 2007. Neste contexto, atualmente o banco de dados do CONCAWE abrange 76 empresas e agências que operam um total de mais de 35 mil quilômetros de oleodutos.

Segundo CONCAWE (2019), o principal objetivo deste banco de dados consiste na demonstração da performance do ponto de vista de segurança dos ativos monitorados tendo como foco a ocorrência de eventos associados a perda de contenção na malha de oleodutos europeia. Como indicadores, destacam-se a frequência de ocorrência de eventos desta natureza considerando as possíveis causas (agrupadas em 5 categorias), bem como o reporte da quantidade de volumes liberados para o meio ambiente e o total de quilômetros de dutos inspecionados anualmente por ferramentas que permitem analisar a integridade dos ativos.

À semelhança do EGIG, os critérios de reporte do CONCAWE também permaneceram imutáveis ao longo de todo o período de coleta de dados. Os critérios atuais aplicados pelo CONCAWE (2019) são:

- O duto deve atender às seguintes condições:
 - Transportar petróleo cru ou seus derivados líquidos;
 - Possuir comprimento mínimo de 2 quilômetros em domínio público (extramuros);
 - Ser terrestre (*onshore*), incluindo os trechos de travessia com rios e estuários de pequena extensão. Dutos submarinos e de coleta (*gathering lines*) são excluídos do escopo;
- Além do duto em si, estações de bombeamento e demais instalações intermediárias (tais como áreas de válvula e estações intermediárias de bombeamento) estão incluídas, porém terminais e áreas de tancagem de origem e de destino não são contempladas;
- O volume mínimo que caracteriza um evento como reportável é de 1 m³ (a não ser em caso de exceção que um volume menor que este tenha causado consequências relevantes ao meio ambiente ou a pessoas);

- Em função do surgimento do fenômeno do furto de combustível na Europa principalmente a partir da última década, adicionalmente aos eventos de causas não intencionais também compõe o escopo do CONCAWE ocorrências relacionadas às derivações clandestinas (*Illegal tapping*).

Cabe ressaltar que, apesar de o CONCAWE também ter como objetivo principal o reporte de indicadores reativos associados a eventos de perda de contenção, o relatório desta instituição considera também um parâmetro de caráter proativo (preventivo), citado anteriormente, representado pelo monitoramento e acompanhamento do número total da extensão de dutos inspecionado por PIGs⁴ instrumentados (Perda de Massa – *Metal Loss*; e Detecção de Trincas – *Crack Detection*) e geométrico (*Calliper*).

2.5.5 UKOPA – *United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association*

Segundo ALOQAILY (2018), este banco de dados consolida estatísticas relacionadas a eventos de vazamento ocorridos na malha dutoviária do Reino Unido. Apesar de grande parte da malha ser composta por gasodutos, o UKOPA também coleta dados referentes a oleodutos que transportam tanto petróleo cru quanto derivados operados por 14 empresas.

Um dos principais objetivos do UKOPA (2019) é o desenvolvimento de uma visão inteligível a respeito da análise e avaliação de riscos relacionados à atividade dutoviária no Reino Unido, uma vez que isto possui correlação direta com as políticas de uso e ocupação do solo e análises de custo-benefício (ALARP) relacionadas a medidas de prevenção e mitigação de risco.

Historicamente, as agências reguladoras e operadores de dutos deste país costumavam embasar suas análises de riscos de dutos nos bancos de dados americanos e europeus (fundamentalmente no que tange à frequência de falha), principalmente pela ausência de informações confiáveis e consolidadas referentes à malha dutoviária britânica. Entretanto, de forma a suprir esta lacuna, o UKOPA publicou seu primeiro relatório no ano de 2000, apresentando o primeiro conjunto de dados de incidentes associados a eventos de perda de contenção não intencional de

⁴ PIG significa *Pipeline Inspection Gauge*. Tratam-se de dispositivos utilizados por empresas operadoras de dutos com diversas finalidades, dentre as principais se destacando a inspeção e a limpeza dos ativos.

produtos ocorridos até o final de 1998. Desde então, seus principais objetivos consistem em coletar dados de vazamento para compor um histórico específico e representativo para a malha dutoviária do Reino Unido, resultando em taxas de falha para utilização em estudos de risco e para avaliação da influência de parâmetros de engenharia na probabilidade de falha dos dutos.

Conforme Lyons (2015), os dados que compõem o escopo do UKOPA remontam ao ano de 1962 e cobrem aproximadamente 23 mil quilômetros de gasodutos e oleodutos. Além de eventos associados a vazamentos, o UKOPA é o único que disponibiliza dados estatísticos relacionados a defeitos nas paredes dos dutos causados por ação não intencional de terceiros (usualmente sulcos e mostras), informações importantes para a alimentação de modelos que aplicam confiabilidade estrutural para a estimativa de taxas de falha devido a esta causa.

No que tange aos critérios de reporte, o UKOPA (2019) apresenta os seguintes pontos:

- Aborda apenas eventos de perda de contenção relacionados a causas não intencionais;
- Dutos terrestres (*Onshore*);
- Partes extramuros dos dutos (mesma premissa aplicada pelo EGIG);
- Eventos relacionados a interferência externa deliberada ou maliciosa (como derivações clandestinas) não compõem o seu escopo.

Adicionalmente, apesar de os indicadores apresentados pelo relatório do banco de dados em questão ter caráter reativo (UKOPA, 2019), esta organização de operadores de dutos também disponibiliza um relatório anual específico para indicadores reativos e proativos de segurança de processos (UKOPA, 2016), os quais são definidos com base no Guia de Boas Práticas de Monitoramento de Performance de Segurança de Processo em Dutos (UKOPA, 2014).

2.5.6 APIA – *Australian Pipeline Industry Association*

Conforme Bonar *et al.* (2009), desde a década de 70 a indústria dutoviária australiana vem coletando dados relacionados a eventos de danos aos seus dutos através do *Pipeline Operators Group* (POG). Entretanto, atualmente a APIA (*Australian Pipeline Industry Association*) é a instituição responsável pela coleta de

dados, tornando-se um processo mais confiável a partir de 2003 – data a partir da qual informações referentes a quase acidentes (*near misses*), além dos próprios acidentes em si relacionados a vazamentos, também passaram a fazer parte do escopo. Outra razão para o aumento da confiabilidade dos dados a partir desta data foi a obtenção de vários dados pretéritos fornecidos por diversos operadores, além da inclusão de dados históricos de companhias da Nova Zelândia.

O principal objetivo do banco de dados australiano é a captura de informações relevantes para abordagem baseada em risco proposta pela norma AS2885. Conclusões obtidas a partir dos dados podem ser utilizadas para diversos propósitos, tais como a identificação de vulnerabilidades relevantes na malha de dutos; auxiliar na escolha de medidas de proteção mais efetivas; demonstração a órgãos de regulação e outros *stakeholders* que a atividade dutoviária no país é segura; além de prover uma base de informações para futuras revisões da referida norma (BONAR *et al.*, 2009).

Apesar de não ser explicitado por Bonar *et al.* (2009), pressupõe-se que este banco de dados abrange a captura de dados de eventos ocorridos tanto em gasodutos quanto em oleodutos, dado que este é o escopo da norma AS2885. Adicionalmente, os incidentes que compõem o seu escopo são definidos a seguir:

- Qualquer evento associado a perda de contenção (porém não incluindo pequenos vazamentos a partir de flanges);
- Qualquer dano a revestimentos ou danos mecânicos causados por equipamentos;
- Qualquer outro defeito (por exemplo, corrosão) que resulte na redução da pressão máxima admissível de operação (MAOP) ou em reparo do duto (exemplo: reforços, substituição do tubo danificado, etc).
- Quase acidentes, os quais representam qualquer atividade de terceiros não autorizada e que não provoque dano ao duto, tais como:
 - Escavações com profundidade acima de 30 centímetros na faixa de dutos;
 - Atividades sísmicas ou uso de explosivos nas vizinhanças do duto.

De acordo com Bolt *et al.* (2006), os dados são coletados através de um sistema em Microsoft Access® por um administrador do APIA. Em função do número de falhas

ser relativamente pequeno, a intenção da instituição é disponibilizar um relatório a cada 3 ou 5 anos. Para tanto, um comitê composto por operadores de dutos, órgãos reguladores e consultores de risco foi constituído para se definir quais informações a serem incluídas no referido relatório.

2.5.7 NOSDRA – *National Oil Spill Detection & Response Agency*

Segundo Ozigis *et al.* (2020), a região do Delta do rio Níger, responsável por grande parte da produção total de petróleo na Nigéria, caracteriza-se por inúmeros eventos associados a vazamentos desde a década de 1970. Dentre as causas mais frequentes, Achebe *et al.* (2012) mostra que falhas mecânicas e ação de terceiros (incluindo atos intencionais como sabotagem/vandalismo) em dutos de transporte tornaram-se cada vez mais numerosas ao longo do tempo, culminando nos últimos anos em uma média anual de ordem de grandeza de mil vazamentos na região (NDIMELE *et al.*, 2018).

Neste contexto, em 2006 foi estabelecida na Nigéria a Agência Nacional de Resposta e Detecção de Vazamentos de Óleo – NOSDRA (*National Oil Spill Detection & Response Agency*) como parte do Ministério Federal de Meio Ambiente (FME – *Federal Ministry of Environment*). Tal medida procurou atender a uma obrigação contida na Convenção Internacional para Cooperação, Resposta e Prontidão a Poluição de Óleo (*International Convention on Oil Pollution Preparedness Response and Cooperation*) de 1990, da qual o país é signatário, e que requer que o estado estabeleça planos nacionais de contingência para esta finalidade (OZIGIS *et al.*, 2020). Dentre suas atribuições, o NOSDRA primariamente é responsável por coordenar e implementar diretrizes para verificar *in loco* a ocorrência de vazamentos, bem como sua contenção, remediação e recuperação do ambiente atingido conforme definido nos planos nacionais de contingência.

Cabe também à instituição a compilação de informações relacionadas a vazamentos através de relatórios de incidentes, através dos quais são feitos registros das visitas de campo realizadas nos locais onde ocorrem os eventos. Segundo Rim-Rukeh (2015), em 2011 o NOSDRA promulgou um regulamento que, em sua seção 5, estabeleceu a obrigação da realização de visitas de investigação (*Joint Investigation Visit – JIV*), a qual consiste na ida ao local do vazamento de uma comitiva formada

por representantes próprios, da empresa proprietária do ativo e de outros órgãos do governo imediatamente após a sua ocorrência, com a finalidade de investigar a causa e demais aspectos relacionados ao evento e reportá-los à agência. Para tanto, o NOSDRA disponibiliza formulários no seu website (NOSDRA, 2020a; NOSDRA, 2020b) para orientar quais dados devem ser coletados para compor o referido relatório.

No que se refere aos dados coletados pelo NOSDRA, este *benchmark* não possui uma estrutura tão robusta quanto os demais apresentados anteriormente. O escopo, muito em função da sua finalidade original, fica restrito a eventos de perda de contenção e às informações pertinentes ao incidente, ou seja, não há coleta de informações referentes à malha dutoviária.

No que tange especificamente aos formulários utilizados para coleta de dados, os mesmos possuem como foco:

- Informações gerais, tais como: nome da empresa, data da ocorrência e de quando a mesma foi reportada, dentre outras;
- Detalhes referentes ao local, tais como: coordenadas geográficas, nome da localidade, tipo de instalação onde ocorreu o evento (duto, cabeça de poço, estação de bombeamento, área de tancagem), tipo de localidade, condições atmosféricas no local, etc;
- Dados pertinentes às causas do vazamento e suas particularidades, como: produto vazado, orientação “horária” do furo no duto;
- Aspectos relacionados aos impactos decorrentes do vazamento. Apesar de haver preocupação com a episódios relacionados a incêndio/explosão, grande parte das perguntas dizem respeito a consequências ambientais aos diversos ecossistemas que podem ser afetados e à remediação dos mesmos;
- Também há a preocupação de se coletar informações referentes aos custos relacionados ao evento, os quais em sua maioria dizem respeito aos gastos de limpeza e remediação dos ambientes atingidos e de reparo do ativo.

Adicionalmente, informa-se que o NOSDRA disponibiliza publicamente, através de um mapa interativo online (*The Nigerian Oil Spill Monitor* - <http://oilspillmonitor.ng>)

todas as informações coletadas através dos formulários de aquisição de dados dos eventos ocorridos desde 2006 até os dias atuais. Segundo a agência, um dos objetivos é mostrar à sociedade quais empresas da área de óleo e gás estão engajadas com o cumprimento de suas responsabilidades legais. Adicionalmente, também visa-se dar visibilidade à escala das atividades de furto de combustível e refino ilegal que vem ocorrendo nos últimos anos na região do Delta do Rio Níger, e às consequências geradas por estas atividades.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo são detalhados o tipo, o campo e o método de pesquisa propostos para este trabalho, bem como as técnicas associadas à coleta de dados, ao tratamento e à análise dos mesmos. Os procedimentos metodológicos encontram-se organizados na Figura 16.

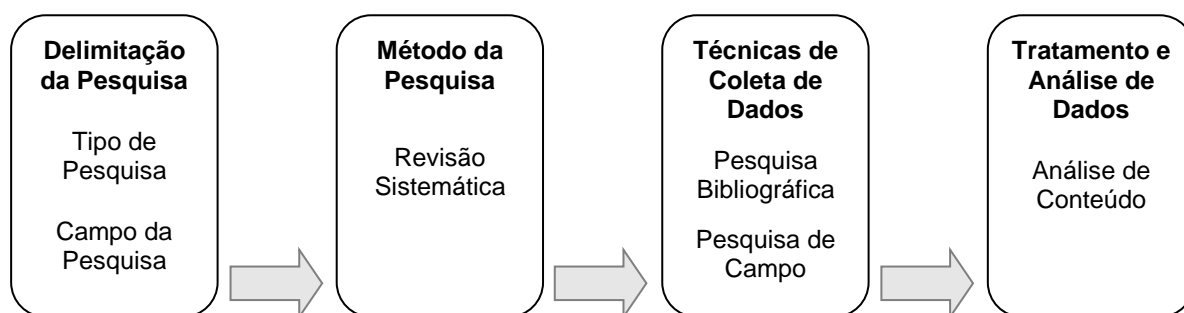


Figura 16 – Estrutura da metodologia de pesquisa aplicada.

Fonte: O próprio autor.

3.1 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

3.1.1 Tipo de Pesquisa

Para classificar a presente pesquisa, de abordagem mista, adotou-se a taxonomia proposta por Vergara (2016), que classifica os tipos de pesquisa de acordo com os meios e os fins de investigação. A mesma é classificada como mista porque possui tanto o caráter qualitativo, por buscar compreender o tema abordado com base na opinião de especialistas; e também caráter quantitativo, uma vez que foi realizado o tratamento estatístico dos dados coletados.

Quanto aos meios de investigação, a pesquisa é caracterizada como bibliográfica, pois sua fundamentação teórica é desenvolvida com base em material publicado, resultado da revisão sistemática da literatura pertinente à temática dissertada.

No que se refere aos fins de investigação, a pesquisa é exploratória e metodológica. Sua classificação como exploratória se justifica, tendo em vista que não foram identificados estudos sobre a elaboração de um banco de dados de falha para a malha dutoviária nacional.

Já seu caráter metodológico se dá a partir da análise dos instrumentos utilizados em estudos empíricos para a compreensão das características pertinentes aos bancos

de dados de falha em dutos internacionais pré-existent, além da elaboração de um instrumento de avaliação sistêmica que resulte na proposição dos atributos aplicáveis ao banco de dados nacional, objeto deste estudo.

3.1.2 Campo da pesquisa

Após a escolha do assunto a ser abordado, seguiu-se à delimitação da pesquisa a ser realizada. O primeiro recorte estipulado foi o de tempo, restringindo o período da pesquisa entre 2001 a 2020. A justificativa reside na realização da primeira pesquisa exploratória, na qual observou-se que o estabelecimento pela indústria dutoviária de um número minimamente significativo de bancos de dados de falha consistentes, bem como o aperfeiçoamento daqueles pré-existent, deu-se principalmente a partir dos anos 2000. Os pormenores dessa pesquisa são detalhados no decorrer deste capítulo.

No que tange o contexto de aplicação, a pesquisa se restringiu ao contexto dos dutos terrestres, ao estudar a existência de bancos de dados para este tipo de ativo.

3.2 MÉTODO DA PESQUISA

O método consiste na escolha de procedimentos sistemáticos para a descrição e a explicação de fenômenos, tendo como objetivo principal orientar a pesquisa científica. Neste sentido, para esta pesquisa são propostas cinco etapas, conforme esquematizado na Tabela 8.

Tabela 8 – Etapas propostas para realização da pesquisa.

Fonte: O próprio autor.

| Etapas | Procedimentos | Objetivo |
|---------|------------------------|--|
| 1ª fase | Pesquisa exploratória | Visa delimitar o recorte temporal, identificar as palavras-chave e as técnicas de buscas do presente estudo. |
| 2ª fase | Revisão sistemática | Define a base para o mapeamento dos artigos, resultando na primeira versão do instrumento proposto. |
| 3ª fase | Análise dos resultados | Análise dos dados das duas fases anteriores, consolidando os resultados para a elaboração de um instrumento temático a ser proposto. |
| 4ª fase | Teste piloto | Avaliação de um formulário (baseado no instrumento temático) mediante a submissão do mesmo a um grupo reduzido de especialistas para proposição final do questionário. |

| | | |
|---------|-------------------|---|
| 5ª fase | Pesquisa de Campo | Submissão do questionário elaborado ao grupo maior de especialistas brasileiros da área dutoviária. |
|---------|-------------------|---|

A primeira fase consistiu na pesquisa exploratória, junto às bases de dados *Science Direct* e *Scopus*, com o intuito de entender como a temática do banco de dados de falha de dutos terrestres vem sendo abordada pela área acadêmica, segundo a linha cronológica de publicações. Por esse motivo, não houve a preocupação com a adoção de período específico para a análise temporal. A limitação da consulta foi empregada através da utilização das seguintes *strings* de pesquisa (conjunto de palavras): ("*pipeline incident database*") OR ("*pipeline incident data*") OR ("*pipeline failure database*") OR ("*pipeline failure data*") OR ("*pipeline incident*") OR ("*pipeline spillage*") OR ("*pipeline loss of containment*") OR ("*pipeline product loss*").

Foram encontrados 265 documentos sobre o tema através da base *Science Direct* publicados no período de 2001 a 2020 (ou seja, nos últimos 20 anos), enquanto que 167 publicações foram obtidas através da base *Scopus*. Esses achados demonstram que nos últimos 20 anos houve um aumento considerável no número de publicações envolvendo a temática e motivou a delimitação temporal do presente trabalho ao período de 2001 a 2020.

Procedimento similar foi aplicado à base específica da área de óleo e gás - *OnePetro* – com a utilização das mesmas *strings* de pesquisa. Neste caso, foram encontrados 108 registros datados de 2001 até os dias atuais.

Embora essas duas pesquisas possam sugerir que o interesse pelo tema vem crescendo, a leitura aleatória e “flutuante” do material (BARDIN, 1977) demonstrou que os resultados obtidos não estavam totalmente em consonância com os objetivos traçados. Percebeu-se, portanto, a necessidade de refinamento da pesquisa, no tocante à adoção de outras palavras-chave complementares para que o foco do estudo fosse direcionado especificamente para materiais bibliográficos que explorassem bancos de dados de falha em dutos terrestres e suas características. A nova busca é objeto de detalhamento no item a seguir.

3.2.1 Revisão sistemática da literatura

A segunda etapa consistiu na revisão sistemática da literatura, na qual se utilizou uma adaptação da recomendação PRISMA - Principais Itens para Relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises (MOHER *et al.*, 2015), desenvolvida inicialmente para a área de saúde (mas aplicável para qualquer outro campo do conhecimento). Esta metodologia teve como objetivo aprimorar o relato das revisões sistemáticas e meta-análises mediante a utilização de um *checklist*, abrangendo 27 itens e um fluxograma representando as fases de execução de uma revisão sistemática, o qual é apresentado na Figura 17.

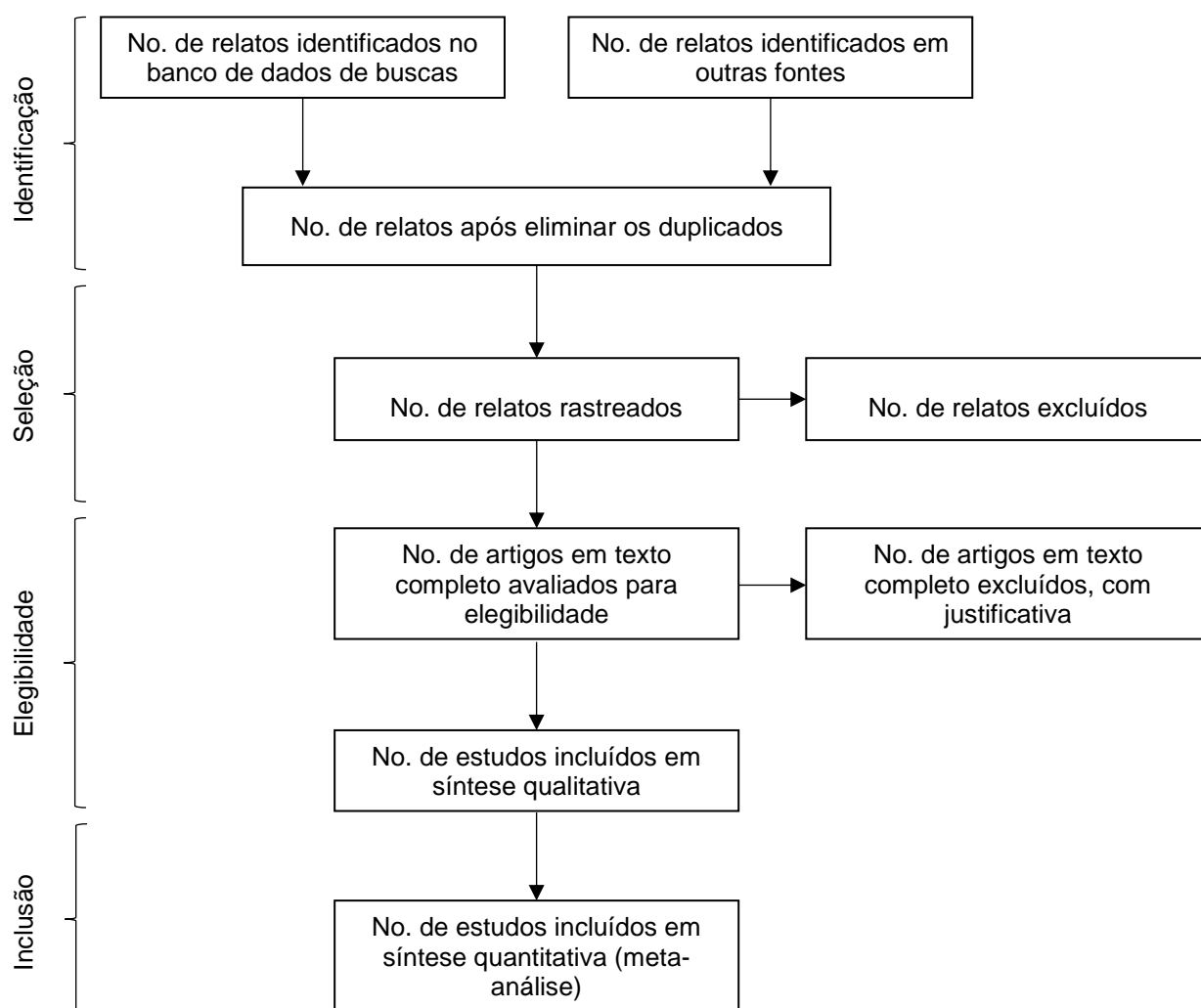


Figura 17 – Fluxo de informação apresentando as fases de uma revisão sistemática.

Fonte: MOHER *et al.*, 2015.

Quando da sua elaboração, o principal objetivo da recomendação era melhorar o relato das revisões sistemáticas e meta-análises relacionadas a ensaios clínicos aleatórios, mas, como a própria metodologia preconiza, há a possibilidade de sua

utilização envolvendo outros tipos de pesquisas. Ressalta-se, porém, que a sua aplicação, em área distinta da inicialmente proposta, pode implicar ocasionalmente na necessidade de adaptação nos itens do *checklist* ou no fluxograma (MOHER *et al.*, 2015).

Neste contexto, e tendo em vista as características do presente estudo, identificou-se a necessidade de adaptação da sistemática para a utilização do fluxograma PRISMA e do *checklist*. Desta forma, considerando-se a lógica proposta pela referida recomendação, apresentam-se a seguir os quatro critérios que a compõem: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão.

a) Identificação

Para o cumprimento do critério de identificação dos trabalhos que pudessem auxiliar na elaboração desse estudo, em janeiro de 2020, foi realizada uma revisão sistemática, através de pesquisa bibliográfica nas bases de dados tradicionais: *Scopus* e *Science Direct*. As palavras-chave utilizadas surgiram a partir do contexto estudado, considerando-se os temas eixos da presente discussão: banco de dados, incidentes e dutos.

Como base de dados específica da área de óleo e gás foi utilizado o *OnePetro*. Também foram realizadas buscas no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), na Biblioteca digital do Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão (MSG), da Universidade Federal Fluminense (UFF), bem como no banco dissertações de mestrado e teses de doutorado da Universidade de Newcastle (Reino Unido), uma vez que esta instituição tem destaque internacional na área de investigação (engenharia de dutos). Neste contexto, a Tabela 9 aponta as bases de dados, as *strings* de pesquisa, o período de publicação e os idiomas utilizados como delimitadores nas buscas realizadas.

Tabela 9 – Informações específicas da investigação sistematizada.

Fonte: O próprio autor.

| Base de dados | <i>Strings</i> de pesquisa | Período de Publicação | Idioma |
|---|--|-----------------------|---------------------|
| <i>OnePetro, Scopus e Science Direct</i> | "(pipeline incident database") OR ("pipeline incident data") OR | 2001 a 2020 | Inglês |
| Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES | ("pipeline failure database") OR ("pipeline failure data") OR ("pipeline incident") OR | 2001 a 2020 | Inglês Português |
| Catálogo de Teses e Dissertações da Universidade de Newcastle | ("pipeline spillage") OR ("pipeline loss of containment") OR ("pipeline product loss") | 2001 a 2020 | Inglês |
| Biblioteca Digital MSG | Não aplicável | 2001 a 2020 | Português |
| Outras fontes | Não aplicável | Não aplicável | Inglês |

No que tange à informação apresentada na Tabela 9, cabe a explicação de que a pesquisa na Biblioteca do MSG não contou com delimitação por *strings* de pesquisa, uma vez que foi analisado o título de todas as publicações disponíveis, as quais hoje⁵ totalizam 1421 no período de interesse. Adicionalmente, também foram consultadas outras fontes de dados a partir das citações encontradas nos artigos estudados, as quais ocorreram, na maioria das vezes, devido à necessidade de análise de algum item específico. Neste contexto, tais buscas, a princípio, não foram limitadas por *strings* específicos ou pelo período de publicação.

b) Seleção

A fase de seleção consiste na leitura dos títulos e resumos dos materiais obtidos nas bases de dados, segundo a sistemática descrita posteriormente no item 4.1. Essa primeira triagem teve como foco a abordagem de relatos que versam sobre a temática banco de dados de falha em dutos, especificamente para ativos terrestres (*onshore*), e que explicitem de alguma forma o escopo, a estrutura e/ou as premissas relevantes para a coleta dos dados, bem como os indicadores usualmente calculados e reportados.

⁵ Pesquisa realizada em 26/02/2020.

A consideração de materiais disponibilizados em *websites* específicos de associações internacionais de operadores de dutos, bem como de órgãos reguladores em algumas regiões do mundo dedicados à fiscalização de ativos como os que compõem o escopo do presente trabalho (caso os mesmos já não fossem identificados diretamente pelas ferramentas de busca elencadas na Tabela 9), pareceu ser bastante prudente, tendo em vista que muitos artigos relacionados ao tema fazem referência aos relatórios e formulários disponibilizados nos referidos *websites*. O mesmo ocorre no âmbito de normas técnicas relacionadas principalmente à área de integridade de dutos e relacionadas ao tema investigado, tendo sido adotada, portanto, a mesma premissa de se considerar os materiais que estavam em tal situação.

c) Elegibilidade

A fase de elegibilidade consiste na leitura completa do conteúdo de cada material selecionado. Nesta etapa foram considerados apenas aqueles que tenham como tema bancos de dados de falha em dutos terrestres.

Foram excluídos relatos que dissertavam sobre a aplicação dos dados produzidos pelos bancos de dados em estudos diversos, tais como Análises Quantitativas de Risco ao Público Externo, Avaliações de Impacto e de Risco Ambiental, Avaliações de Custo-Benefício relacionado à seleção de medidas de mitigação de risco, Estudos de Confiabilidade de malha de gasodutos e oleodutos, dentre outros. Embora estes artigos tenham correlação direta com o tema pesquisado, os mesmos não têm como foco a estrutura de coleta de dados das referências que os suportam, mas apenas a indicação pontual dos indicadores (taxas de falha, por exemplo) necessários para realização dos respectivos estudos.

Adicionalmente, os trabalhos relacionados a dutos *offshore* também foram excluídos do escopo do presente trabalho. Apesar de já ter sido encontrada durante a pesquisa exploratória uma referência de um banco de dados de falhas para dutos submarinos, dadas as especificidades de projeto, fabricação, comissionamento e operação dos dutos *offshore*, as quais diferem substancialmente das etapas do ciclo

de vida dos dutos terrestres, artigos pertencentes a este tema também foram considerados fora da alçada do presente estudo.

Por fim, seguindo a premissa explicitada na Tabela 9, foram desconsiderados os relatos que não pertencem ao período de publicação estipulado (2000 a 2020).

d) Inclusão

Para fins de inclusão na revisão sistemática, foram selecionados os seguintes tipos de referências bibliográficas:

- Artigos de periódicos ou monografias (livros, dissertações ou teses) cujos focos sejam trabalhos que explicitem o escopo, as premissas e/ou a estrutura de coleta de dados de falha em dutos terrestres;
- Relatórios de bancos de dados de falhas em dutos *onshore* disponibilizados por associações internacionais de operadores de dutos e/ou de órgãos reguladores;
- Formulários de preenchimento de dados de incidentes ou referentes à malha de dutos para composição dos repositórios administrados pelas instituições como as citadas no item acima;
- Normas técnicas nacionais e internacionais que eventualmente tenham como âmbito de abrangência temas relacionados à integridade de dutos terrestres, principalmente no que tange aos tipos de causas de falhas neste tipo de ativo.

O material incluído, descrito nos itens acima, serviu como base para a extração dos dados, posteriormente agrupados e categorizados, com o intuito de construir a primeira versão do instrumento proposto (instrumento temático). Um formulário fundamentado neste instrumento foi posteriormente elaborado e submetido à análise de um pequeno grupo de especialistas (teste piloto), com o intuito de avaliar se havia a necessidade de realização de ajustes para, por fim, estabelecer o questionário a ser utilizado na pesquisa de campo.

3.3 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS

Esse tópico busca explicitar como foi realizada a obtenção dos dados da pesquisa (VERGARA, 2016), tendo como prioridade responder aos questionamentos do presente estudo. A coleta dos dados foi estruturada em duas etapas principais:

- 1) Pesquisa bibliográfica;
- 2) Pesquisa de campo (Pesquisa *Online* mediante aplicação de um termo de livre consentimento aos participantes).

Segundo Lakatos *et al.* (2003), a técnica de coleta de dados tem como principal finalidade priorizar a resposta às questões específicas da pesquisa, observando os objetivos traçados. Neste sentido, para o melhor entendimento da relação entre esses componentes, estruturou-se o quadro mostrado na Tabela 10, o qual correlaciona cada objetivo específico e sua questão da pesquisa, com a respectiva técnica de coleta de dados e os meios pelos quais se propõe desenvolvê-la.

Tabela 10 – Correlação entre as técnicas de coleta de dados propostas e os respectivos objetivos e questões de pesquisa a serem atendidos.

Fonte: O próprio autor.

| Objetivos específicos | Questões de pesquisa | Técnicas de Coleta de Dados | Meio de Coleta |
|--|---|---|--|
| Mapear, na literatura, conceitos relacionados à disciplina de segurança de processos que possam subsidiar a construção de um material de apoio à tomada de decisão relacionada ao gerenciamento de riscos em dutos a partir da constituição de um banco de dados de falha. | Quais conceitos relacionados à disciplina de segurança de processos podem ser aplicados na proposição de um material de apoio à tomada de decisão para o aperfeiçoamento do gerenciamento dos riscos em dutos e que tenha como cerne um banco de dados de falha nacional? | Pesquisa bibliográfica (revisão sistemática) | Consulta da literatura, através de livros, dissertações, bases de dados <i>online</i> , periódicos, sites eletrônicos idôneos. |
| Mapear, na literatura, as principais características dos bancos de dados de falhas em dutos terrestres previamente existentes, tais como escopo, arquitetura (taxonomia), processo de coleta e periodicidade, indicadores, dentre outros. | Como são estruturados os bancos de dados internacionais existentes específicos para dutos terrestres, bem como quais são suas características e parâmetros de coleta? | | |
| Levantar os parâmetros de coleta e as respectivas tipologias de dados adotados | | | |

| | | | |
|---|--|-------------------|--------------------------------|
| por cada uma das referências mapeadas. | Quais opções podem ser consideradas no que tange o tratamento dos dados de falha a serem coletados? | | |
| Identificar quais características e os parâmetros de coleta que são mais comumente adotados pelos bancos de dados analisados. | | | |
| Elaborar uma pesquisa com base nos dados levantados na literatura a ser submetida a especialistas brasileiros da área de dutos, tendo como insumo a identificação de características e parâmetros adotados pelos <i>benchmarks</i> . | Quais características identificadas nos bancos de dados internacionais são aplicáveis também à malha dutoviária brasileira, de forma a subsidiar a definição do banco de dados nacional? | Pesquisa de campo | Teste piloto |
| Identificar, mediante estudo estatístico dos resultados da pesquisa, quais seriam as características e os parâmetros de coleta a serem adotados para a composição de um banco de dados nacional, bem como as principais disciplinas envolvidas. | Quais são as áreas de conhecimento envolvidas no processo de coleta de bancos de dados de falhas na indústria dutoviária de uma forma geral? | | Pesquisa Online (Questionário) |
| Avaliar eventuais correlações entre a taxonomia resultante para o banco de dados nacional e o levantamento de parâmetros mais frequentemente adotados pelos <i>benchmarks</i> . | Existem diferenças entre a taxonomia resultante da pesquisa a ser realizada e o levantamento dos dados mais frequentemente coletados pelos <i>benchmarks</i> internacionais? | | |
| Avaliar eventuais correlações entre as respostas obtidas, o tipo de instituição e o tempo de experiência dos profissionais que responderam à pesquisa. | Existem diferenças entre as opiniões dos respondentes em relação aos diversos itens da pesquisa em função das instituições das quais fazem parte e do tempo de experiência? | | |

Tendo em vista as informações consolidadas na Tabela 10, verifica-se que a pesquisa bibliográfica e a pesquisa de campo podem ser consideradas técnicas de coleta de dados adequadas para responder aos questionamentos explicitados.

3.4 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A etapa da pesquisa bibliográfica foi dividida em dois momentos. Primeiro, buscou-se extrair todas as informações que pudessem ajudar na conceituação da

disciplina de segurança de processo e identificação de métricas utilizadas para a sua avaliação aplicada a ativos da área de óleo e gás, bem como na contextualização da problemática estudada. Esses dados foram obtidos através da consulta de bases de dados online, periódicos e sites eletrônicos idôneos.

Posteriormente, buscou-se, através do levantamento do estado da técnica relacionada ao tema principal desta tese, identificar quais são os *benchmarks* internacionais existentes na atualidade os quais possuem como objetivo específico a coleta e consolidação de informações relacionadas a eventos de segurança de processo (perda de contenção) em dutos terrestres. Essa etapa foi marcada pelo mapeamento das informações constantes no material resultante da revisão sistemática, detalhada no tópico 3.2.1.

Com base neste levantamento bibliográfico, foi feita a identificação das dimensões de análise, dos fatores temáticos e, por fim, das variáveis relevantes e usualmente consideradas nos processos de coleta de dados de falha por cada referência internacional identificada. Para o agrupamento das variáveis nos fatores temáticos supracitados, empregou-se a prática da categorização. Segundo Bardin (1977), esse processo é dividido por duas fases. Primeiro realizou-se o inventário, que representa o isolamento dos elementos. Em seguida, procedeu-se a fase de classificação, estipulando a organização a ser seguida, respeitando o que cada um dos elementos tem em comum com o outro.

A categorização dos dados desta pesquisa foi estruturada, segundo o critério semântico, tendo em vista que as características de semelhanças entre os elementos selecionados ocorreram a nível temático. Desta forma, as variáveis que fazem alusão a um mesmo assunto foram agrupadas na mesma categoria através do processo de análise de temática (BARDIN, 1977).

O resultado consolidado deste levantamento, o qual seguiu o modelo apresentado na Tabela 11, constitui, portanto, o instrumento temático utilizado para subsidiar a pesquisa de campo, descrita a seguir.

Tabela 11 – Modelo utilizado para elaboração do Instrumento Temático.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensões de análise | Fatores temáticos | Variáveis | Benchmark 1 | Benchmark 2 | Benchmark 3 | Benchmark 4 | Benchmark 5 |
|----------------------|-------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Categoria 1 | Subcategoria 1.1 | Variável 1 | | | | | |
| | Subcategoria 1.2 | Variável 2 | | | | | |
| | Subcategoria 1.3 | Variável 3 | | | | | |
| Categoria 2 | Subcategoria 2.1 | Variável 4 | | | | | |
| | Subcategoria 2.2 | Variável 5 | | | | | |
| Categoria 3 | Subcategoria 3.1 | Variável 6 | | | | | |
| | Subcategoria 3.2 | Variável 7 | | | | | |
| Categoria 4 | Subcategoria 4.1 | Variável 8 | | | | | |
| | Subcategoria 4.2 | Variável 9 | | | | | |
| ... | ... | ... | | | | | |
| Categoria i | Subcategoria i.1 | Variável k-1 | | | | | |
| | Subcategoria i.j | Variável k | | | | | |

3.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA DE CAMPO

3.5.1 Teste Piloto

Segundo Forza (2002), a realização de um teste piloto (ou pré-teste) constitui uma etapa prévia fundamental para que uma pesquisa de campo seja conduzida de forma adequada. Dentre seus objetivos, através do teste piloto visa-se, além de verificar se as instruções para preenchimento do questionário estão claras e se as perguntas elaboradas são objetivas e sem dubiedade de interpretações, identificar eventuais problemas de compreensão por parte dos participantes de quais seriam as possíveis respostas para as perguntas.

Para tanto, Forza (2002) propõe a realização de duas etapas distintas, mas com objetivos complementares. Na primeira etapa, o pesquisador submete o formulário piloto a um pequeno grupo de respondentes, buscando observar como o mesmo é preenchido e obter *feedbacks* de cada um deles. Já na segunda etapa, submete-se o material a um grupo um pouco maior que o primeiro, tendo como objetivo avaliar a qualidade das perguntas e das respectivas respostas.

Logo, antes da realização da pesquisa de campo, procedeu-se à elaboração de um formulário piloto, com base no instrumento temático citado no item anterior, submetido a grupos específicos de especialistas na área de riscos e integridade de dutos, visando a verificação dos pontos destacados acima.

Após os eventuais ajustes do formulário piloto, o mesmo foi utilizado para elaboração do questionário que de fato foi submetido à comunidade brasileira de dutos, composta por especialistas das mais diversas disciplinas associadas a todas as etapas do ciclo de vida deste tipo de ativo no país.

O esquemático mostrado na Figura 18 a seguir ilustra o fluxo proposto de etapas desde o mapeamento de informações através da pesquisa bibliográfica até finalmente a obtenção do questionário a ser submetido aos participantes da pesquisa de campo.

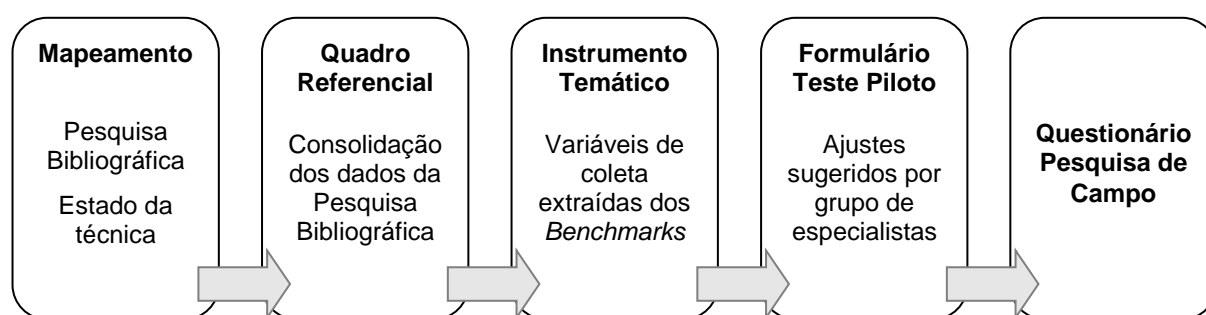


Figura 18 – Fluxo proposto para obtenção do Questionário da Pesquisa de Campo.
Fonte: O próprio autor.

3.5.2 Ferramenta de Pesquisa

De forma a se avaliar quais variáveis de fato são aplicáveis à realidade da indústria dutoviária brasileira e resultando, portanto, em uma taxonomia de coleta de dados específica para este contexto, a ferramenta de pesquisa utilizou a Escala tipo *Likert* (NORMAN, 2010), variando de 1 a 5: “Muito pouco relevante”; “Pouco relevante”; “Moderadamente relevante”, “Muito relevante”; e “Extremamente relevante”. O conceito do questionário foi baseado em grupos (*clusters*) de questões, seguindo as dimensões de análise e os fatores temáticos definidos na Tabela 12 e as perguntas já validadas através do teste piloto.

Adicionalmente ao formulário resultante do fluxo apresentado na Figura 18, o autor também submeteu aos participantes os seguintes elementos:

- Uma carta de apresentação do pesquisador, à qual também foi anexado um termo de livre consentimento alertando ao respondente sobre aspectos de ética e de disponibilização dos resultados do questionário;
- Um questionário das características dos voluntários (contendo perguntas sobre área de atuação, tempo de experiência, etc).

3.5.3 Características da população e critérios de seleção

O questionário foi submetido ao maior número possível de profissionais que compõem a comunidade brasileira de dutos, independentemente da área de atuação e experiência profissional. Estes parâmetros, citados no item anterior, foram coletados para posteriormente serem utilizados na análise estatística e tratamento dos resultados.

Objetivou-se atingir o público mais diversificado possível de profissionais, pertencentes às mais diversas instituições, sendo imprescindível a participação de representantes de empresas operadoras/proprietárias de dutos e de órgãos reguladores (tais como ANP e órgãos ambientais), bem como da academia (universidades) e de empresas de consultoria, dentre outros setores. Adicionalmente, reservou-se também ao final do questionário um espaço para sugestões trazidas pelos participantes durante o processo.

3.5.4 Hipóteses testadas

Após a obtenção dos dados por meio da pesquisa de campo testaram-se estatisticamente as seguintes hipóteses, apresentadas na Tabela 12. Adicionalmente, a Figura 19 estabelece a relação entre elas e o objeto de pesquisa.

Tabela 12 – Hipóteses a serem testadas na pesquisa.

Fonte: O próprio autor.

| Hipóteses | Descrição |
|-----------|---|
| 1 | Não existem diferenças nas avaliações das dimensões elencadas com relação ao tempo de experiência profissional dos participantes da pesquisa. |
| 2 | Com relação à dimensão Gestão, não há diferenças nas avaliações com relação às instituições as quais os participantes pertencem. |
| 3 | Existe uma correlação significativa entre as variáveis mais frequentemente identificadas na pesquisa bibliográfica e as selecionadas pelos participantes. |

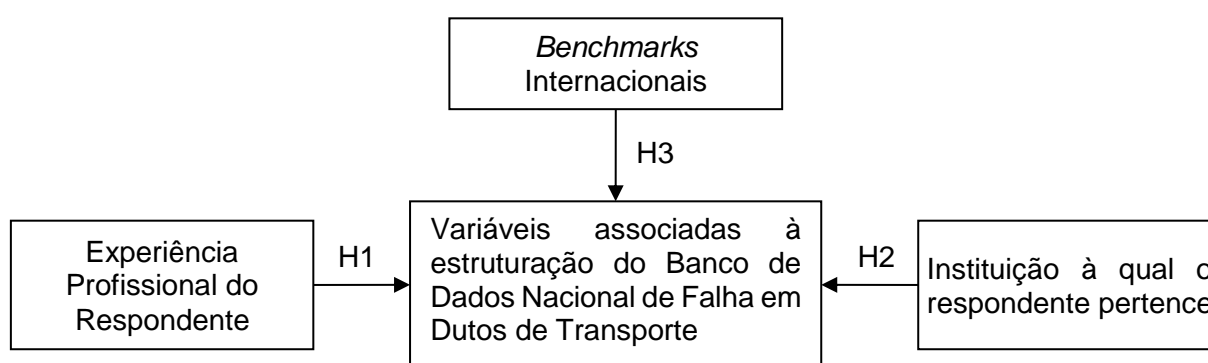


Figura 19 – Esquemático representando o objeto de pesquisa e as hipóteses a serem estudadas.

Fonte: O próprio autor.

3.6 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados através de Pesquisa *Online* relativos a todas as dimensões analisadas foram tabulados com o auxílio dos recursos do aplicativo Microsoft Excel® para posterior tratamento estatístico. Para cada resposta referente às perguntas das dimensões “eventos” e “malha dutovária” foram atribuídos os valores de 1 a 5 em uma escala tipo *Likert*. No caso específico da dimensão “gestão”, as respostas das perguntas possuem uma lógica distinta em função da natureza das mesmas (não seguiram esta escala), tendo sido, portanto, tratadas de forma diferenciada.

Os diversos cálculos e testes estatísticos aplicados ao longo de todo o trabalho são explicados nos diversos itens a seguir.

3.6.1 Coeficiente Alfa de Cronbach

Com o objetivo de efetuar a purificação e a consistência interna da escala utilizada nos questionários, foi utilizado o teste estatístico baseado no coeficiente Alfa de Cronbach. O coeficiente pode variar de 0 a 1, e quanto maior a nota, mais confiável é o questionário. Conceitualmente, a confiabilidade reflete o quanto os valores observados estão correlacionados aos verdadeiros valores (CRONBACH, 1951). Um valor baixo do alfa de Cronbach pode indicar a presença de *outliers*, ou seja, respondentes que eventualmente não dominam o conhecimento; que não entenderam as perguntas propostas; ou, ainda, que possuam alguma informação adicional positiva, em relação ao grupo. Por outro lado um valor próximo de 1 indica possível redundância e sugere a tentativa de reduzir o questionário.

Do ponto de vista matemático, segundo Christmann *et al.* (2006), o coeficiente Alfa de Cronbach (α^c) pode ser calculado mediante a aplicação da equação (1):

$$\alpha^c = \frac{p}{p-1} \left[\frac{\text{Var}(\sum_{j=1}^p Y_j) - \sum_{j=1}^p \text{Var}(Y_j)}{\text{Var}(\sum_{j=1}^p Y_j)} \right] \quad (1)$$

Em que:

- p Número total de itens avaliados;
- j Índice que faz referência ao j-ésimo item avaliado;
- Y_j Valor assumido pelo j-ésimo item;
- Var Operador que indica o cálculo da variância dos valores avaliados.

No caso de questionários, segundo Almeida *et al.* (2010), para se estimar o α^c considera-se X como sendo uma matriz n x p (n representando o número total de respondentes), a qual corresponde às respostas quantificadas (cada linha representa um respondente e cada coluna uma questão).

Tendo em vista a parte da equação 1 entre colchetes, a primeira parcela (minuendo) do numerador (idêntica ao denominador) representa a variância da soma dos valores de cada linha de X (respostas de cada respondente), enquanto a segunda parcela (subtraendo) constitui a soma das variâncias dos valores de cada coluna de X (questões).

3.6.2 Teste de Kruskal-Wallis e Teste de Dunn

Após a verificação da confiabilidade das respostas, as hipóteses propostas no item 3.5.4 foram avaliadas. Para as hipóteses 1 e 2 tentou-se aferir, a partir dos dados coletados, se as distribuições das respostas referentes aos diversos grupos diferem entre si quando da avaliação das perguntas das dimensões consideradas.

No caso da hipótese 1, pretendeu-se avaliar se as respostas de grupos de participantes segregados pelo tempo total de experiência profissional possuem distribuições diferentes para as perguntas das três dimensões analisadas. Para tanto, a hipótese nula (H_0) a ser testada seria a afirmativa de que as distribuições das respostas respectivas a todas as populações definidas pela experiência profissional dos respondentes são idênticas, enquanto que a hipótese alternativa (H_a) corresponde ao fato de pelo menos uma das distribuições diferirem das demais.

Por outro lado, para a hipótese 2 visou-se verificar se há distribuições diferentes de respostas para as perguntas da dimensão “gestão” considerando os grupos segregados por tipo de instituição a qual pertencem. Neste caso, a hipótese nula (H_0) seria a afirmativa de que as distribuições das respostas respectivas a todas as populações definidas pela instituição a qual os respondentes pertencem, especificamente para as perguntas da dimensão “gestão”, são idênticas; enquanto que a hipótese alternativa (H_a) corresponde ao fato de pelo menos uma das distribuições diferirem das demais. Para ambos os casos (hipóteses 1 e 2), pretende-se utilizar um nível de significância do teste igual a 5%.

Para esta verificação propõe-se a utilização do teste de Kruskal-Wallis, que é um teste não paramétrico utilizado para comparar populações. O teste de Kruskal-Wallis não coloca nenhuma restrição sobre a comparação das distribuições, ao contrário da análise de variância (ANOVA), que trabalha com a hipótese de que todas as populações em confronto são independentes e normalmente distribuídas.

A justificativa para a seleção de um teste não paramétrico para este caso se deve à utilização da Escala tipo *Likert*, a qual não fornece uma distribuição normal para as respostas (condição necessária para o uso do ANOVA). O método de Kruskal-Wallis foi utilizado para testar a hipótese nula (H_0), em ambos os casos, de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa

de que ao menos uma das populações possui função de distribuição diferente das demais (mediana ou comportamento distinto).

Para a realização do teste (GUO *et al.*, 2013), supondo haver k amostras (e cada uma contendo seu conjunto de valores), primeiramente faz-se o ranqueamento de todos os valores juntos, e depois o ranqueamento dos valores dentro das diferentes amostras, seguindo o que é proposto pela equação (2):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (2)$$

Em que:

- k Número total de amostras;
- N Número total de valores em todas as amostras;
- i Índice que faz referência à i -ésima amostra;
- n_i Número de valores pertencentes à i -ésima amostra;
- R_i Soma dos valores pertencentes à i -ésima amostra.

Após o cálculo do valor de H , compara-se este com o valor de $X^2_{\alpha:k-1}$, ou seja, o valor da distribuição qui-quadrado com $k-1$ graus de liberdade e com grau de significância igual a α . Se $H \geq X^2_{\alpha:k-1}$, a hipótese nula é rejeitada. Caso contrário, a mesma é aceita.

No caso de o teste de Kruskal-Wallis identificar que ao menos uma das populações possui função de distribuição diferente para alguma das variáveis estudadas, foi aplicado um teste *post hoc* de comparações múltiplas, denominado teste de Dunn (1964), para identificar exatamente qual(is) grupo(s) desto(a)m dos restantes. Este teste é o equivalente não paramétrico dos testes de comparações múltiplas usados após a ANOVA (ex.: Teste de Tukey), ou seja, não assume que os seus resíduos provêm de uma distribuição específica. O mesmo emprega as mesmas classificações do teste de Kruskal-Wallis a fim de determinar quais dos pares de amostras são significativamente diferentes.

3.6.3 Coeficiente de Correlação de Spearman

Por sua vez, busca-se através da hipótese 3 a avaliação se as variáveis que foram levantadas com maior frequência nos *benchmarks* internacionais (conforme evidenciado no instrumento temático) também são aquelas que foram mais bem avaliadas pelos participantes da pesquisa. Busca-se, a partir desta análise, verificar

se há elementos de interesse específico para a realidade da segurança das operações de dutos no Brasil, dentre as variáveis analisadas, que eventualmente não o sejam para o escopo definido pelo levantamento da literatura, ou vice-versa. Para tanto, propõe-se a realização de uma Análise de Correlação da moda das respostas para cada variável avaliada com a frequência de repetição da mesma variável no instrumento temático.

Por se tratarem de variáveis não-paramétricas (obtidas a partir da escala tipo *Likert* proposta), foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman. Segundo Favero *et al.* (2019), não há restrições para o teste de significância do coeficiente de correlação de Spearman, ao passo que o teste de significância para o coeficiente de correlação de Pearson pressupõe a condição de normalidade da distribuição bidimensional das variáveis testadas.

Neste caso específico, a hipótese nula (H_0) corresponde ao fato de não existir correlação entre as respostas dos participantes da pesquisa para cada variável estudada e a frequência de citação das mesmas na literatura; enquanto que a hipótese alternativa (H_a) preconiza a existência da correlação. Aqui também é adotado um nível de significância do teste igual a 5%.

Interessante ressaltar que, mesmo sendo testes distintos, os passos para o teste de Spearman são os mesmos adotados para o teste de significância para o coeficiente de correlação de Pearson. A variável de decisão, neste caso, baseia-se na distribuição t de Student, e é definida da seguinte forma (equação 3):

$$t_o = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (3)$$

Em que:

- t_o Métrica de decisão do teste;
- r Coeficiente de correlação de Spearman;
- n Número de variáveis analisadas.

De posse do valor de t_o , compara-se este com o valor de $t_{\alpha;n-2}$, ou seja, o valor da distribuição t de Student com $n-2$ graus de liberdade e com grau de significância igual a α . Se $t_o > t_{\alpha;n-2}$ ou $t_o < -t_{\alpha;n-2}$, a hipótese nula é rejeitada. Caso contrário, a mesma é aceita.

Importante ressaltar que, mesmo que se identifique a existência de correlação significativa (ou seja, na hipótese de rejeição de H_0), é possível avaliar a “força” desta mediante o valor do coeficiente de correlação, e também se esta correlação é positiva ou negativa. Quanto mais próximo dos extremos, ou seja, quanto mais o coeficiente se aproxima de +1 ou -1, mais forte será a correlação entre as variáveis estudadas. Por outro lado, esta se torna mais fraca à medida que o coeficiente se aproxima de 0. Já o sinal indica diretamente se a correlação é positiva (coeficiente maior que zero) ou negativa (menor que zero).

3.6.4 Teste de Lawshe

O teste de Lawshe (1975) foi empregado na seleção das variáveis mais relevantes para compor os formulários de coleta do futuro banco de dados nacional de falhas em dutos, de acordo com as respostas dos participantes obtidas através da pesquisa de campo.

Conforme Ayre *et al.* (2015), o método de Lawshe pressupõe a classificação da avaliação de especialistas em relação à relevância da inclusão de perguntas em um dado questionário em três categorias: “essencial”, “útil, mas não essencial”, e “não necessário”. De acordo com as respostas, decide-se por selecionar uma dada pergunta para compor o questionário se o número total de respostas de especialistas que classificaram a mesma como “essencial” excede um valor crítico, do contrário, a pergunta é descartada.

Para a determinação deste valor crítico acima do qual a pergunta é passível de ser selecionada, Lawshe (1975) propôs uma métrica denominada “razão de validação do conteúdo” (CVR – *Content Validity Ratio*), a qual é calculada da seguinte forma (equação 4):

$$CVR = \frac{n_e - n/2}{n/2} \quad (4)$$

Em que:

CVR Razão de validação do conteúdo;

n_e Número de especialistas que indicaram a pergunta como “essencial”;

n Número total de especialistas.

Com base nesta métrica, Lawshe defende a realização de um teste de hipótese dicotômico (ou seja, as categorias citadas acima são resumidas a duas: “essencial” e

“não essencial” – esta última contendo as anteriores “útil, mas não essencial” e “não necessário”) em que H_0 pressupõe que mais da metade dos respondentes (50% ou mais) classificam a pergunta como “essencial”, e H_a o contrário (ou seja, “não essencial”).

Partindo-se das premissas estabelecidas acima e de um nível de significância do teste (aqui mantido também igual a 5%), Ayre *et al.* (2015) explicita que é possível chegar a um valor de n crítico com base na distribuição binomial (dada a natureza dicotômica do problema), ou seja, o número mínimo de opiniões positivas de especialistas que permite aceitar H_0 .

Neste trabalho, o valor de n crítico foi obtido com o auxílio de uma função específica do *software* Microsoft Excel®, citada por Ayre *et al.* (2015), conforme indicado na equação 5:

$$n_{crítico} = CRIT.BINOM(n, p, 1 - \alpha) \quad (5)$$

Em que:

- $n_{crítico}$ número mínimo de opiniões positivas de especialistas;
- n Número total de especialistas;
- p Probabilidade estabelecida por Lawshe (igual a 50%).
- α Nível de significância (igual a 0.05)

Ressalta-se, por fim, que, conforme descrição contida no próprio *software* supracitado, a função “CRIT.BINOM” retorna o menor valor para o qual a distribuição binominal cumulativa é maior ou igual ao valor padrão.

4. RESULTADOS PARTE 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

O presente capítulo tem como objetivo a apresentação dos resultados obtidos nas etapas que compõem o fluxo proposto na presente tese para a obtenção do Questionário da Pesquisa de Campo, explicitadas na Figura 18 apresentada anteriormente.

Desta forma, evidencia-se o mapeamento da literatura realizado através da aplicação da metodologia PRISMA; o quadro referencial teórico obtido através da consolidação dos dados resultantes da pesquisa bibliográfica; o instrumento temático que explicita as variáveis identificadas nos benchmarks internacionais e que são relevantes para a pesquisa de campo; e por fim o questionário aplicado na pesquisa de campo resultante da realização do teste piloto junto a especialistas.

4.1 QUADRO REFERENCIAL TEÓRICO

Considerando as premissas descritas previamente, as pesquisas realizadas nas bases de dados relacionadas na Tabela 9 identificaram 573 documentos sobre o tema em análise, sendo que 108 deles foram obtidos através da base *OnePetro*; 265 originadas da base *Science Direct*; 165 da base *Scopus*; e 33 de outras bases de dados.

Em seguida, procedeu-se à eliminação dos registros duplicados, resultando em 515 documentos. Estes, por sua vez, foram submetidos à análise dos respectivos títulos e resumos, reduzindo este número para 113 relatos potencialmente relevantes para a pesquisa em questão.

A próxima fase consistiu na leitura dos 113 textos na íntegra, resultando na eliminação de 97 artigos. Apesar de este número de artigos eliminados ser bastante expressivo, o mesmo se justifica tendo em vista ser muito específico o tipo de documento que se visava obter para a construção do instrumento temático. Ou seja, buscava-se a identificação na literatura de relatórios emitidos por instituições organizadoras de bancos de dados de falhas em dutos terrestres internacionais e/ou formulários utilizados por tais instituições para coleta de dados de operadores de dutos para posterior consolidação em tais relatórios.

Neste contexto, a grande maioria dos artigos eliminados fazem, de alguma forma, menção a tais *benchmarks* ou fazem uso dos dados disponibilizados pelos mesmos. Dos 97 expurgados, 36 deles fundamentam seus trabalhos mediante a realização de análises estatísticas dos dados disponibilizados pelos relatórios dos bancos de dados internacionais (tanto de dutos *onshore* quanto *offshore*); 18 constituem exemplos de Análises Quantitativas de Risco (AQRs) aplicadas a dutos (gasodutos e oleodutos de transporte, dutos de distribuição, dutos submarinos, etc); 17 propõem metodologias de cálculo de taxa de falha de dutos através da aplicação de métodos diversos (tais como Análise Bayesiana, Redes Neurais, Confiabilidade Estrutural, dentre outros); 9 tratam de gerenciamento de riscos associados à operação de dutos, dos quais 3 apresentam inclusive propostas de indicadores com esta finalidade (KPIs); 5 discorrem a respeito de acidentes específicos ocorridos em dutos em diferentes regiões do planeta; 5 constituem revisões bibliográficas para levantamento de exemplos de bancos de dados de dutos terrestres e submarinos; 3 apresentam análise das premissas adotadas por *benchmarks* para coleta e reporte de dados; 1 descreve a iniciativa de criação de um banco de dados de uma operadora de dutos; 1 aborda métodos para detecção de vazamentos; 1 delinea a respeito de métodos de remediação ambiental de vazamentos de óleo cru; e por fim o último apresenta métodos de reparo de dutos atacados por vandalismo (primordialmente derivações clandestinas).

Após a etapa de elegibilidade, foram obtidos 16 registros que preencheram todos os critérios de inclusão e foram mantidos para a revisão sistemática, uma vez que se caracterizam como documentos específicos com informações relevantes para a elaboração do instrumento temático. Os números apresentados são explicitados na Figura 20 a seguir mediante a utilização do fluxograma PRISMA.

Por fim, as características específicas relacionadas a cada um dos 16 documentos elencados, bem como o apontamento do tipo de documento e à qual *benchmark* cada um deles se refere, são descritos no quadro referencial teórico apresentado na Tabela 13. Cabe ressaltar que o acesso a 2 destes documentos foi obtido mediante solicitação por e-mail às suas respectivas instituições, conforme apontado na referida tabela e no Apêndice A (no qual, por sua vez, são evidenciados os e-mails recebidos e a primeira folha de cada um dos documentos).

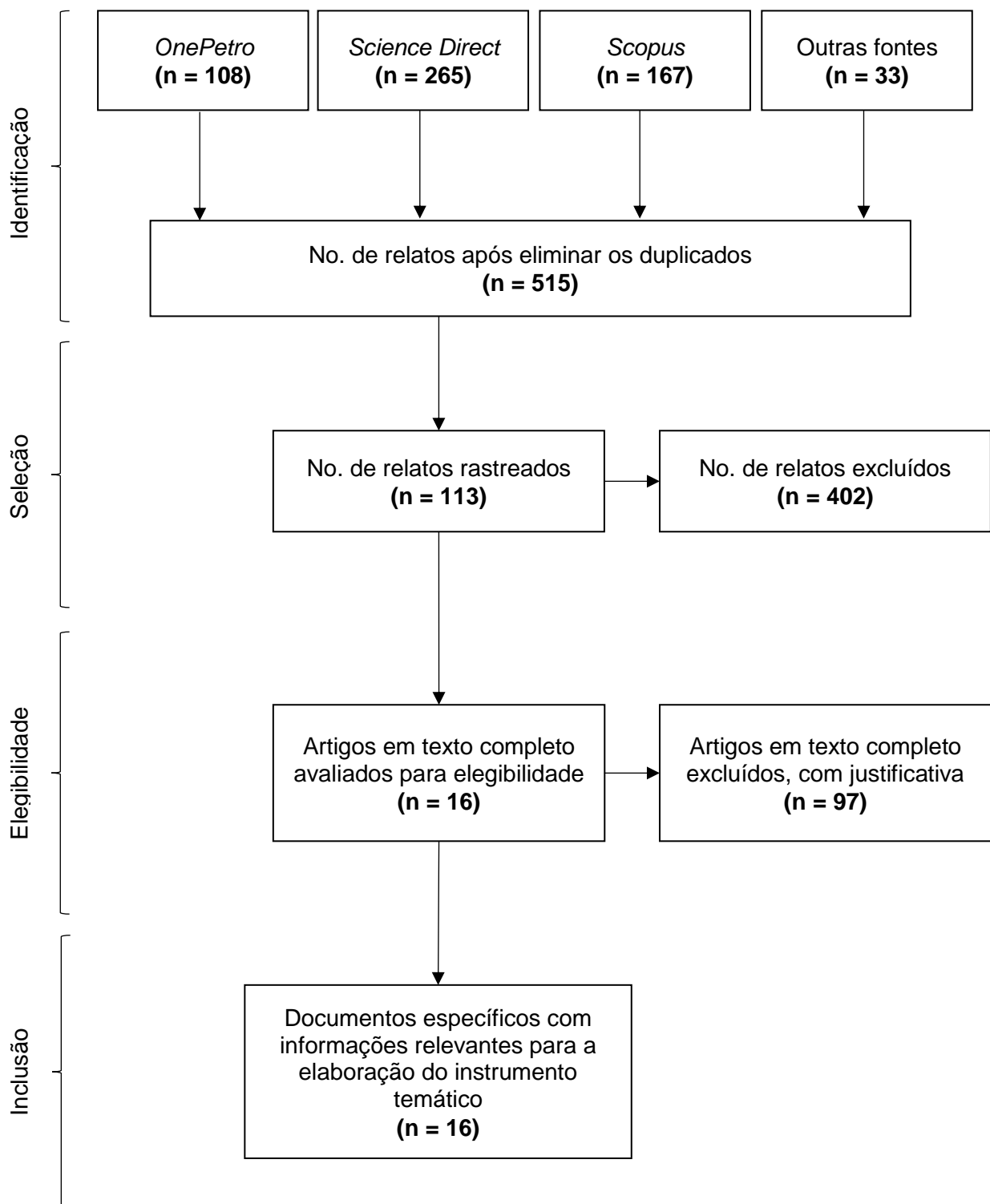


Figura 20 – Fluxo PRISMA aplicado à revisão sistemática da literatura.
Fonte: O próprio autor.

Tabela 13 – Quadro referencial teórico - documentos elencados durante a revisão bibliográfica.

Fonte: O próprio autor.

| Benchmark | Título | Tipo de documento | Fonte |
|------------------|---|--------------------------|---|
| APIA | <i>APGA POG Incident Database V2 - General Information & Event Entry</i> | FC | APIA (2020) |
| | <i>Experience with the Australian / New Zealand Pipeline Incident Database</i> | RF | APIA (2018) |
| CER | <i>Pipeline Incident Data</i> | PF | CER (2020) |
| | <i>Focus on Safety and Environment - A comparative analysis of pipeline performance 2000-2009</i> | RF | NEB (2011) |
| CONCAWE | <i>Performance of European cross country oil pipelines</i> | RF | CONCAWE (2019) |
| | <i>Spillage report form</i> | FC | Apêndice A |
| DOT | <i>PHMSA F 7000.1 Accident Report – Hazardous Liquid Pipeline Systems</i> | FC | PHMSA (2019a) |
| | <i>PHMSA F 7000.1-1 Annual Report – Hazardous Liquid Pipeline Systems</i> | FC | PHMSA (2019b) |
| | <i>PHMSA F 7100.2 Incident Report – Gas Transmission and Gathering Systems</i> | FC | PHMSA (2019c) |
| | <i>PHMSA F 7100.2-1 Annual Report – Natural and Gas Transmission / Gathering Pipeline Systems</i> | FC | PHMSA (2014) |
| EGIG | <i>Gas Pipeline Incidents - 10th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group</i> | RF | EGIG (2018) |
| | <i>A guideline: Using or creating incident databases for natural gas transmission pipelines</i> | DT | Bolt <i>et al.</i> (2006) |
| NOSDRA | <i>NOSDRA – Form A – Oil Spill/Leak Notification Report</i> | FC | NOSDRA (2020a) |
| | <i>NOSDRA – Joint Investigation Visit (JIV) Form</i> | FC | NOSDRA (2020b) |
| UKOPA | <i>UKOPA pipeline product loss incidents and faults report (1962 – 2017)</i> | RF | UKOPA (2019) |
| | <i>UKOPA – FR1 Rev2 1 Fault Data Input Form 2014</i> | FC | Apêndice A |
| Siglas | | | |
| APIA | <i>Australian Pipeline Industry Association</i> | UKOPA | <i>United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association</i> |
| CER | <i>Canada Energy Regulator</i> | FC | <i>Formulário de Coleta de Dados</i> |
| DOT | <i>Department of Transportation</i> | RF | <i>Relatório de Estatística de Falha</i> |
| CONCAWE | <i>Environmental Science for European Refining</i> | PF | <i>Planilha de Dados de Falha</i> |
| EGIG | <i>European Gas Pipeline Incident Data Group</i> | DT | <i>Documento com Taxonomia de Coleta</i> |
| NOSDRA | <i>National Oil Spill Detection & Response Agency</i> | | |

4.1.1 Tendências temporais e de abrangência

Embora o recorte temporal tenha abrangido o período de 2001 a 2020, mais da metade dos 16 documentos que preencheram os critérios estabelecidos na presente pesquisa (12) remetem aos três últimos anos do intervalo de tempo supracitado (2018 a 2020). Este comportamento é justificado em decorrência da natureza destes documentos, os quais estão em constante atualização (principalmente os relatórios de estatística de falha, que são emitidos periodicamente).

O documento mais antigo dentre aqueles relacionados no quadro referencial teórico é datado de 2006, e constitui uma referência importante por apresentar diretrizes elaboradas por representantes de diversas empresas operadoras ao redor do mundo para orientar a criação de bancos de dados de falhas em gasodutos.

Em 2011, o NEB (atual CER) publicou a última versão do relatório de indicadores de performance da malha dutoviária canadense que incluía estatísticas de eventos de falha. Posteriormente, o relatório passou a ter um escopo distinto (NEB, 2019), abrangendo apenas os indicadores de performance e passando a disponibilizar os dados de falha no formato de planilha eletrônica através do *website* do CER (2020).

Os dois documentos restantes, datados de 2014, constituem exemplos de formulários de coleta de dados de falha do banco de dados norte-americano (DOT, 2014) e UKOPA (Apêndice A). Desde então, de acordo com o levantamento bibliográfico, ambos não passaram por nenhum processo de ajuste/atualização.

No que diz respeito à abrangência, os *benchmarks* levantados cobrem a malha de países de grande relevância para a indústria dutoviária mundial. Verifica-se que, a menos da Nigéria, todos os bancos de dados levantados se referem a países ou regiões que estão citados na Tabela 1, a saber:

- APIA: Austrália (11^o país em extensão da malha dutoviária);
- CER: Canadá (3^o país em extensão);
- CONCAWE: Europa (extensão da malha de oleodutos de 33.395 km);
- DOT: Estados Unidos (1^o país em extensão);
- EGIG: Europa (extensão da malha de gasodutos de 142.794 km);

- UKOPA: Reino Unido (7º país em extensão).

Vale ressaltar que os números apresentados na Tabela 1 não necessariamente representam os valores de extensão das malhas de dutos que compõem o escopo dos respectivos bancos de dados, uma vez que estes números dependem das premissas estabelecidas por cada um deles (exemplo: definição do tipo de duto que é abrangido – gasodutos / oleodutos; ativos *onshore* / *offshore*, etc) e pela adesão dos operadores de dutos (em países que o fornecimento de dados de falha a estas instituições não é compulsório). Neste âmbito, CONCAWE (2019) e EGIG (2018), por exemplo, explicitam a extensão atual de dutos que compõem os seus respectivos escopos de abrangência, conforme foi citado acima.

Adicionalmente, a título de informação, foi realizado um levantamento da frequência de ocorrência de citações dos *benchmarks* internacionais nos 113 artigos resultantes da etapa de seleção da metodologia PRISMA, de forma a se estimar a partir desta amostra o quão referenciadas são estas instituições e seus respectivos dados de falha na literatura por trabalhos associados à área dutoviária. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 14.

Tabela 14 – Frequência de citações dos *benchmarks* nos artigos resultantes da etapa de seleção.

Fonte: O próprio autor.

| Banco de Dados Internacional | Frequência de citações (em 113 artigos) | Porcentagem (em 113 artigos) |
|------------------------------|---|------------------------------|
| APIA (Austrália) | 7 | 7% |
| CER (Canadá) | 17 | 18% |
| CONCAWE (Europa) | 25 | 26% |
| DOT (Estados Unidos) | 52 | 55% |
| EGIG (Europa) | 37 | 39% |
| NOSDRA (Nigéria) | 11 | 12% |
| UKOPA (Reino Unido) | 22 | 23% |

Como se nota na tabela cima, o *benchmark* internacional mais citado pelos artigos analisados foi o DOT (55%), seguido pelos bancos de dados europeus (EGIG, 36%; CONCAWE, 26%; e UKOPA, 23%) e pelo Canadense (18%), nesta ordem. Não coincidentemente, tratam-se bancos de dados mais antigos e cujas malhas dutoviárias

possuem maior extensão, resultando, portanto, em maiores exposições ao risco e, conseqüentemente, históricos quantitativos mais numerosos de falhas.

Em seguida, o banco de dados nigeriano (NOSDRA) foi citado por 12% dos documentos, ficando por último o australiano (APIA) com 7%. Apesar do NOSDRA ser o mais recente entre eles, esta referência possui uma quantidade considerável de registros de falhas em seu banco de dados, reflexo dos numerosos eventos de derivações clandestinas que vem ocorrendo principalmente na região do delta do Rio Níger nos últimos anos. No que se refere ao APIA, as condições geográficas da Austrália (país cujo território é composto em sua grande parte por regiões desérticas) e da Nova Zelândia (país montanhoso), os registros de falha são relativamente raros, uma vez que as principais causas que atualmente resultam em um número relevante de falhas nos outros *benchmarks* (ação de terceiros intencional e não intencional) não levam a números significativos nestes dois países em função de suas baixas densidades demográficas. Logo, quanto menor o número de registros de falhas, mais difícil dos mesmos serem utilizados em trabalhos científicos (baixa representatividade estatística).

4.1.2 Outras referências a bancos de dados de falhas em dutos

Durante a revisão sistemática da literatura, informa-se que foram encontrados entre os artigos excluídos na etapa de elegibilidade trabalhos que fazem menção a bancos de dados que extrapolam o escopo desta tese (dutos *onshore*), ou que ainda estão em processo de estruturação e amadurecimento.

Neste âmbito, relata-se que o PARLOC (2015) constitui um banco de dados reconhecidamente consolidado na literatura cujo escopo abrange dutos submarinos (*offshore*) do Reino Unido; Esford *et al.* (2004) e Caleyó *et al.* (2006) abordam em seus trabalhos dados de falha coletados, respectivamente, das malhas dutoviárias da Bolívia e do México; Bolt *et al.* (2006) explicita a iniciativa da Argentina e da Argélia na implementação de um banco de dados de falhas em dutos *onshore*, enquanto que Alves *et al.* (2018) mostra a iniciativa de uma operadora no Brasil com este mesmo objetivo; e Dai *et al.* (2017), Raveendran *et al.* (2018) e ESMAP (2003) apontam a existência, respectivamente, de bancos de dados das malhas dutoviárias da China,

da Índia e da Rússia/países da antiga União Soviética (mas cujos documentos não apresentam as informações com o nível de profundidade exigido por esta tese).

4.2 INSTRUMENTO TEMÁTICO

Conforme foi possível observar através da análise conjunta dos documentos que compõem o quadro referencial teórico (Tabela 13), e mais explicitamente apontado por Bolt *et al.* (2006), de forma geral os bancos de dados internacionais coletam informações referentes a dois grandes grupos (ou dimensões de análise):

- Informações referentes aos eventos ocorridos nos dutos ao longo do tempo;
- Informações relacionadas à malha dutoviária.

Estes dois grupos de dados constituem a base para posteriormente se definir estatísticas de falha de diferentes naturezas, dentre elas comportamentos das taxas/frequências de falha (por unidade de tempo e de comprimento) em função de parâmetros do duto (tais como diâmetro, espessura, idade do duto, etc).

Considerando as informações referentes aos eventos, conforme apresentado no item 2.4 através da metodologia Bowtie, é possível definir de forma genérica dois subgrupos (ou fatores temáticos) de informações: dados relacionados às causas dos eventos; e às consequências dos mesmos. Adicionalmente, dada a especificidade dos eventos ocorridos em dutos, dados pertinentes ao local de ocorrência (outro fator temático) também se mostra de grande importância para o entendimento e posterior obtenção de informações relevantes para a gestão de segurança na operação de dutos.

Por sua vez, no que tange às informações relacionadas à malha dutoviária, percebe-se a importância de se explicitar, para cada *benchmark*, qual o seu escopo de abrangência no que se refere ao tipo de duto terrestre abordado (duto de distribuição / transporte), bem como o tipo de produto transportado (gás ou líquido) e as instalações associadas ao duto que são consideradas. Adicionalmente, outro fator temático relevante diz respeito à forma com que se coletam informações relacionadas à extensão da malha dutoviária como um todo, inclusive se tais dados são segregados em classes como extensão por diâmetro, por espessura, por ano de construção, dentre outros parâmetros.

Além disso, identificou-se também uma terceira dimensão de análise, a qual não faz menção às características dos eventos e dos dutos propriamente ditos, mas sim à forma com que os dados de falha são coletados, geridos e publicados ao longo do tempo. Identificaram-se, portanto, quatro fatores temáticos relevantes neste sentido, os quais consideram o tipo de instituição responsável pela manutenção do banco de dados (pública ou privada); a forma de divulgação dos dados coletados (se é dada ampla publicidade aos mesmos ou se são mantidos em sigilo pelos operadores); se há segregação na coleta de dados em função do tipo de duto (gasoduto / oleoduto); e os critérios de reporte dos dados à instituição que mantém os dados.

Neste âmbito, explicita-se na Tabela 15 as dimensões de análise e os fatores temáticos considerados.

Tabela 15 – Dimensões de análise e fatores temáticos abordados.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensões de análise | Fatores temáticos |
|----------------------|---|
| Eventos | Causas |
| | Consequências |
| | Características do local |
| Malha dutoviária | Tipo de duto (por produto transportado) |
| | Instalações pontuais associadas |
| | Parâmetros associados à extensão da malha |
| Gestão | Manutenção do Banco de Dados (público ou privado) |
| | Publicidade dos dados coletados |
| | Separação da coleta (gasodutos e oleodutos) |
| | Critérios de reporte |

Tendo como base os elementos estabelecidos na tabela acima, foi realizado o mapeamento das variáveis pertinentes a cada um destes fatores temáticos de forma a se construir um instrumento temático aos moldes do que fora proposto através da Tabela 11, o qual está presente no Apêndice B. A seguir são discutidos os resultados obtidos para cada uma das dimensões de análise.

4.2.1 Dimensão “Eventos”

A primeira dimensão identificada diz respeito aos eventos de falha passíveis de ocorrer nos dutos que compõem o escopo deste trabalho. Associada a esta dimensão, foram identificados fatores relacionados às causas e às consequências do evento,

bem como as características do local das eventuais falhas. Os subitens a seguir abordam as variáveis que foram identificadas, respectivamente para estes fatores temáticos na ordem citada acima.

- Causas

Segundo Bolt *et al.* (2006), de uma forma geral os tipos de causas (ou ameaças) adotadas pelas diversas organizações refletem tanto as características geográficas, climáticas e demográficas dos seus respectivos países/regiões como também fatores técnicos como idade da malha dutoviária, normas/padrões aplicados nas etapas de construção/montagem e operação, dentre outros. Para algumas delas, os diversos tipos de causas adotados são inclusive estabelecidos em normas técnicas em vigor nos respectivos países de abrangência, como é o caso da norma britânica PD 8010-3 (BSI, 2013) para o UKOPA; a norma americana ASME 31.8S (ASME, 2016) para o DOT; a norma canadense CSA Z662 (CSA, 2015) para o CER; e a norma australiana/neozelandesa AS/NZS 2885.6 (AS/NZS, 2018) para o APIA.

Conforme pode ser observado na Tabela 16, observa-se que as diversas variáveis identificadas como causas específicas de falhas em dutos terrestres podem ser resumidas ou agrupadas em seis classes principais: corrosão; defeitos de material, fabricação e montagem; equipamento; interferência externa; operações incorretas; e forças da natureza. Apesar das subclasses (variáveis) variarem de país para país, observa-se que há uma forte correlação entre as causas-raiz (classes principais) identificadas nos bancos de dados internacionais analisados.

Destaca-se a presença das categorias de causa “corrosão”, “defeitos de material, fabricação e montagem” e “interferência externa” em 100% dos *benchmarks* e a ausência apenas no NOSDRA de “forças da natureza” (muito provavelmente pelo fato da Nigéria não ser um país montanhoso e com histórico de desastres naturais). Por outro lado, nota-se a ausência da categoria “equipamentos” no EGIG, UKOPA e APIA; e “operações incorretas” nestes dois últimos.

A Tabela 16 explicita as variáveis que foram identificadas para o fator temático “Causas”, bem como o percentual dos benchmarks que abordaram cada uma delas.

Tabela 16 – Variáveis identificadas para o fator temático “Causas”.

Fonte: O próprio autor.

| Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável |
|-------------------|---|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|
| Causas | Corrosão | Corrosão (geral) | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Corrosão Interna | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Corrosão Externa | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Corrosão sob tensão (SCC) | | X | X | X | X | X | X | | 75% |
| | Defeitos de material, fabricação e montagem | Defeitos de Mat., Fabric. e Montagem (geral) | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Defeito no tubo | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Defeito na solda longitudinal | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Defeito na solda circunferencial | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Defeitos em curvas ("wrinkles" ou "buckles") | X | X | X | X | X | X | | | 75% |
| | Equipamento | Equipamento (geral) | | | X | X | X | X | | X | 63% |
| | | Falha em juntas/flanges | X | | X | X | X | X | | X | 75% |
| | | Falha em válvulas (gaxeta) | | | X | X | X | X | | X | 63% |
| | | Mal funcionamento de equipamentos de controle | | | X | X | X | X | | | 50% |
| | | Falha no selo de bombas | | | X | | X | | | X | 38% |
| | | Demais falhas de equipamentos | | | X | X | X | | | X | 50% |
| | Interferência Externa | Interferência Externa (geral) | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Dano mecânico não intencional (imediatos) | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Dano mecânico não intencional (não imediato) | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Dano intencional (vandalismo, etc) | | | X | X | X | X | | X | 63% |

| Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável | |
|-------------------|----------------------|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|-----|
| Causas | Operações Incorretas | Operações Incorretas (geral) | | X | X | X | X | X | | X | 75% | |
| | | Procedimento operacional incorreto | | | X | X | X | X | | X | 63% | |
| | | Procedimento incorreto de manutenção | | X | X | X | X | X | | X | 75% | |
| | Forças da natureza | Forças da natureza (geral) | X | X | X | X | X | X | X | | | 88% |
| | | Condições extremas de calor ou frio | | | | X | X | X | | | | 38% |
| | | Ventos fortes | | | | X | X | X | | | | 38% |
| | | Ameaças hidrotécnicas (inundações, erosões, etc) | | X | X | X | X | X | X | | | 75% |
| | | Ameaças geotécnicas (movimentação de solo) | X | X | X | X | X | X | X | | | 88% |
| | | Descargas elétricas | X | X | | X | X | X | X | | | 75% |

- Consequências

Segundo Biezma *et al.* (2020), em função de transportarem produtos perigosos em condições operacionais severas (altas pressões e vazões), as falhas associadas a dutos de transporte (gasodutos ou oleodutos) tem o potencial de resultarem em consequências significativas de natureza econômica/financeira, ambiental e também provocar danos às pessoas. Estes três aspectos remetem ao conceito do TBL – *triple bottom line*, explicitado no capítulo 1, e reforçam o caráter sustentável do tema tratado nesta tese. A título de informação, com relação ao aspecto “dano a pessoas”, o autor citado acima relata os 10 acidentes da indústria dutoviária que deram origem ao maior número de fatalidades em toda a história, enquanto Camacho *et al.* (2017) apresenta distribuições estatísticas de volumes vazados de produtos em diferentes tipos de ambientes (aquáticos e terrestres) e de perdas financeiras em decorrência de acidentes em dutos.

A Tabela 17 a seguir mostra os quatro fatores temáticos identificados para esta dimensão, bem como as respectivas variáveis mapeadas.

Tabela 17 – Variáveis identificadas para o fator temático “Consequências”.

Fonte: O próprio autor.

| Fatores temáticos | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável | |
|-------------------|--|--|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|------|
| Consequências | Modo de falha | Ruptura (Rupture) | X | X | X | X | X | X | | 88% | |
| | | Furo (leak) | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Trinca (pinhole/crack) | X | X | X | X | X | | | | 63% |
| | | Formação de cratera no solo e suas dimensões | X | | | | | | | | 13% |
| | | Dimensões do furo (área, comprimento, largura etc) | X | X | X | X | X | | | | 63% |
| | | Orientação do dano na seção transversal do duto | X | | | | | | X | X | 38% |
| | | Tipo de reparo utilizado | X | | | | | X | X | | 38% |
| | | Falha de outros equipamentos | | | X | X | X | X | | | 50% |
| | Impacto a pessoas e ao patrimônio (incêndio/ explosão) | Registro se houve ignição do produto | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Registro se houve explosão | | X | X | X | X | X | | X | 75% |
| | | Registro se houve incêndio | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Número de fatalidades | | X | X | X | X | X | X | X | 88% |
| | | Número de feridos | | X | X | X | X | X | X | X | 88% |
| | | Danos a propriedades de terceiros | | | X | X | X | X | X | X | 75% |
| | | Danos a outras instalações do operador | | | | X | X | | | | 25% |
| | | Raio do dano provocado pelo incêndio/explosão | X | | | | | | X | | 25% |
| | | Densidade populacional da região afetada | | | X | X | | X | | | 38% |
| | | Classe de locação / Uso do solo da região afetada | X | | X | X | X | X | X | | 75% |

| Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável |
|-------------------|--------------------------|---|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|
| Consequências | Impacto ao meio ambiente | Quantidade de volume vazado | X | | X | X | X | X | X | X | 88% |
| | | Quantidade de volume recuperado (remediação) | | | X | | X | | X | X | 50% |
| | | Extensão da área de solo afetada | X | | X | | | | | X | 38% |
| | | Tempo total para limpeza do ambiente afetado | | | X | | | | | X | 25% |
| | | Registro se o produto atingiu corpo d'água | | | X | X | X | | | X | 50% |
| | | Classificação do corpo d'água atingido | | | X | X | X | | | X | 50% |
| | Impacto financeiro | Perda financeira associada a incêndio e explosão | | | | X | X | | X | | 38% |
| | | Perda financeira associada a poluição ambiental | | | | | X | | | X | 25% |
| | | Perda financeira devido ao valor do produto perdido | | | | X | X | | | | 25% |
| | | Período total devido à falta de fornecimento do produto | X | | X | X | X | X | X | | 75% |

No que tange aos fatores temáticos associados aos aspectos destacados anteriormente (relacionados ao TBL), o primeiro foi intitulado “impacto às pessoas e ao patrimônio” em decorrência do desenvolvimento de cenários de incêndio/explosão a partir dos eventos de falha. Dada a natureza inflamável dos produtos transportados pelos dutos que compõem o escopo do presente trabalho, 100% dos bancos de dados solicitam o registro se houve incêndio do produto pós vazamento (efeitos físicos associados à radiação térmica) e 75% deles se houve explosão (ondas de choque/sobreprensão), enquanto que 88% coletam dados associados à ignição do produto e ao quantitativo de fatalidades e feridos. Neste âmbito, duas organizações (25%) solicitam o preenchimento da extensão da área (raio) atingida pelo incêndio/explosão. Adicionalmente, também são registrados dados relacionados à classe de locação (75%) e à densidade demográfica de forma quantitativa (38%) da localidade onde ocorreu evento, bem como o apontamento se ocorreram danos patrimoniais às instalações do operador do duto (25%) e/ou a terceiros (75%). Maiores

detalhes sobre os cenários acidentais decorrentes de falhas em dutos são apresentados por Bonvicini *et al.* (2015).

Informações associadas a “impactos ao meio ambiente” são mais relevantes para oleodutos, uma vez que os danos ambientais causados por vazamentos de gás natural em geral podem ser considerados desprezíveis. Esta observação fica evidente por exemplo com a ausência de registros de variáveis pertencentes a este fator temático pelo EGIG (2018), e antagonicamente com a presença de 100% destas variáveis no CONCAWE (2019). Não obstante, verificou-se uma grande preocupação das organizações em solicitarem a quantificação do volume liberado ao meio ambiente (88%), seguido pela estimativa do volume recuperado após a remediação (50%) e as indicações se algum corpo d’água foi atingido e a sua classificação (águas superficiais, águas subterrâneas, se é utilizado para captação e uso humano, etc). Em menor número, foi observada a preocupação com a extensão da área de solo afetada (38%) e com o tempo total para limpeza do ambiente afetado (25%).

O próximo fator temático diz respeito aos “impactos financeiros”, cujas variáveis mapeadas possuem, todas, caráter quantitativo. A maior parte dos *benchmarks* mapeia o período total devido à falta de fornecimento do produto (75%), variável diretamente associada ao eventual comprometimento da continuidade operacional e dos negócios dos operadores. Em seguida, 38% solicitam a quantificação das perdas resultantes de cenários de incêndio/explosão; e 25% das perdas financeiras associadas a poluição ambiental e ao valor do produto perdido. Cunha (2016) apresenta correlações para estimativa destes danos financeiros obtidas através de históricos de acidentes.

Por fim, verificou-se a necessidade da definição de um quarto fator temático, o qual faz menção ao modo de falha do duto. Conforme mostrado na Tabela 17, 88% dos *benchmarks* consideram a distinção entre eventos de ruptura e furos, sendo que 63% deles inclusive solicitam a quantificação das dimensões dos furos (área, comprimento, largura etc). Registros relacionados a formação de cratera no solo em decorrência do vazamento (aplicável a dutos de gás), orientação do dano na seção transversal do duto (variando de 0 a 360 graus) e tipo de reparo utilizado para

recomposição do ativo tiveram participações menores. Destaca-se que 50% das organizações registram também falhas ocorridas em outros equipamentos (bombas, válvulas etc).

Especificamente para as dimensões de furos, a título de ilustração são evidenciadas na Tabela 18 as classes preconizadas pelos bancos de dados internacionais que evidenciam estas informações nos seus respectivos relatórios.

Tabela 18 – Distribuição de tamanho de furos adotadas pelos benchmarks.

Fonte: O próprio autor.

| Parâmetros | CONCAWE | UKOPA | EGIG |
|--|--|----------------------------|---------------------------|
| Formato dos furos | Elíptico | Circular | Circular |
| Número de classes | 5 | 6 | 3 |
| Dimensões dos furos | | | |
| Classe 1 | > 75 mm x mínimo de 10% de abertura | > D _{duto} | > D _{duto} |
| Classe 2 | 75 – 1000 mm x máximo de 10% de abertura | 110 mm - D _{duto} | 20 mm - D _{duto} |
| Classe 3 | 2 – 75mm x mínimo de 10% de abertura | 40 – 110 mm | 0 - 20 mm |
| Classe 4 | 2 – 75mm x máximo de 10% de abertura | 20 – 40 mm | - |
| Classe 5 | 0 – 2mm x 2mm | 6 – 20 mm | - |
| Classe 6 | - | 0 – 6 mm | - |
| Observações: 1) As dimensões do CONCAWE estão no formato “Comprimento x Largura”; 2) D _{duto} significa “diâmetro do duto”. | | | |

Adicionalmente, HSE (2015) auxilia na quantificação da área equivalente do furo em função do seu comprimento e de parâmetros específicos do duto (diâmetro e espessura), conforme explicitado na equação (6):

$$L = (Dt)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{A}{7.548 \times 10^{-4}} \right)^{\frac{1}{3.706}} \quad (6)$$

Em que:

- L Comprimento do defeito (mm);
- D Diâmetro externo do duto (mm);

- t Espessura do duto (mm);
 A Área normalizada do furo (razão entre a área do furo / área de seção transversal do duto, em porcentagem).

- Características do local do evento

O último fator temático da dimensão em questão refere-se às “Características do Local” onde de fato ocorreu o evento, principalmente no que tange aos atributos do duto naquela localidade. Em função do número razoável de variáveis pertencentes a este grupo, foi necessário definir algumas classes que estão explicitadas na Tabela 19 a seguir.

Tabela 19 – Variáveis identificadas para o fator temático “Características do Local”.

Fonte: O próprio autor.

| Fatores temáticos | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAVE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável | |
|--------------------------|--|-----------------------------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|-----|
| Características do local | Características físicas/de projeto do duto | Diâmetro do duto | X | X | X | X | X | X | | 88% | |
| | | Profundidade do duto no solo | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Espessura da parede do duto | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Fator de projeto | | X | | | | | | | 13% |
| | | Tipo de tubo | X | X | X | X | X | X | | | 75% |
| | | Ano de construção / instalação | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Pressão de Projeto | | X | | | | | | | 13% |
| | | Pressão do Teste Hidrostático | | X | | X | X | | X | | 50% |
| | | Tipo de Revestimento externo | X | X | | X | X | X | X | | 75% |
| | | Tipo de Revestimento interno | X | | | X | X | | X | | 50% |
| | | Trecho aéreo ou trecho enterrado | X | | X | X | X | | | | 50% |
| | | Tipo de travessia (se pertinente) | X | | | X | | | | | 25% |

| Fatores temáticos | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável | |
|--------------------------|--|--|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|------|
| Características do local | Variáveis operacionais | Produto transportado no momento do incidente | X | X | X | X | X | X | X | 100% | |
| | | Pressão Máxima de Operação | | X | X | X | X | X | X | 75% | |
| | | Pressão de Operação | X | X | X | X | X | X | X | 88% | |
| | | Vazão no momento do vazamento | | | X | X | | | | 25% | |
| | Dados temporais e localização geográfica | Coordenadas do local do incidente | X | | | X | X | X | X | X | 75% |
| | | Data do evento | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Data e horário da detecção do vazamento | | | X | X | X | X | X | X | 75% |
| | | Data e horário estimado do início do vazamento | | | X | | | X | | X | 38% |
| | | Data e horário da parada da operação do duto | | | X | X | X | | | | 38% |
| | | Data e horário da parada do vazamento | | | X | | | | | X | 25% |
| | | Taxa de vazamento antes da parada das bombas | | | X | | | | | | 13% |
| | Medidas de prevenção / mitigação de risco | Tipo de Proteção Catódica | X | X | | | | | X | | 38% |
| | | Medidas existentes no local | X | X | | | | | X | X | 50% |
| | | Registro se o trecho foi inspecionado por PIGs | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Registro se o trecho foi inspecionado por vigilância aérea | X | | | | | | | | 13% |
| | Detecção | Forma através da qual o incidente foi identificado | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Tipo de sistema de detecção de vazamento | | | X | | X | | X | | 38% |

O primeiro grupo, intitulado “características físicas/de projeto do duto”, registra dados de projeto e construtivos do duto na localidade onde o evento ocorreu e são de suma importância para o pleno entendimento de suas causas e consequências. As variáveis “diâmetro”, “espessura de parede”, “profundidade do duto no solo” e “ano de construção/instalação” apareceram em 88% das referências estudadas, seguidas por

“tipo de tubo” (solda longitudinal/espiral, tubo sem costura, etc) e “tipo de revestimento externo” com frequência de 75%. Por sua vez, a indicação se o trecho onde ocorreu o evento é “aéreo ou enterrado”, bem como o “tipo de revestimento interno” (se existente) e a “Pressão” a que o duto foi submetido durante o Teste Hidrostático” foram apontados em 50% dos documentos. Por fim, em 25% foi mapeada a necessidade de registrar o “tipo de travessia” no local do evento (se pertinente - travessia com rios, rodovias, ferrovias etc), e apenas o EGIG solicita informar o “fator de projeto” e “pressão de projeto” do duto (certamente porque estas duas variáveis são mais relevantes para gasodutos). Destaca-se que não foi encontrada nenhuma variável pertencente a este grupo no banco de dados nigeriano (NOSDRA).

Com relação às “variáveis operacionais”, 100% das organizações entendem como relevante saber qual o “produto transportado no momento do incidente”, refletindo a sua importância para averiguação do evento de falha. Em seguida, a “pressão de operação” (88%), a “pressão máxima de operação” (75%) e a “vazão no momento do vazamento” (25%) também foram identificadas neste grupo. O comportamento do fluido liberado a partir do vazamento depende diretamente destas variáveis, ou seja: do próprio fluido (e suas propriedades físico-químicas); da pressão em que o fluido é liberado para a atmosfera; e a vazão de liberação.

Para o grupo “Dados temporais e localização geográfica” percebeu-se que a “data de ocorrência do evento” (100%), as “coordenadas do local do evento” e a “data e horário da detecção do vazamento” (75%) foram as variáveis que tiveram a maior frequência de ocorrência. A data do evento, especificamente, permite a organização de um histórico e posteriormente o cálculo de falha dos dutos ao longo do tempo. As demais variáveis tiveram menor frequência provavelmente porque são difíceis de serem estimadas na prática e não fornecem informações tão relevantes quanto as demais.

Por sua vez, para as “medidas de prevenção / mitigação” foi indicada como variável mais frequente o “registro se o trecho foi inspecionado por PIGs” (instrumentados ou geométrico). Segundo Mishra *et al.* (2019), os *Pipeline Inspection Gauges* (PIGs) podem ser de diversos tipos e constituem uma das ferramentas mais utilizadas pelos operadores para a realização de inspeção e manutenção em dutos.

Em seguida, “medidas existentes no local” tais como placas de concreto para prevenção de danos ocasionados por ação involuntária de terceiros foi citada por 50% dos benchmarks. A discriminação do “tipo de proteção catódica” (corrente impressa ou anodo de sacrifício) e o “registro se o trecho foi inspecionado por vigilância aérea” foram lembradas por apenas 38% e 13%, respectivamente (esta última apenas pelo UKOPA). Mais detalhes sobre medidas de prevenção e mitigação de riscos em dutos terrestres podem ser encontrados na norma britânica PD 8010-3 (BSI, 2013)

O agrupamento “detecção” foi o último analisado para este fator temático. Apenas duas variáveis foram mapeadas: “forma através da qual o incidente foi identificado” (público, cliente, funcionário da operadora, etc) e “tipo de sistema de detecção de vazamento” presente (sistemas acústicos, fibra óptica, sistema SCADA, etc), os quais apresentaram, respectivamente, frequências de ocorrência nos bancos de dados internacionais de 88% e 38%.

4.2.2 Dimensão “Malha dutoviária”

A segunda dimensão mapeada diz respeito às informações que são coletadas pelas organizações referentes à malha dutoviária considerada pelo escopo dos respectivos bancos de dados de falha. Compõem esta dimensão três fatores temáticos, os quais abordam variáveis relacionadas aos tipos de duto (gasoduto ou oleoduto); o apontamento se e quais instalações pontuais (tais como estações de compressão e bombeamento, pontos de entrega etc) também fazem parte do escopo (além dos trechos de duto extramuros); e parâmetros associados à extensão da malha propriamente dita. Os subitens a seguir abordam as variáveis que foram identificadas, respectivamente, para estes fatores temáticos seguindo a ordem supracitada.

Em função de ter-se mapeado um número menor de variáveis para esta dimensão em relação à anterior, as mesmas foram apresentadas na Tabela 20 a seguir de forma conjunta, sem a segregação por fator temático.

Tabela 20 – Variáveis identificadas para a dimensão “Malha dutoviária”.

Fonte: O próprio autor.

| Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável | |
|--------------------------------------|---|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|------|
| Malha dutoviária | Tipo de duto | Gasodutos | X | X | | X | | X | X | | 63% | |
| | | Oleodutos | X | | X | | X | X | X | X | 75% | |
| | Instalações pontuais associadas | Trechos de duto extramuros | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Estações de válvulas | | | X | X | X | X | | | X | 63% |
| | | Instalações pontuais intermediárias | | | X | X | X | X | | | X | 63% |
| | | Trechos intramuros nas instalações | | | | X | X | X | | | X | 50% |
| | Parâmetros associados à extensão da malha | Ano de construção / instalação | X | X | X | X | X | | | | X | 75% |
| | | Diâmetro | X | X | X | X | X | | | | X | 75% |
| | | Espessura da parede do duto | X | X | | | | | | | | 25% |
| | | Pressão Máxima Operacional (PMOA) | | X | | | | | | | | 13% |
| | | Profundidade do trecho de duto no solo | | X | | | | | | | | 13% |
| | | Classe de locação / Uso do solo | X | | | X | | | | X | | 38% |
| | | Grau do material do tubo | | X | | | | | | | | 13% |
| | | Presença ou ausência de proteção catódica | | | | | X | X | | | | 25% |
| | | Tipo de Produto transportado | X | X | X | X | X | | | | | 63% |
| | | Tipo de revestimento externo | X | X | | | | | | | | 25% |
| | | Volume de produto total transportado por ano | | | X | X | X | | | | | 38% |
| Tipo de ferramenta de inspeção (PIG) | | | | X | X | X | | | | | 38% | |
| Tipo de duto (gasoduto, oleoduto) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% | |

- Tipo de Duto

Este fator temático buscou levantar quais tipos de duto compõem o escopo de cada *benchmark* estudado. Observa-se que quatro das sete instituições coletam simultaneamente informações para gasodutos e oleodutos (APIA, CER, DOT e UKOPA), sendo que o DOT utiliza formulários distintos para cada um dos tipos. Na Europa, o CONCAWE e o EGIG possuem escopos específicos (oleodutos e gasodutos, respectivamente), enquanto que o NOSDRA é focado apenas em oleodutos.

- Instalações pontuais

Todos os bancos de dados têm como objetivo a coleta de falhas em trechos extramuros, porém alguns deles também consideram eventos ocorridos em ativos existentes ao longo dos dutos, tais como estações de válvulas e outras instalações pontuais (estações de bombeamento, estações de compressão, pontos de entrega etc), ambas com frequência de 63%. Porém, apenas 25% analisam eventos advindos de trechos intramuros nas instalações presentes nas extremidades dos dutos, tais como terminais e refinarias.

Como pode ser observado na Figura 21, os bancos de dados CER, DOT e NOSDRA coletam dados de eventos ocorridos tanto em trechos intra e extramuros, como também em todos os tipos de instalações. APIA, EGIG e UKOPA, por sua vez, têm como escopo apenas os trechos extramuros dos dutos, enquanto que o CONCAWE possui um comportamento intermediário: solicita a coleta de dados dos trechos extramuros e de instalações pontuais (área de válvulas e demais instalações intermediárias), porém não abrange os eventos ocorridos em instalações nas extremidades dos dutos.

- Parâmetros associados à extensão da malha

As variáveis pertencentes a este fator temático usualmente são utilizadas pelos bancos de dados para a construção de estatísticas que quantificam a exposição da malha dutoviária ao longo do tempo distribuída por classes pertinentes a tais variáveis. Um exemplo retirado do EGIG é evidenciado na Figura 22 a seguir.

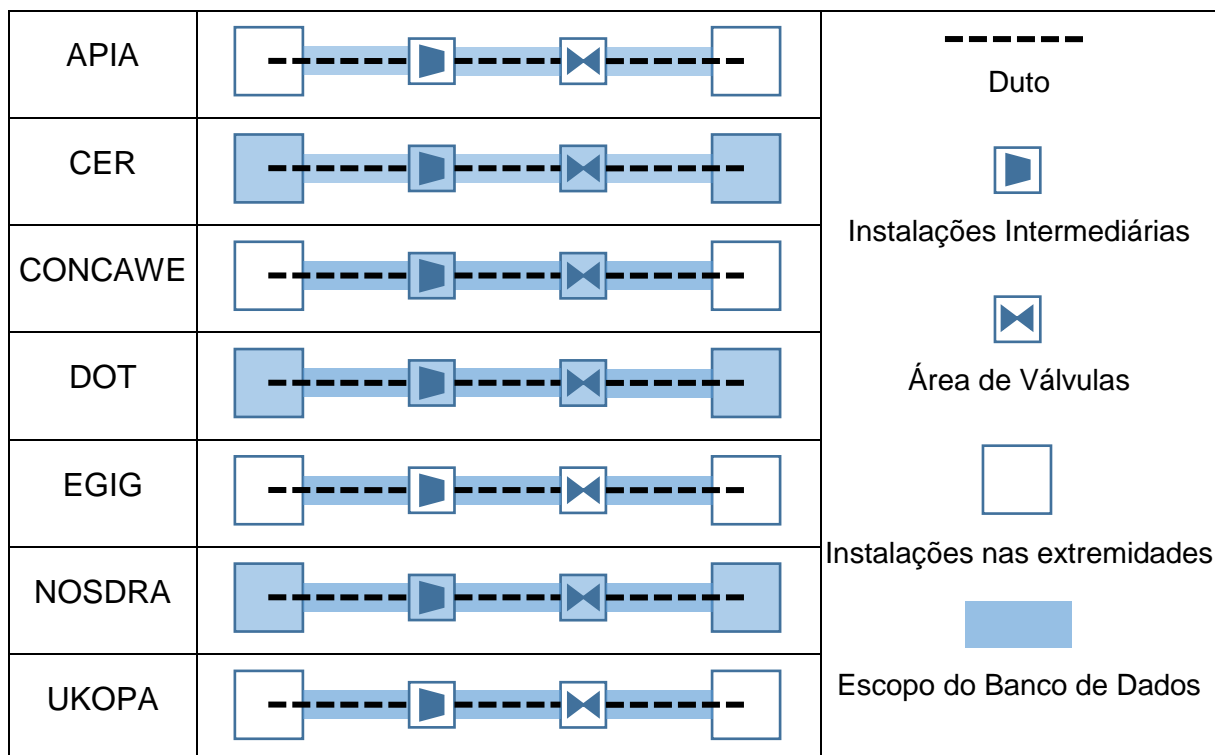


Figura 21 – Escopo adotado por cada banco de dados.
 Fonte: Adaptado de Bolt *et al.* (2006).

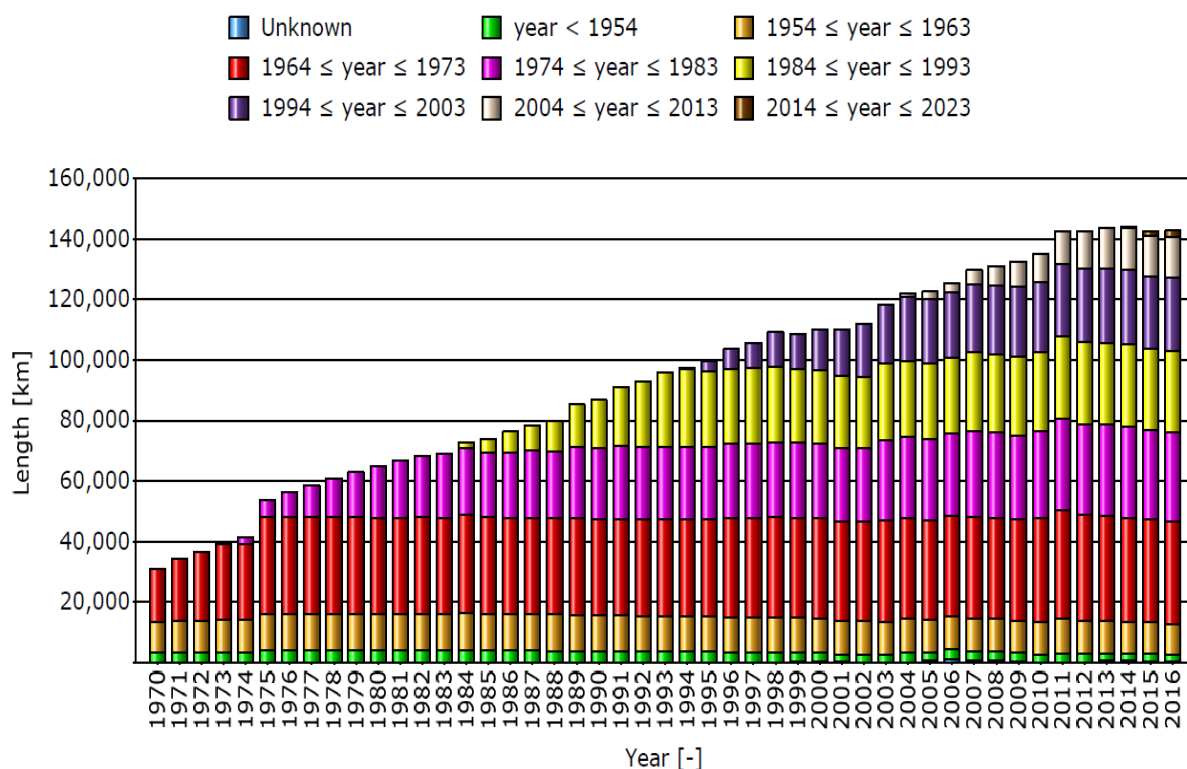


Figura 22 – Exposição da malha europeia de gasodutos ao longo do tempo distribuída por classes de ano de construção.
 Fonte: EGIG (2018).

Como pode ser observado na Tabela 20, todos coletam informações referentes à extensão da malha dutoviária ao longo do tempo, considerando obviamente o tipo de duto que compõe os seus respectivos escopos. Isto permite que seja feita a normalização dos dados de falha, dividindo-se o número de eventos ocorridos em um determinado ano pela extensão (ou exposição) da malha naquele mesmo ano, e possibilitando a comparabilidade do número resultante (taxa de falha) para um mesmo banco de dados ao longo dos anos e também entre bancos de dados (Bolt *et al.*, 2006).

Seguindo a ordem da frequência de ocorrência das variáveis apresentada na referida tabela, observa-se que “ano de construção / instalação” e “diâmetro” dos dutos apareceram em 75% das referências estudadas, seguidos do tipo de produto transportado (63%). As demais variáveis tiveram uma participação menor que 50%. Importante destacar que CONCAWE, EGIG, DOT e UKOPA são os benchmarks que mais coletam variáveis para este fator temático, e coincidentemente são também os bancos de dados mais referenciados na literatura, de acordo com os números explicitados na Tabela 14.

Adicionalmente, é importante ressaltar que cruzamento de informações de falha e de exposição da malha dutoviária permite a geração de informações relevantes para a gestão de risco, tais como a influência da idade, da espessura e do tipo de produto, dentre outros parâmetros, na sua taxa de falha. Neste sentido, fez-se um levantamento das informações disponibilizadas pelos relatórios consolidados pelos benchmarks CONCAWE, EGIG e UKOPA, as quais evidenciam a influência dos parâmetros estudados no presente fator temático nas taxas de falha específicas associadas a algumas das causas mapeadas na dimensão “eventos”. Correlações análogas podem também ser apreciadas nas normas britânicas PD 8010-3 (BSI, 2013) e IGEM/TD/2 (IGEM, 2013).

Tabela 21 – Mapeamento das variáveis que influenciam a taxa de falha específica para cada categoria de causa.

Fonte: O próprio autor.

| Variáveis | Ação de Terceiros | Corrosão | Forças da Natureza | Defeitos de Material |
|--------------------------------------|---|-------------------|--------------------|----------------------|
| Ano de Construção | | CW, EG, UK | | CW, EG, UK |
| Diâmetro | CW, EG, UK | | CW | |
| Espessura de parede | EG, UK | EG, UK | | |
| Profundidade do duto no solo | EG | | | |
| Classe de Locação | UK | | | |
| Grau do material do tubo | | | | EG |
| Produto transportado | | CW | | |
| Revestimento externo | | EG, UK | | |
| Tipo de ferramenta de inspeção (PIG) | CW | CW | | CW |
| Siglas: | CW: CONCAWE EG: EGIG UK: UKOPA | | | |

A análise da Tabela 21 permite verificar que a idade dos dutos que compõem a malha dutoviária influencia diretamente a taxa de falha específica relacionada à corrosão (falhas dependentes do tempo) e também a defeitos relacionados a material/construção dos dutos, uma vez que estes números refletem o avanço tecnológico sob este aspecto ao longo do tempo (melhorias na fabricação/soldagem dos tubos, métodos construtivos mais avançados, materiais de melhor qualidade, etc). Tais correlações, assim como a influência do diâmetro na taxa de falha associada a ação de terceiros, foi avaliada pelos três *benchmarks* em questão.

A influência do diâmetro na taxa de falha associada a Forças da Natureza (mais especificamente para “movimentação de solo”) foi identificada pelo CONCAWE. Mais precisamente, Goodfellow (2014) explicita que há uma relação direta da suscetibilidade do duto à movimentação de solo com a espessura, parâmetro este que é função do diâmetro do duto. A espessura da parede também foi mapeada pelo EGIG

e pelo UKOPA como uma variável importante para ação de terceiros e corrosão, uma vez que quanto maior a espessura da parede, maior a resistência do duto ao choque com escavadeiras e ao ataque por agentes corrosivos (ou seja, maiores devem ser as dimensões dos defeitos que de fato podem causar a sua falha).

Em seguida, o EGIG explicita a influência da profundidade do duto no solo na probabilidade de ocorrência de falha por ação de terceiros, pois quanto maior a profundidade, menos vulnerável estará o duto ao choque com máquinas. A classe de locação, por sua vez, foi mapeada pelo UKOPA também como sendo um fator importante para a taxa de falha devido à ação de terceiros, dado que quanto maior a presença de pessoas na circunvizinhança, maior a probabilidade de ocorrência de trabalhos de escavação nas proximidades da faixa.

Por sua vez, o grau do material é apontado pelo EGIG como um fator importante para a taxa de falhas relacionada à causa defeitos de material, enquanto que o tipo de produto transportado foi evidenciado pelo CONCAWE como uma variável importante para falhas devido à corrosão. Conforme esta referência, produtos transportados a quente (como escuros, devido à sua alta viscosidade) ou petróleo cru em geral possuem taxas de corrosão (e conseqüentemente de falha) maiores que derivados, seja por conta da deterioração de alguns tipos de revestimento em dutos de escuros, seja pela característica mais corrosiva dos produtos transportados (acidez, presença de água, etc). O tipo de revestimento externo também foi mapeado pelo EGIG e pelo UKOPA como variáveis importantes para falhas devido à corrosão, enquanto que o CONCAWE aponta que a passagem de PIGs (instrumentados ou geométricos) podem contribuir para a redução da taxa de falha ao longo do tempo relacionadas à corrosão, ação de terceiros (falhas não imediatas) e defeitos de material (laminações, defeitos em soldas, etc que eventualmente podem estar presentes nos tubos).

4.2.3 Dimensão “Gestão”

A terceira e última dimensão refere-se a características associadas à gestão do banco de dados, as quais podem variar bastante de região para região do mundo. Foram propostos quatro fatores temáticos, a saber: manutenção; publicidade/sigilo dos dados; separação da coleta; e critérios de reporte. A Tabela 22 apresenta as

variáveis identificadas pertinentes a cada um destes fatores, as quais são analisadas a seguir.

Tabela 22 – Variáveis identificadas para a dimensão “Gestão”.

Fonte: O próprio autor.

| Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | % dos benchmarks que abordaram cada variável |
|-------------------|--------------------------------|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|
| Malha dutoviária | Manutenção | Manutenção feita por instituição privada | X | X | X | | | | X | | 50% |
| | | Manutenção feita por órgão regulador | | | | X | X | X | | X | 50% |
| | Publicidade / Sigilo dos dados | Dados abertos ao público em geral | | | | X | X | X | | X | 50% |
| | | Dados disponíveis apenas para os operadores | X | X | X | | | | X | | 50% |
| | | Estatísticas de falha disponíveis ao público | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | Separação da Coleta | Aplicação de formulário específico para gasodutos | | X | | X | | | | | 25% |
| | | Aplicação de formulário específico para oleodutos | | | X | | X | | | X | 38% |
| | | Aplicação de formulário único para ambos | X | | | | | X | X | | 38% |
| | Critérios de reporte | Eventos que atinjam um valor de perda financeira | | | | X | X | | | | 25% |
| | | Eventos que atinjam um valor de volume vazado | | | X | | | | | | 13% |
| | | Qualquer evento de perda de contenção | X | X | | | | X | X | X | 63% |

Duas opções foram identificadas para a manutenção: banco de dados mantido por instituição privada, tais como APIA, CONCAWE, EGIG e UKOPA; ou por órgão regulador, como CER, DOT e NOSDRA. A primeira opção usualmente é resultado da iniciativa dos próprios operadores de dutos para compartilhamento de conhecimento e para geração de informações com significância estatística, impossíveis de serem obtidas com dados coletados isoladamente. Uma vez que os dados de falha são relativamente raros, a associação de operadores neste sentido amplia expressivamente o escopo, ou seja, o tamanho da malha de dutos exposta ao risco, e conseqüentemente torna a amostra mais representativa. Por outro lado, a

segunda opção torna compulsório o reporte das falhas pelos operadores aos órgãos de controle responsáveis, podendo resultar inclusive em penalidades aos operadores em caso de subnotificação.

No que tange o sigilo das informações, verificou-se que os bancos de dados organizados por órgãos de controle tornam públicas todas as informações referentes às falhas, enquanto que as instituições privadas de forma geral apenas disponibilizam através de relatórios as estatísticas obtidas através dos dados, mantendo estes sob sigilo (com exceção do CONCAWE, que divulga todo o histórico, sem, porém, identificar os operadores dos dutos onde ocorreram as falhas).

A análise da separação da coleta de dados só é plausível para *benchmarks* que não são especializados em um tipo de duto apenas, tais como APIA, CER, DOT e UKOPA. Destes quatro, apenas o DOT coleta dados utilizando formulários específicos para gasodutos e oleodutos, enquanto os demais possuem apenas um formulário que abrange a aquisição de dados destes dois tipos de dutos.

Por fim, no que tange aos critérios de reporte, a maioria das organizações (63%) coletam informações referentes a qualquer evento que resulte em perda de contenção, independente do volume liberado para a atmosfera. Apenas o DOT considera um valor mínimo de perda financeira para que o evento seja de interesse para o seu escopo, enquanto que o CONCAWE estabelece um valor mínimo de volume vazado como critério.

4.3 QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

A elaboração do instrumento temático descrito anteriormente e disponibilizado no Apêndice B gerou insumos para a elaboração do questionário de pesquisa, o qual primeiramente foi submetido a um teste piloto com o auxílio de diversos especialistas brasileiros da área de dutos terrestres.

As principais etapas que compuseram o teste piloto são descritas nos itens a seguir.

4.3.1 Resultados do teste piloto

a) Primeira etapa

Conforme descrito no item 3.5.1, o teste piloto foi realizado em duas etapas distintas. Para a primeira etapa, foram selecionados 5 profissionais especialistas em áreas afins ao presente trabalho, de forma a se coletar *feedbacks* de cada um deles a respeito do formulário piloto proposto. Os perfis dos profissionais selecionados para esta primeira etapa são resumidos a seguir na Tabela 23.

Tabela 23 – Participantes da primeira etapa do teste piloto”.

Fonte: O próprio autor.

| Participante | Tempo de experiência | Área de especialização | Tipo de instituição a qual pertence | Graduação |
|----------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| Profissional 1 | Entre 11 e 15 anos | Riscos e Segurança de Processos | Empresa operadora de dutos | Pós-Graduado |
| Profissional 2 | Mais de 20 anos | Integridade | Instituição de ensino superior | Doutor |
| Profissional 3 | Entre 16 e 20 anos | Integridade | Empresa proprietária de dutos | Pós-Graduado |
| Profissional 4 | Mais de 20 anos | Integridade | Empresa operadora de dutos | Mestre |
| Profissional 5 | Entre 11 e 15 anos | Riscos e Segurança de Processos | Empresa proprietária de dutos | Doutor |

Todos os profissionais que participaram desta etapa possuem experiência superior a 10 anos, sendo que dois deles atuam há mais de 20 anos na área dutoviária. Buscou-se o suporte de profissionais experientes e com especialização nas áreas de integridade, riscos e/ou segurança de processos, especificamente relacionadas a dutos, uma vez que estas disciplinas são aderentes ao tema abordado.

Além disso, todos os participantes elencados atualmente trabalham ativamente em suas respectivas áreas de especialização e em instituições/empresas reconhecidas nacionalmente. Dois deles são empregados de empresas operadoras e outros dois de empresas proprietárias de dutos, enquanto que um deles é pesquisador em uma instituição de ensino superior no país. No que tange o grau de especialização, dois deles são doutores, um mestre e dois pós-graduados. Apenas a título de informação, dois pertencem ao sexo feminino, e três ao sexo masculino.

Para envio a este primeiro grupo foi elaborado um questionário preliminar (denominado como “formulário piloto”) com o auxílio da ferramenta “*Google Forms*” tendo como referência o instrumento temático (ver Apêndice B) construído com base na revisão bibliográfica. Além das perguntas considerando cada uma das variáveis identificadas, as quais na sua grande maioria devem ser avaliadas utilizando-se uma escala tipo *Likert* (Figura 23), também foram inseridas no início do formulário piloto questões com o objetivo de capturar informações do perfil profissional dos futuros respondentes da pesquisa e do conhecimento prévio dos mesmos a respeito dos *benchmarks* mapeados.



Figura 23 – Escala tipo *Likert* proposta para avaliação das perguntas pelos futuros respondentes da pesquisa.
Fonte: O próprio autor

Como pode ser observado no Apêndice C, as perguntas foram organizadas no questionário seguindo a classificação das variáveis em fatores temáticos e dimensões de análise proposta na Tabela 15. De forma a facilitar o entendimento das perguntas pelos futuros respondentes, também foram inseridos textos explicativos relacionados aos fatores e às dimensões.

Neste contexto, foi solicitado aos participantes da primeira etapa que avaliassem tanto as perguntas quanto os textos explicativos de forma a identificar eventuais erros e levantar oportunidades de melhoria para garantir que o questionário estivesse adequado para envio ao público em geral. Maiores detalhes a respeito do formulário piloto, incluindo a carta de apresentação do pesquisador, são explicitados no apêndice supracitado.

Por fim, o formulário piloto foi submetido à análise dos 5 participantes selecionados em 11/08/2020 por correio eletrônico, e todos eles emitiram seus comentários dentro do prazo estipulado de 17/08/2020. As informações obtidas foram compiladas e analisadas para posterior ajuste do formulário piloto. As principais contribuições recebidas nesta primeira etapa são resumidas na Tabela 24 a seguir.

Tabela 24 – Principais contribuições obtidas na primeira etapa do teste piloto”.

Fonte: O próprio autor.

| Contribuição |
|---|
| 1. Sugestões para correção de erros de português diversos (ortografia e concordância). |
| 2. Alteração da ordem das perguntas referentes ao perfil do respondente. |
| 3. Segregação das perguntas referentes ao fator temático "características do local" em subgrupos, e mudança do título para “características do duto no local da falha”. |
| 4. Inserção da opção “empresas prestadoras de serviço” na pergunta 2. |
| 5. Inserção de uma figura explicitando a escala tipo <i>Likert</i> para facilitar o entendimento. |
| 6. Inclusão de definições de termos técnicos nos textos explicativos. |

As contribuições mostradas na tabela acima foram prontamente atendidas e uma segunda versão do formulário foi elaborada para a realização da segunda etapa do teste piloto, conforme descrito a seguir.

b) Segunda etapa

Na segunda etapa, o formulário piloto já ajustado com os comentários da primeira etapa foi submetido a um grupo um pouco maior que o primeiro, tendo como objetivo avaliar a qualidade das perguntas e das respectivas respostas. Foram mantidos os cinco participantes da etapa anterior e acrescentados mais seis, buscando-se uma maior diversificação do grupo. Os perfis dos seis profissionais acrescentados para realização da segunda etapa são resumidos na Tabela 25.

Tabela 25 – Participantes adicionados à segunda etapa do teste piloto”.

Fonte: O próprio autor.

| Participante | Tempo de experiência | Área de especialização | Tipo de instituição a qual pertence | Graduação |
|----------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| Profissional 1 | Mais de 20 anos | Integridade | Empresa operadora de dutos | Pós-Graduado |
| Profissional 2 | Entre 11 e 15 anos | Escoamento / hidráulica | Empresa proprietária de dutos | Mestre |
| Profissional 3 | Entre 11 e 15 anos | Riscos e Segurança de Processos | Empresa proprietária de dutos | Pós-Graduado |
| Profissional 4 | Entre 16 e 20 anos | Riscos e Segurança de Processos | Órgão regulador | Mestre |

| | | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| Profissional 5 | Mais de 20 anos | Riscos e Segurança de Processos | Consultoria | Pós-Graduado |
| Profissional 6 | Entre 6 e 10 anos | Integridade | Órgão regulador | Mestre |

No que tange os novos integrantes, com exceção de um deles, todos os demais possuem experiência superior a 10 anos, sendo que dois deles atuam há mais de 20 anos na área dutoviária. Apesar da maioria dos novos participantes também serem especialistas nas áreas de integridade, riscos e/ou segurança de processos, buscou-se inserir um integrante não pertencente a estas especialidades, como foi o caso do profissional 2 (especialista em escoamento e hidráulica).

Da mesma forma que na etapa anterior, todos os participantes elencados atualmente trabalham ativamente em suas respectivas áreas de especialização e em instituições/empresas reconhecidas no país. Três são empregados de empresas operadoras e/ou proprietárias de dutos, enquanto que um deles é consultor de uma instituição de renome internacional na área de riscos e segurança de processos. Adicionalmente, contou-se também com dois profissionais de órgãos reguladores, o que confere um peso ainda maior à pesquisa. No que tange o grau de especialização, três deles são mestres e três pós-graduados. Apenas a título de informação, dois pertencem ao sexo feminino, e quatro ao sexo masculino.

Neste âmbito, o formulário piloto, já ajustado, foi submetido à análise dos 11 participantes (6 novos adicionados aos 5 anteriores) em 01/09/2020 por correio eletrônico. Dez deles emitiram seus comentários dentro do prazo estipulado de 08/09/2020, enquanto que a contribuição do último integrante foi recebida no dia 10/09/2020. De forma análoga, as informações obtidas foram compiladas e analisadas para elaboração do questionário de pesquisa. As principais contribuições recebidas na segunda etapa são resumidas na Tabela 26 a seguir.

Tabela 26 – Principais contribuições obtidas na segunda etapa do teste piloto”.

Fonte: O próprio autor.

| Contribuição |
|--|
| 1. Sugestões para correção de erros de português diversos (ortografia e concordância). |
| 2. Inclusão de mais opções na pergunta sobre a instituição na qual o respondente trabalha. |
| 3. Inserção de uma pergunta sobre a área de atuação/especialização do respondente. |
| 4. Alteração do tipo de pergunta referente aos bancos de dados de “aberta” para “múltipla escolha” (inserindo os nomes dos <i>benchmarks</i> como opções). |
| 5. Aperfeiçoamento de definições de termos técnicos nos textos explicativos. |
| 6. Sugestões de melhoria diversas do ponto de vista técnico para algumas perguntas e respostas. |

Os ajustes sugeridos explicitados na tabela anterior foram prontamente atendidos, resultando, por fim, no questionário de pesquisa que seria, posteriormente, submetida à apreciação dos futuros respondentes. A versão final deste documento e outras informações mais detalhadas sobre o mesmo, incluindo evidência da sua versão no formato “*Google Forms*”, constam no Apêndice D.

5. RESULTADOS PARTE 2 – PESQUISA DE CAMPO

O questionário apresentado no Apêndice D, obtido após a realização do teste piloto, foi aplicado em dois ciclos, no período de 20/09/2020 à 11/10/2020 e no período de 12/10/2020 à 03/11/2020 (compondo, portanto, dois ciclos de 21 dias/três semanas). O questionário foi submetido em ambos os ciclos aos integrantes da Comunidade Brasileira de Dutos, composta por profissionais das mais diversas especialidades relacionadas à área dutoviária. No dia 03/11/2020, a pesquisa foi encerrada, uma vez que se atingiu um número significativo de respondentes (180) do ponto de vista estatístico e também em função da baixa taxa diária de respostas obtida neste período (cerca de 40 dias após o início da pesquisa). A evolução das respostas ao questionário ao longo do tempo está representada na Figura 24.

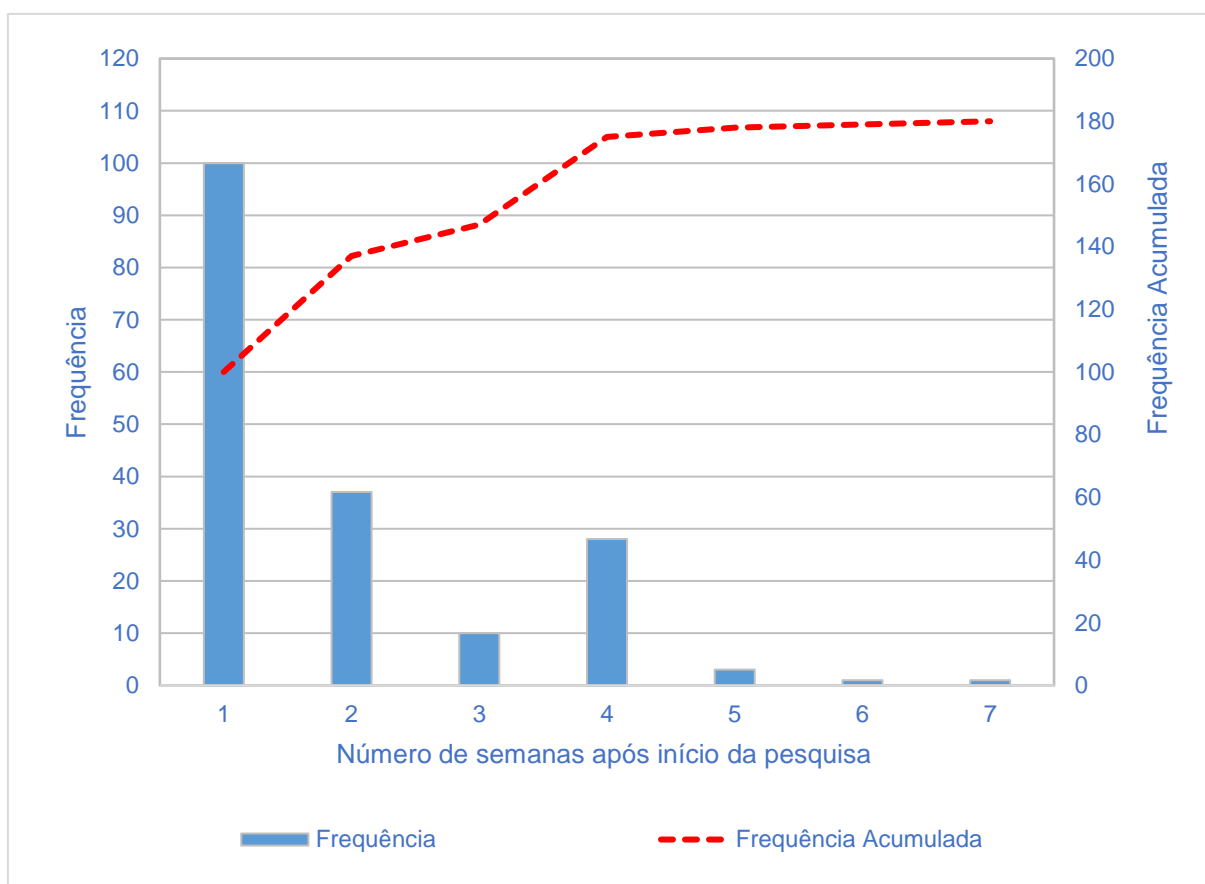


Figura 24 – Evolução das respostas ao questionário em base semanal.
Fonte: O próprio autor

Como se observa no gráfico acima, percebe-se um comportamento exponencial decrescente tendo-se como referência as respectivas primeiras semanas dos dois ciclos (semana 1 e semana 4), comportamento condizente com este tipo de pesquisa.

5.1 PERFIL DOS ENTREVISTADOS NA PESQUISA

As figuras apresentadas neste item apresentam aspectos relacionados ao perfil dos respondentes da pesquisa de campo, através do qual se buscou capturar:

- Tipo de instituição da qual os mesmos fazem parte (ou fizeram anteriormente, no caso de aposentados ou profissionais em busca de recolocação no mercado);
- Tempo de experiência profissional na atividade dutoviária;
- Em qual especialidade relacionada à atividade dutoviária o participante possui maior conhecimento/experiência;
- Grau de conhecimento relacionados às disciplinas segurança, riscos operacionais e/ou integridade aplicadas a dutos;
- Se o participante da pesquisa possuía conhecimento prévio dos *benchmarks* identificados na revisão bibliográfica.

As informações obtidas são apresentadas a seguir nas Figuras 25 a 29.

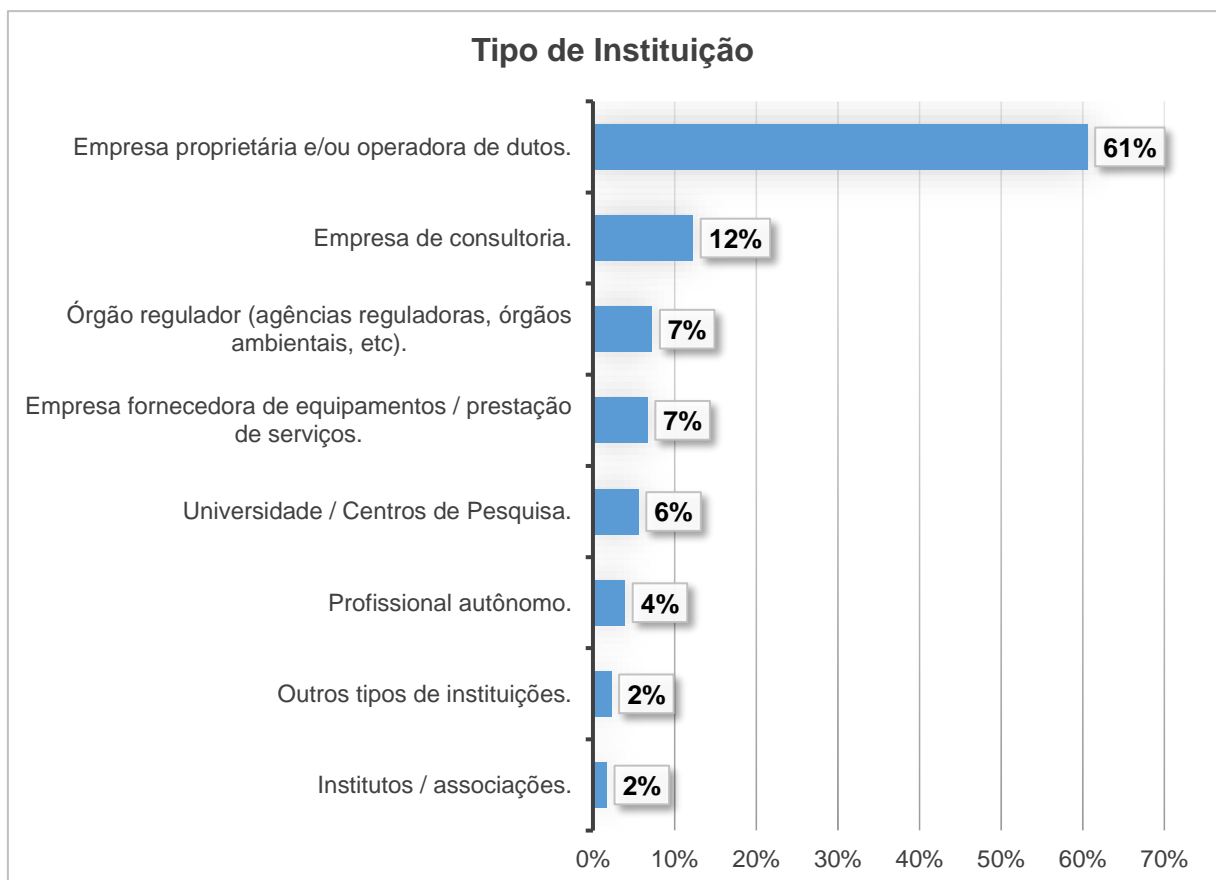


Figura 25 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Tipo de Instituição.
Fonte: O próprio autor

Através da Figura 25 nota-se que boa parte dos respondentes (61%) trabalham para empresas proprietárias/operadoras de dutos no país, ou seja, profissionais que lidam diretamente no dia a dia com assuntos relacionados à atividade dutoviária. Por sua vez, 22 participantes (12%) pertencem a empresas de consultoria, enquanto que 12 trabalham em universidades ou centros de pesquisa (7%). Destaca-se a participação de 13 profissionais de agências reguladoras, número relativamente expressivo considerando-se o grau de especificidade do tema pesquisado.

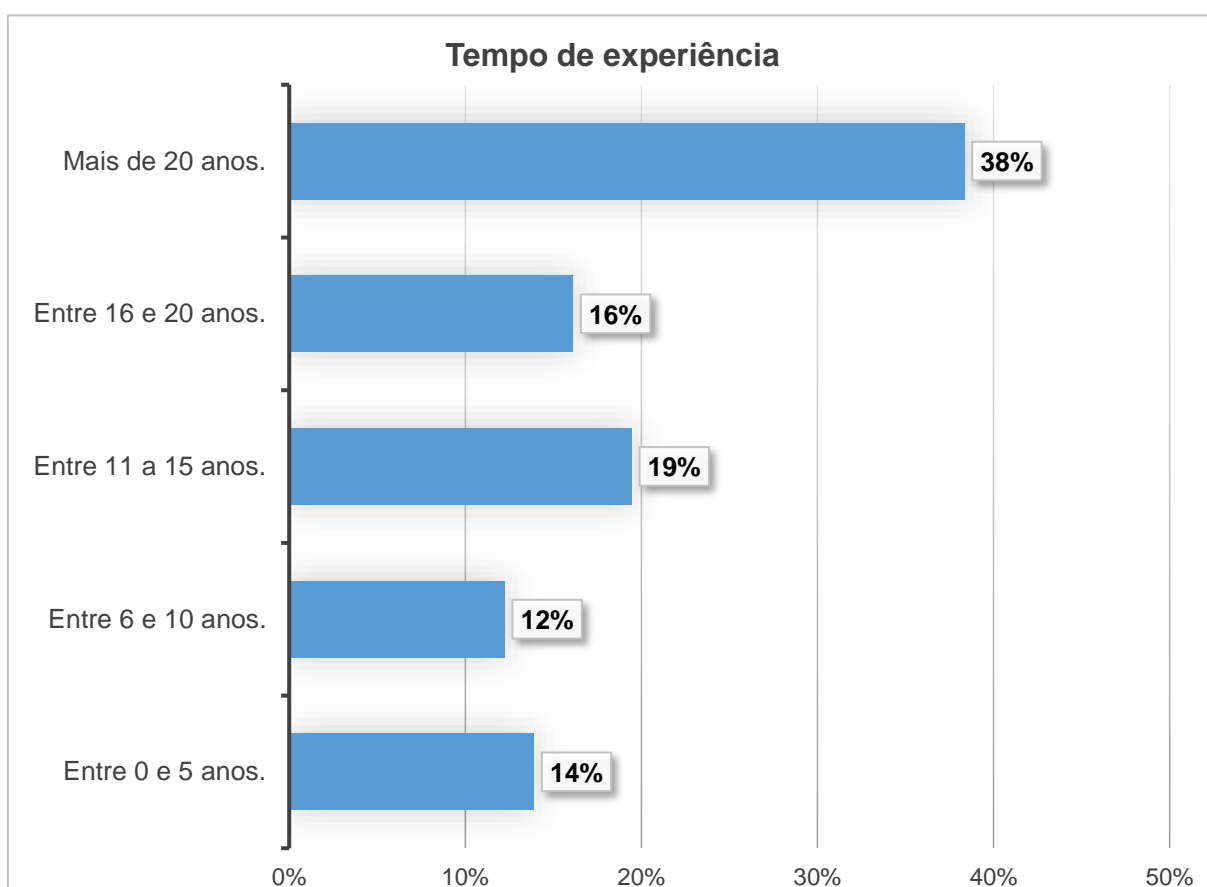


Figura 26 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Tipo de Experiência.
Fonte: O próprio autor

Percebe-se através da Figura 26 que 38% dos respondentes possuem mais de 20 anos de experiência na atividade dutoviária, demonstrando uma participação significativa de profissionais mais experientes. Outros 36% possuem experiência entre 11 e 20 anos, enquanto que o restante (26%) pertencem à faixa de profissionais com menos de 10 anos.

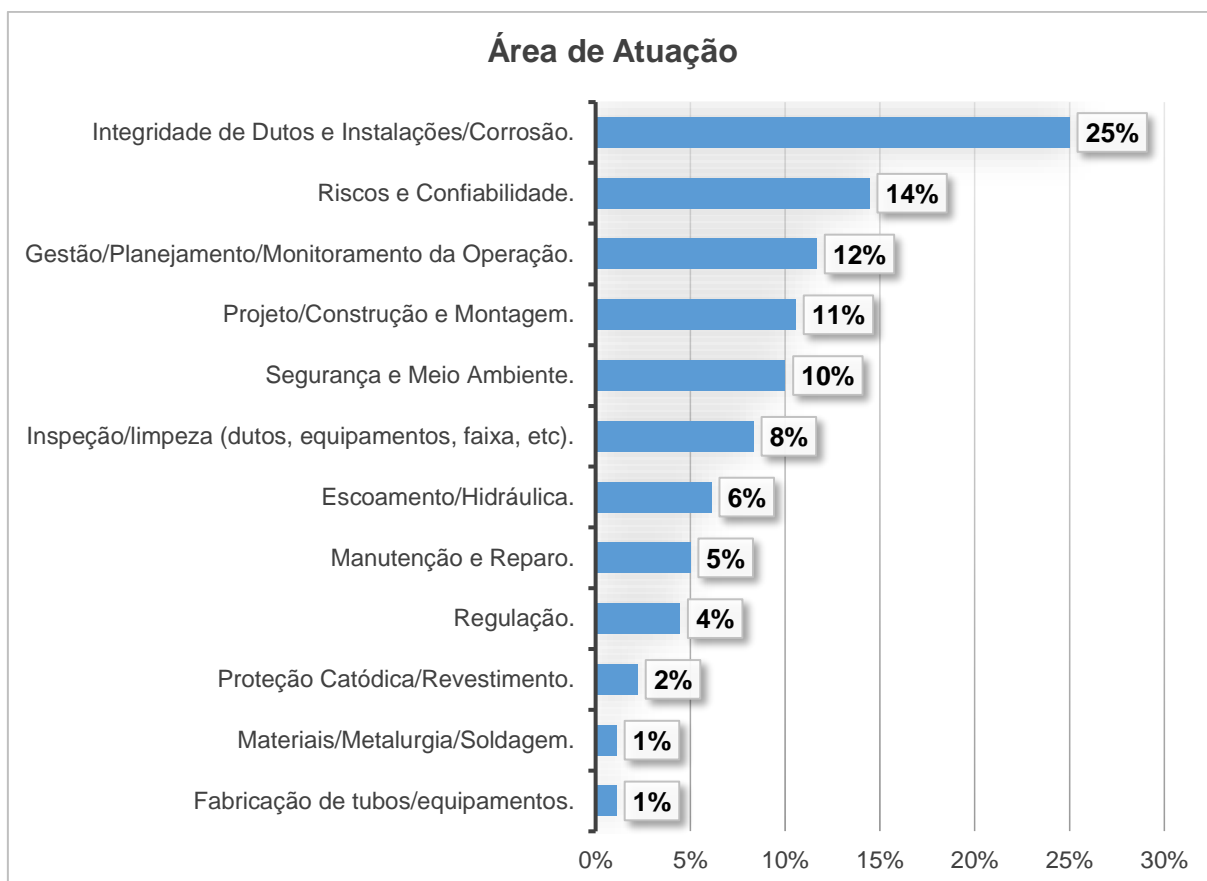


Figura 27 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Área de Atuação.
 Fonte: O próprio autor

Apesar de a maior parte dos profissionais (25%) pertencerem à área de integridade de dutos e instalações/corrosão (o que era esperado em função da forte afinidade da mesma com o tema pesquisado), é notório o alto grau de diversidade dos participantes no que tange à área de atuação, o que confere um caráter fortemente interdisciplinar à pesquisa. A Figura 27 também mostra que “riscos e confiabilidade” caracterizou-se como a disciplina com o segundo maior número de representantes (14%), seguida pela “área operacional” (12%) e “projeto/construção e montagem de dutos” (11%). As demais especialidades tiveram participações menores, porém não menos importantes para o trabalho.

Por sua vez, a Figura 28 a seguir evidencia que 38% dos participantes se auto avaliaram como possuindo extremo conhecimento a respeito das disciplinas de segurança, riscos e integridade de dutos, 24% muito conhecimento, 24% conhecimento intermediário, 13% pouco conhecimento e apenas 1% declarou não ter

nenhum conhecimento. Infere-se que a temática da pesquisa resultou na adesão de profissionais de áreas afins.

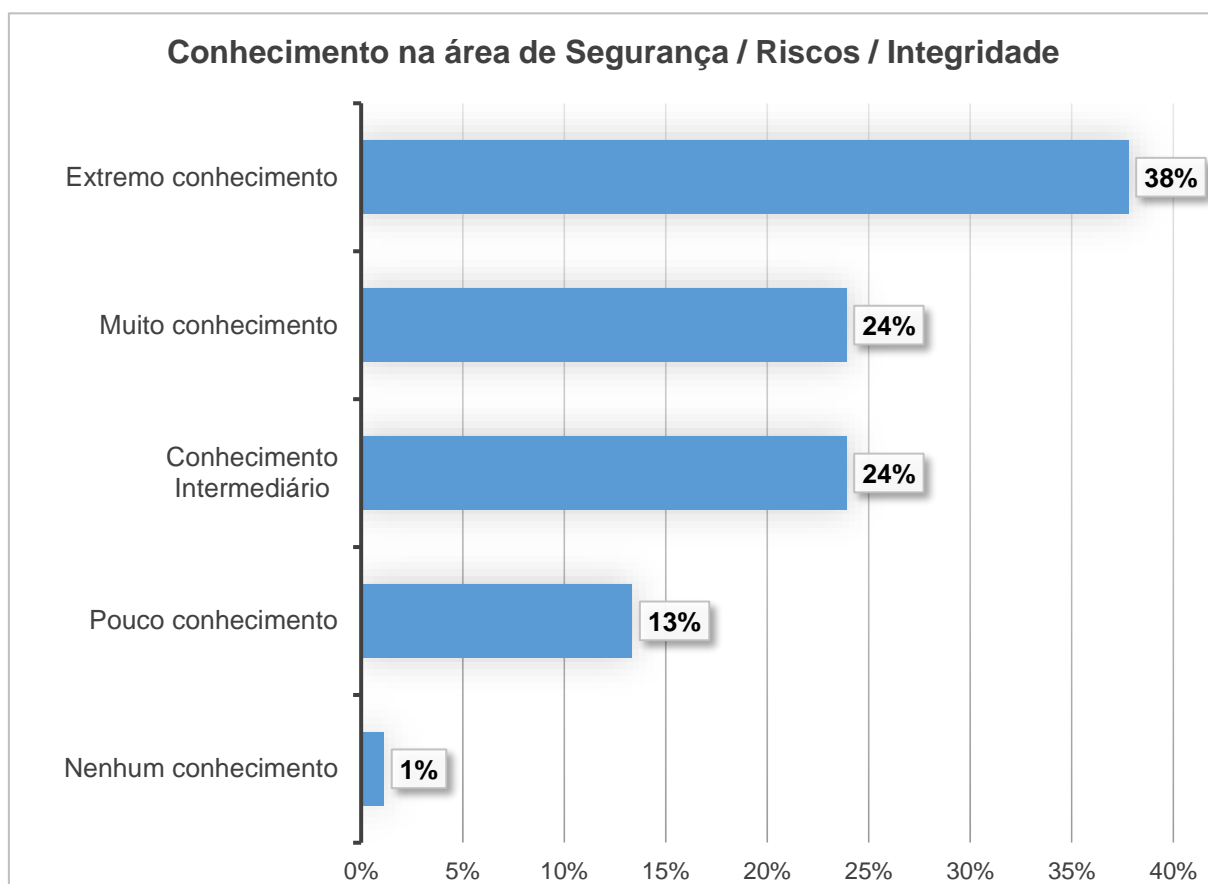


Figura 28 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Grau de conhecimento sobre as disciplinas segurança / riscos / integridade.
Fonte: O próprio autor

Por fim, a Figura 29 mostra o levantamento do conhecimento prévio dos respondentes a respeito dos bancos de dados internacionais que foram identificados na revisão bibliográfica e que suportaram a elaboração desta pesquisa. Ressalta-se que, neste caso, como era possível a seleção de mais de um *benchmark* durante a resposta a esta pergunta, o somatório dos números apresentados na respectiva figura é maior que 180.

Neste âmbito, o *benchmark* mais citado pelos participantes foi banco de dados organizado pelo DOT (97 citações), seguido pelas referências europeias CONCAWE (75 citações) e EGIG (66 citações). Interessante ressaltar que estes mesmos três documentos também foram aqueles que possuíram maior frequência de citações na literatura, conforme mostrado na Tabela 14. Por sua vez, o UKOPA também contou

com uma participação importante na pesquisa (45 citações), enquanto que os demais tiveram participações mais modestas. Apenas 1 pessoa demonstrou conhecer o banco de dados nigeriano (NOSDRA). Ressalta-se ainda que 56 participantes indicaram não conhecer nenhum dos *benchmarks* enumerados, provavelmente pelo fato de serem documentos bastante específicos.

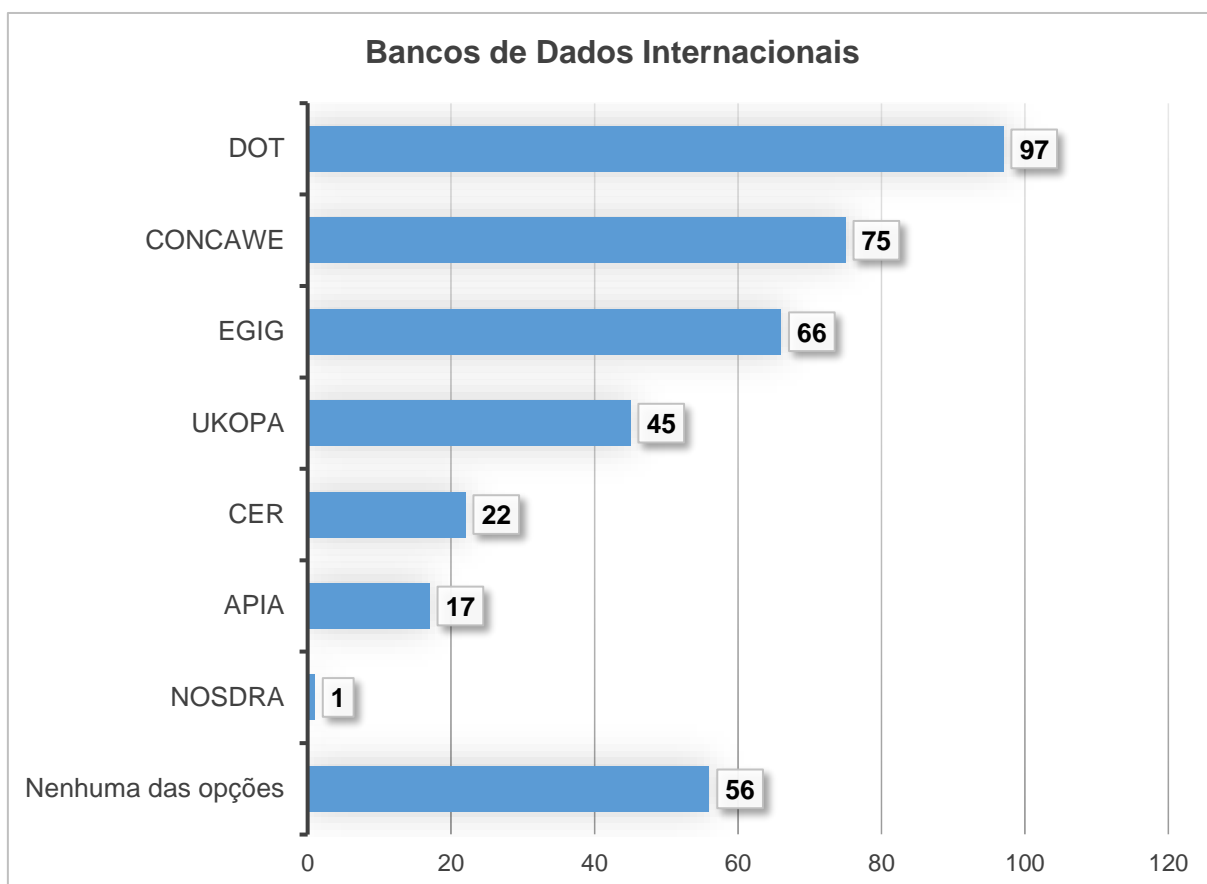


Figura 29 – Perfil dos respondentes da pesquisa: Conhecimento dos *Benchmarks* Internacionais.

Fonte: O próprio autor

5.2 AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DO QUESTIONÁRIO

Seguindo o que fora apresentado no item 3.6, foi utilizado o teste estatístico baseado no coeficiente Alfa de Cronbach para avaliar a purificação e a consistência interna da escala tipo *Likert* utilizada. Esta análise foi aplicada às respostas obtidas para as perguntas 6 a 19 do questionário de pesquisa, as quais pertencem às dimensões “Eventos” e “Malha Dutoviária” e que podem ser consultadas no Apêndice D da presente tese. Estas perguntas abordaram a pesquisa sobre variáveis que seriam candidatas a compor, por fim, a taxonomia de coleta do banco de dados

nacional de falha em dutos, de acordo com a favorabilidade das respostas dos participantes (a ser abordada em seguida).

Por sua vez, as perguntas restantes (20 a 24), referentes à dimensão “Gestão”, tiveram outra lógica de avaliação (baseada em alternativas excludentes, sem se basear em uma escala específica), cuja finalidade não era elencar variáveis para a taxonomia, mas sim entender melhor a opinião dos participantes do ponto de vista de como deveria ser gerido o banco de dados no país após sua implementação. Neste âmbito, é esperado um comportamento aleatório das respostas para tais perguntas, fatos estes que justificam a não consideração das respostas destas perguntas para a análise do fator Alfa de Cronbach.

Adicionalmente, informa-se que, para a realização da avaliação da confiabilidade do questionário e demais testes estatísticos desta tese, os quesitos avaliados no questionário foram organizados em 109 itens, seguindo as codificações apresentadas no Apêndice E.

Partindo-se destas premissas, o teste de Alfa de Cronbach foi aplicado para a avaliação das 180 respostas considerando separadamente os *clusters* definidos pelos subgrupos que compõem os fatores temáticos pertencentes a cada uma das dimensões supracitadas (Dimensão “Eventos”: itens 6.0 a 16.4, totalizando 85; Dimensão “Malha Dutoviária”: itens 17.1 a 19.3, total de 19). Esta segregação dos itens em *clusters* foi necessária em função do fator Alfa de Cronbach ser bastante sensível ao número total de itens avaliados, como pode ser observado na equação 1. Ou seja, caso fosse avaliado um único fator considerando todas os itens, provavelmente o valor seria muito próximo a 1, não pelo fato de o questionário eventualmente ser consistente, mas sim pelo fato do teste ter sido realizado com um número de itens muito elevado. Os valores calculados são apresentados na Tabela 27.

De acordo com Streiner (2003), usualmente são considerados aceitáveis valores do coeficiente de Alfa de Cronbach maiores ou iguais a 0.70 e menores ou iguais a 0.90. Este limite superior é estabelecido em razão de valores muito próximos de 1 remeterem a um alto grau de redundância do questionário, ao invés de um nível

desejável de consistência do mesmo. Neste âmbito, tendo em vista os resultados apresentados na Tabela 27, 15 dos 18 valores de Alfa de Cronbach estão contidos no intervalo que garante a consistência interna das respectivas seções do questionário de pesquisa.

Os valores acima de 0.90 obtidos para os *clusters* “Impacto a pessoas/patrimônio” (0.91) e “Parâmetros associados à extensão da malha” (0.92), apesar de muito próximos ao valor limite, podem indicar um certo grau de redundância das perguntas, uma vez que estes possuem um número relativamente maior de perguntas que a maioria dos demais *clusters*. Para o primeiro, cita-se o fato de, por exemplo, existirem perguntas distintas a respeito de eventos não independentes, como da ocorrência de ignição do produto, de incêndio e de explosão (Obviamente, para ocorrência de incêndio/explosão, necessariamente deve haver ignição do produto vazado). Outro exemplo são perguntas referentes à densidade populacional e à classe de locação no local do evento, as quais também são perguntas não independentes (a classe de locação, aplicável para gasodutos, é função exatamente da densidade populacional).

Já para o segundo caso, tem-se o exemplo de duas perguntas que também possuem certo grau de redundância, como aquelas referentes ao “tipo de produto transportado” e ao “tipo de duto (gasoduto/oleoduto). A informação sobre o tipo de produto transportado implicitamente já informa o tipo de duto em questão.

Por fim, o valor que ficou abaixo do limite inferior da faixa de aceitabilidade refere-se ao *cluster* “Tipo de duto (por produto transportado)” (0.64). Segundo Tavakol (2011), valores baixos de alfa podem ocorrer devido a baixo número de questões, fraca inter-relação entre os itens, ou constructos heterogêneos. Para este caso específico, infere-se que os dois primeiros aspectos citados podem ter influenciado o resultado abaixo de 0.70, uma vez que este *cluster* é composto por apenas 2 perguntas e as mesmas possuem fraca inter-relação (o fato de um respondente entender que devem ser coletados dados pertinentes a gasodutos não necessariamente implica no entendimento sobre a coleta referente a oleodutos, e vice-versa).

Tabela 27 – Valores calculados de Alfa de Cronbach.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensões de análise | Fatores temáticos | Clusters | Itens | k | n | $\sum_{j=1}^k Var(Y_j)$ | $Var(\sum_{j=1}^k Y_j)$ | Alfa de Cronbach |
|----------------------|---|---------------------------------|---------------|-----|-----|-------------------------|-------------------------|------------------|
| Eventos | Causas | Corrosão | 6.0 a 6.3 | 4 | 180 | 2.8 | 6.4 | 0.76 |
| | | Defeitos de Material | 7.0 a 7.4 | 5 | 180 | 3.8 | 11.8 | 0.85 |
| | | Falha de Equipamentos | 8.0 a 8.5 | 6 | 180 | 5.0 | 17.6 | 0.86 |
| | | Interferência Externa | 9.0 a 9.3 | 4 | 180 | 1.7 | 4.0 | 0.78 |
| | | Falha Operacional | 10.0 a 10.2 | 3 | 180 | 2.1 | 5.2 | 0.89 |
| | | Forças da Natureza | 11.0 a 11.5 | 6 | 180 | 5.9 | 20.0 | 0.84 |
| | Características do local | Características físicas/projeto | 12.1 a 12.12 | 12 | 180 | 8.2 | 46.4 | 0.90 |
| | | Variáveis operacionais | 12.13 a 12.16 | 4 | 180 | 2.3 | 5.2 | 0.75 |
| | | Dados temporais/geográficos | 12.17 a 12.23 | 7 | 180 | 5.6 | 24.6 | 0.90 |
| | | Medidas de prevenção | 12.24 a 12.27 | 4 | 180 | 3.0 | 7.8 | 0.82 |
| | | Deteção | 12.28 a 12.29 | 2 | 180 | 1.5 | 2.4 | 0.75 |
| | Consequências | Modo de Falha | 13.1 a 13.8 | 8 | 180 | 5.0 | 17.5 | 0.82 |
| | | Impacto a pessoas/patrimônio | 14.1 a 14.10 | 10 | 180 | 4.6 | 25.3 | 0.91 |
| | | Impacto ao meio ambiente | 15.1 a 15.6 | 6 | 180 | 4.4 | 16.4 | 0.87 |
| Impacto financeiro | | 16.1 a 16.4 | 4 | 180 | 3.1 | 9.4 | 0.89 | |
| Malha dutoviária | Tipo de duto (por produto transportado) | - | 17.1 a 17.2 | 2 | 180 | 0.5 | 0.7 | 0.64 |
| | Instalações pontuais associadas | - | 18.1 a 18.4 | 4 | 180 | 2.2 | 6.1 | 0.85 |
| | Parâmetros associados à extensão da malha | - | 19.1 a 19.13 | 13 | 180 | 9.0 | 58.2 | 0.92 |

5.3 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO

Tendo em vista os resultados obtidos na pesquisa de campo, contidos no Apêndice E, foram calculados diversos parâmetros associados à amostra de dados obtida de forma a permitir a melhor interpretação do comportamento dos respondentes em relação a cada uma das perguntas.

Além dos parâmetros calculados, explicitados no Apêndice F, também foram elaborados gráficos de frequência percentual das respostas para auxiliar na compreensão dos resultados, os quais obedecem à classificação indicada na Tabela 15. Os gráficos são evidenciados nos subitens a seguir.

Em função de se ter trabalhado para a maioria das perguntas (6.0 a 19.13) com uma escala tipo *Likert*, a qual é classificada como uma escala ordinal, optou-se especificamente para estas perguntas pela adoção da moda e da mediana como medidas de tendência central, enquanto que a análise da dispersão dos dados foi baseada na amplitude dos intervalos e na frequência de ocorrência, absoluta e percentual, das respostas (variando de 1 a 5, conforme Tabela E.2) para cada pergunta. Ressalta-se que a frequência foi evidenciada também para agrupamentos pré-definidos de opções de resposta, tais como para o grupo definido pelas respostas “1, 2 e 3” (menor grau de importância) e pelas respostas “4 e 5” (maior grau de importância).

5.3.1 Dimensão “Eventos”

Este subitem é dedicado à apresentação dos gráficos referentes a cada fator temático da dimensão “Eventos”, bem como à análise dos respectivos parâmetros estatísticos.

- Causas

Conforme pode ser observado na Figura 30, verificou-se que, entre as categorias de causa mapeadas, “interferência externa” (97%) e “corrosão” (95%) apresentaram maiores quantitativos de respostas favoráveis (ou seja, com avaliação 4 e 5), seguidas, nesta ordem, por “defeito de material, fabricação e montagem” (85%); “falhas operacionais” (77%); “falhas de equipamentos” (74%); e “forças da natureza”

(72%). A menos desta última categoria de causa, um comportamento semelhante é observado na literatura considerando a frequência de ocorrência destas causas nos *benchmarks*, como pode ser observado na Tabela 16 (ou seja, “interferência externa”, “corrosão” e “defeito de material, fabricação e montagem” foram as mais citadas, juntamente com “forças da natureza”, seguidas por “falhas operacionais” e “falhas de equipamentos”).

Verificou-se também um alto grau de favorabilidade para os tipos específicos associados às causas “corrosão” e “interferência externa” (ver Figuras 30 e 31). Para a primeira, o resultado é justificado principalmente por a mesma estar associada a uma característica termodinâmica do material que compõe os dutos (ou seja, a reação de corrosão do aço é espontânea e ocorre invariavelmente, cabendo aos operadores ações/medidas de gestão para minimizar as taxas de corrosão ao longo do tempo). Já para a segunda, atividades frequentes de escavação nas proximidades das faixas de dutos (usualmente mais acentuadas nas proximidades dos grandes centros urbanos, devido à maior concentração de pessoas) e os recentes eventos de derivações clandestinas no Brasil (ANP, 2020) certamente contribuíram para estes números. Para todos os tipos específicos associados a estas duas causas, o valor da moda foi igual a 5 (“extremamente relevante”).

No que tange as causas “defeito de material, fabricação e montagem” e “falhas operacionais”, constatou-se que todos os respectivos tipos específicos de causas apresentaram mediana igual a 4, ou seja, metade dos respondentes (ou mais) entenderam que estes itens seriam classificados como “muito relevantes” ou “extremamente relevantes”. Com relação à primeira, “defeitos no tubo” foi a variável com menor grau de importância segundo os respondentes, o que pode ser justificado pela evolução tecnológica dos métodos de fabricação de tubos ao longo do tempo em escala global (principalmente a partir da década de 1980, conforme confirmado por PD 8010 (2013) e IGEM (2013)). “Procedimento operacional incorreto e “Procedimento incorreto de manutenção/reparo”, tipos específicos de causas associadas a falhas operacionais, possuíram comportamento muito parecido, com mais de 70% dos respondentes avaliando-os com notas 4 ou 5.

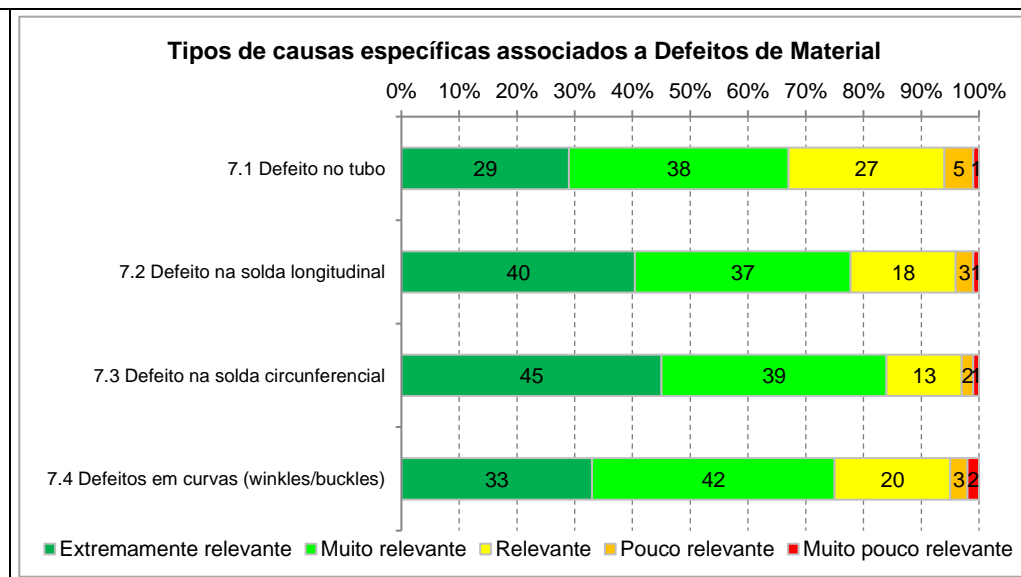
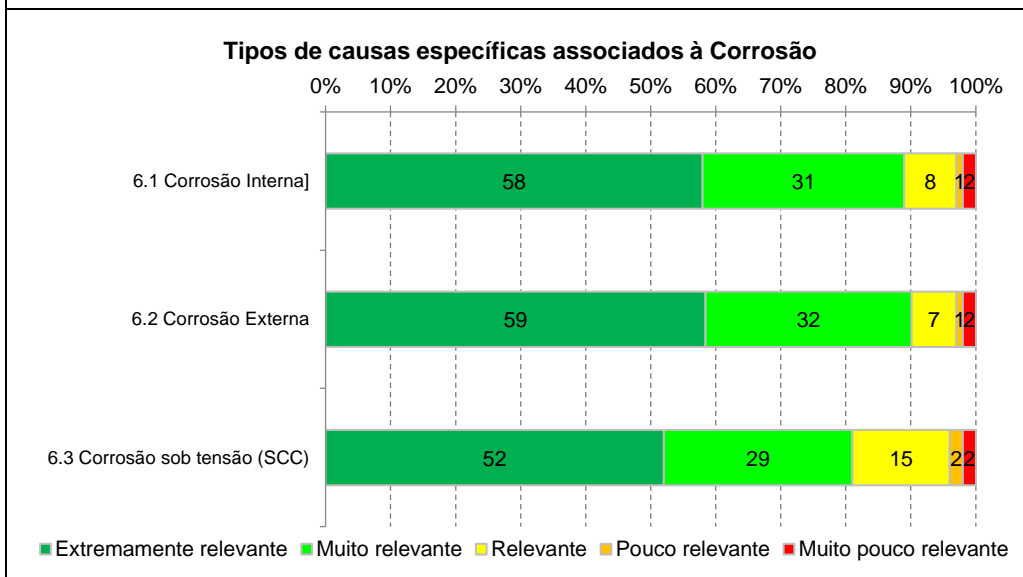
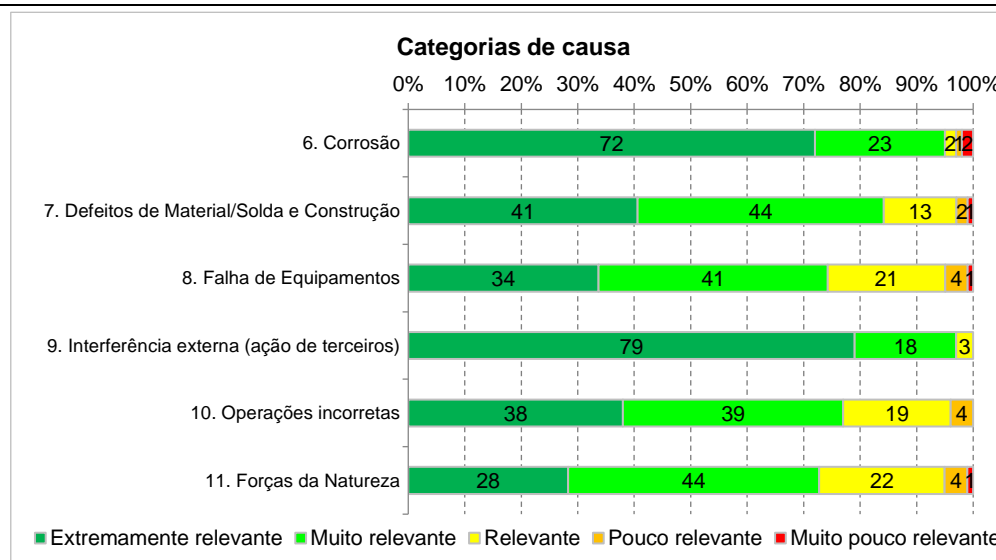


Figura 30 – Gráficos para as categorias de causa e respectivos tipos específicos associados à corrosão e defeitos de material.
 Fonte: O próprio autor

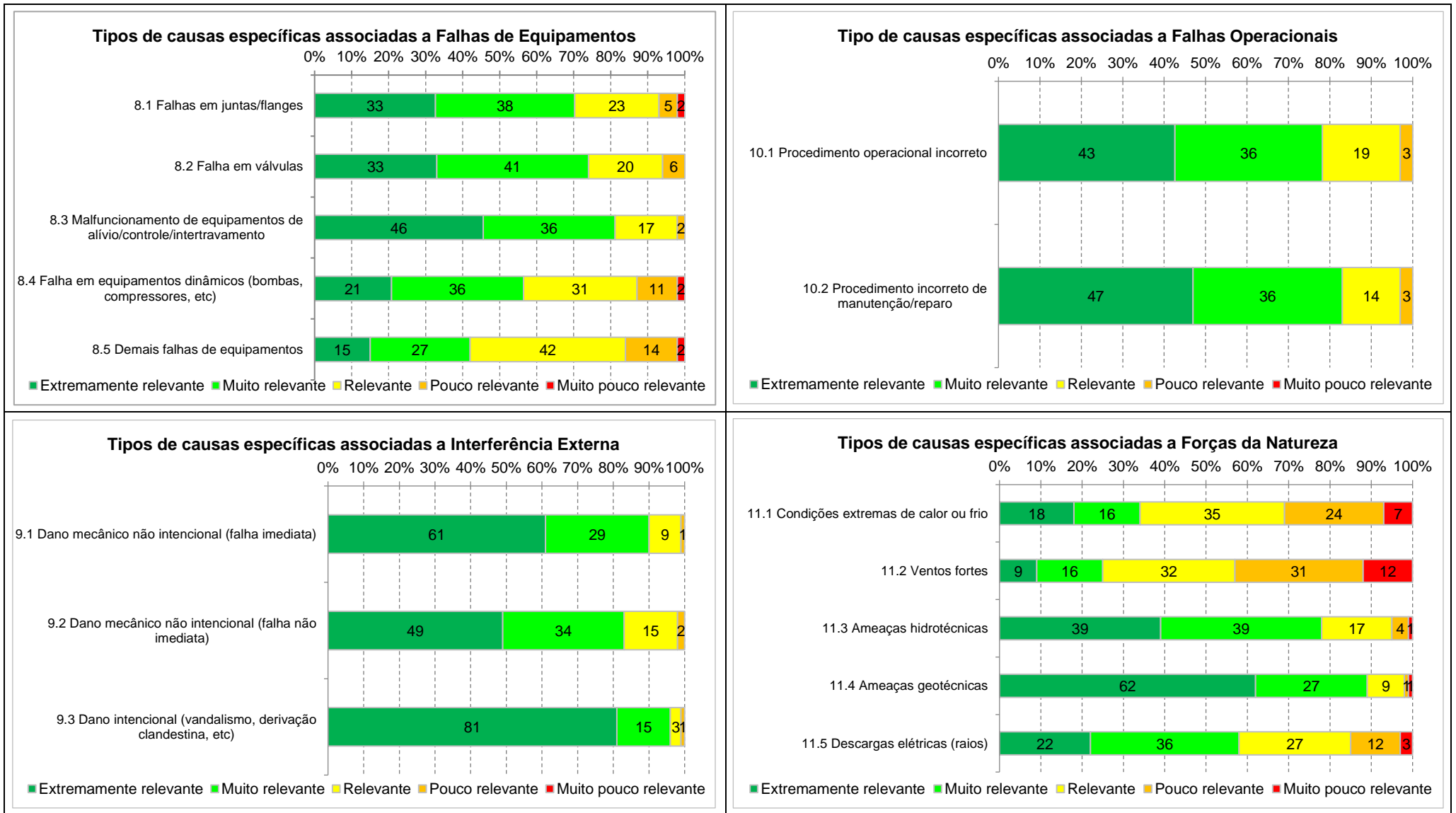


Figura 31 – Gráficos para tipos específicos de causas associados à equipamentos, interferência externa, operação e forças da natureza.

Fonte: O próprio autor

Com relação a “forças da natureza”, apesar de ter sido a categoria de causa com menor frequência de notas 4 e 5, verifica-se que “ameaças geotécnicas” (movimentação de solo) e “ameaças hidrológicas” (inundações, erosões, etc) se mostraram como as variáveis mais aceitas pelos respondentes. Por sua vez, “ventos fortes” e “condições extremas de calor ou frio” (não previstas em projeto) foram fortemente rejeitadas (ambas as médias e medianas iguais a 3), em consonância com as características geográficas do Brasil. “Descargas elétricas” ocupou uma posição intermediária nesta categoria, provavelmente pela sua baixa probabilidade de ocorrência.

Por fim, “falhas em válvulas”, “falhas em juntas/flanges” e “malfuncionamento de equipamentos de alívio/controle/intertravamento” foram posicionadas com maior aceitação pelos colaboradores da pesquisa no que tange a causa “falha de equipamentos”. Apesar de se referir a equipamentos rotativos, os quais usualmente apresentam taxas de falha relativamente maiores em instalações industriais (RIVM, 2009) em comparação com equipamentos estáticos, a variável “falha em equipamentos dinâmicos” posicionou-se após as duas primeiras, seguida por “demais falhas de equipamentos” (provavelmente por ser uma variável mais genérica).

- Consequências

Pela observação das Figuras 32 e 33, bem como das estatísticas apresentadas no Apêndice F, constata-se que as variáveis relacionadas a “impactos a pessoas e ao patrimônio” apresentaram as maiores notas no âmbito global (92% das pessoas avaliaram estas perguntas com notas 4 ou 5), seguidas pelas variáveis pertencentes ao agrupamento “modo de falha” (85%), “impacto ao meio ambiente” (81%) e “impacto financeiro” (66%).

Destacam-se no primeiro grupo os parâmetros diretamente associados a danos às pessoas (número de fatalidades e de feridos) e aos cenários acidentais possíveis de ocorrer mediante ignição do produto (incêndio / explosão), evidenciando forte aversão do público a tais consequências dada a concretização do evento topo após um eventual vazamento. Houve menor interesse em variáveis relacionadas a danos

patrimoniais e dados mais específicos, como raio de dano causado por um eventual incêndio / explosão e densidade populacional / classe de locação do local do evento.

Por sua vez, com relação ao modo de falha, entendeu-se como bastante relevante o conhecimento da extensão do dano causado ao próprio duto, ou seja, o reporte se a perda de contenção é decorrente de ruptura, furo ou trinca (em todos os três casos, mais de 70% indicou serem estas variáveis “extremamente relevantes”). Outros parâmetros associadas a esta temática, como valores das dimensões de tais danos (área do furo, comprimento etc) e sua orientação em relação à seção transversal do duto vieram em seguida, enquanto que as demais variáveis tiveram menor aceitabilidade.

Do ponto de vista dos impactos ao meio ambiente, observou-se uma relevância mais acentuada das variáveis relacionadas à quantificação do volume eventualmente vazado, à indicação se o produto atingiu algum corpo d’água e à sua classificação (águas superficiais ou águas subterrâneas, e se utilizado para captação/uso humano). Estes três parâmetros apresentaram moda e mediana iguais a 5, assim como a extensão da área atingida, que se apresentou como quarta variável mais importante deste agrupamento. Por último se situaram questões relacionadas à recuperação do ambiente eventualmente atingido (tempo de remediação e volume recuperado).

Impactos financeiros, de uma forma geral, foram avaliados com menor grau de importância em relação aos demais parâmetros relacionados às consequências. Houve maior interesse em se conhecer as perdas financeiras associadas às consequências de incêndio/explosão e de poluição ambiental, enquanto que prejuízos relacionados ao volume de produto perdido apresentou menor grau de relevância (moda igual a 3 e mediana igual a 4).



Figura 32 – Gráficos para temas relacionados às consequências do evento: modo de falha e impacto a pessoas e patrimônio.

Fonte: O próprio autor



Figura 33 – Gráficos para temas relacionados às consequências do evento: impactos ao meio ambiente e financeiro.

Fonte: O próprio autor

- Características do Local

Diversas características físicas e de projeto referentes ao local do eventual vazamento foram estudadas mediante a aplicação da pesquisa, tendo sido apontadas como variáveis importantes neste grupo a espessura e a pressão de projeto do duto. Não coincidentemente, são parâmetros que dizem respeito, respectivamente, à resistência da parede e a carga imposta pelo produto no interior do duto que poderia dar origem a uma falha ocasionada pela presença de defeitos, como por exemplo perda de massa devido à corrosão, presença de sulcos e mossas resultantes de interferência externa etc. Equações que descrevem a mecânica de fraturas em dutos decorrentes da presença de defeitos explicitam a contribuição destes parâmetros (e de outros também estudados neste agrupamento) para uma eventual falha (Hopkins, 2003). Indicações se a falha ocorreu em trecho aéreo ou enterrado do duto, bem como em travessias (caso pertinente), também foram avaliados como variáveis importantes (a moda para estes quatro parâmetros foi igual a 5).

Conforme evidenciado na Figura 34⁶, informa-se, adicionalmente, que os demais parâmetros apresentaram favorabilidade secundária dentro deste grupo (diâmetro, profundidade do duto no solo, pressão do teste hidrostático, fator de projeto, tipo de tubo, ano de construção / instalação e tipo de revestimento externo). A variável “tipo de revestimento interno” contou com a avaliação menos favorável, apresentando moda e mediana iguais a 4 e percentual de respostas 4 e 5 igual a 59%. Quando presente, este tipo de revestimento é utilizado como redutor de atrito, usualmente não constituindo uma característica muito relevante para a análise de uma eventual falha.

⁶ Os resultados apresentados nas Figuras 33 e 34 não seguiram a sequência numérica originalmente definida para as perguntas para otimizar a disposição espacial dos gráficos nas páginas seguintes.

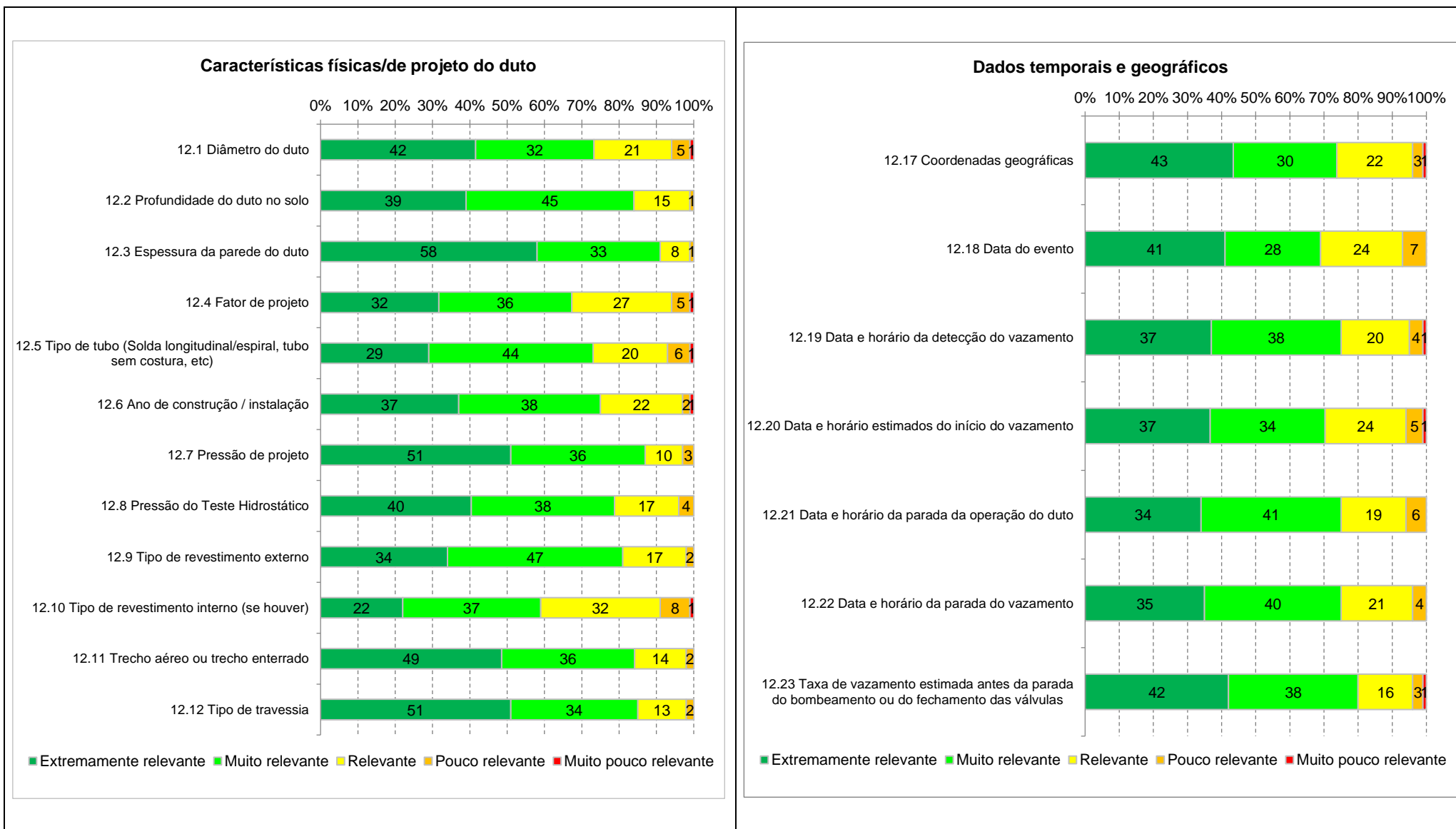


Figura 34 – Gráficos referentes a características físicas/de projeto do duto no local do vazamento e dados temporais/geográficos.

Fonte: O próprio autor

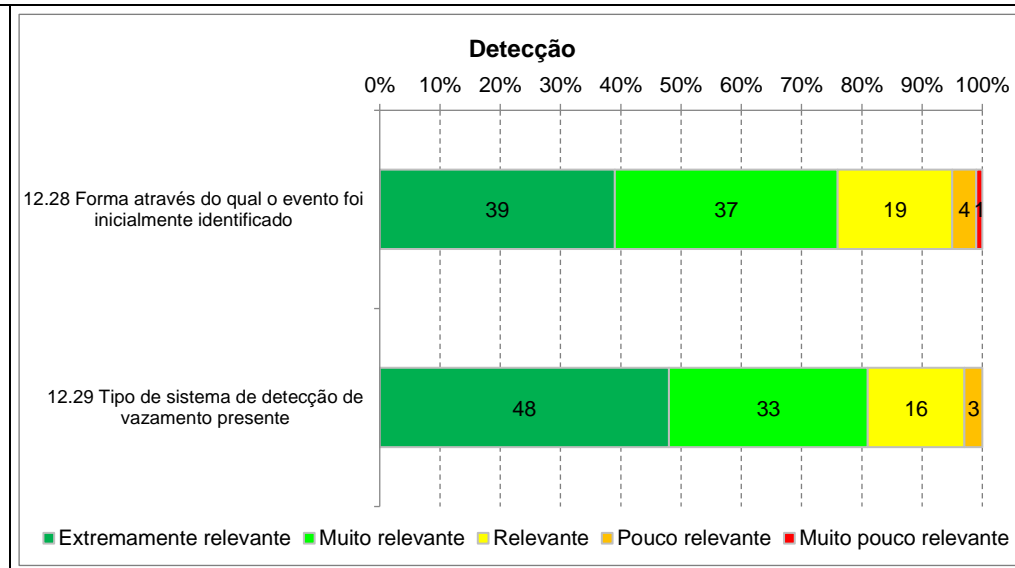
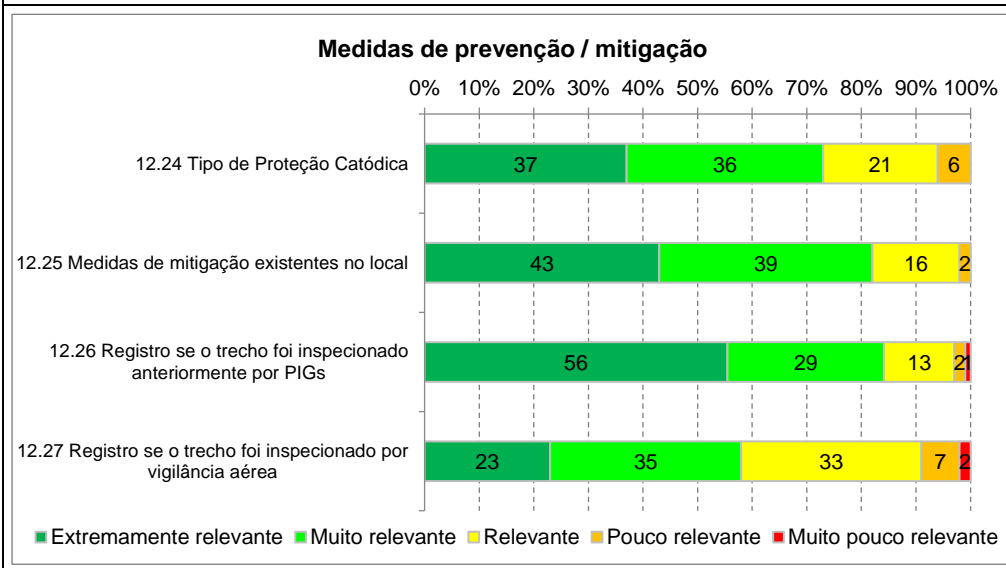
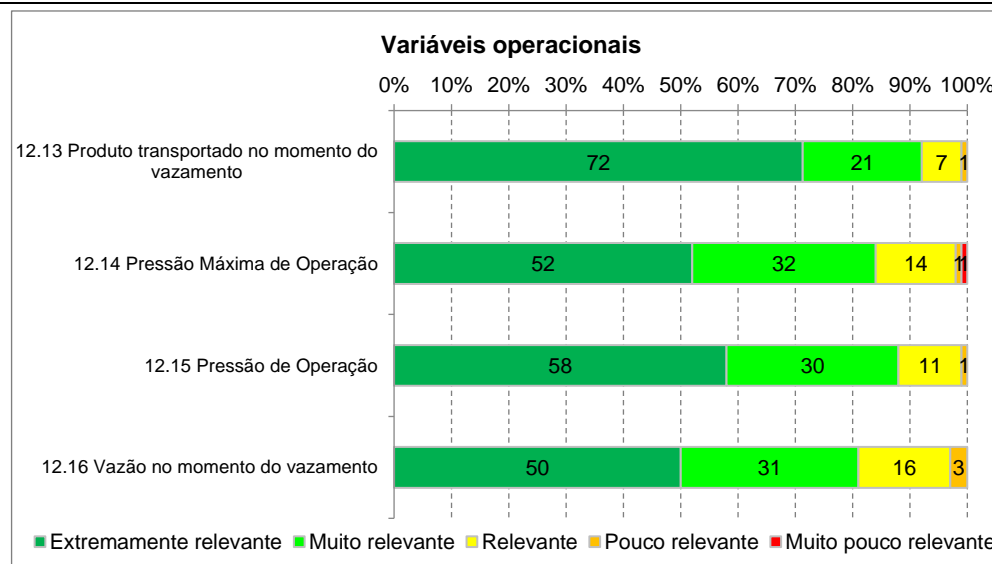


Figura 35 – Gráficos referentes a variáveis operacionais, medidas de prevenção/mitigação e detecção.
Fonte: O próprio autor

No que tange os dados temporais e geográficos, o perfil obtido foi bastante parecido para cada um dos parâmetros estudados, sendo possível a distinção entre os mesmos através dos valores de moda. Coordenadas geográficas, data do evento, data e horário estimados para o início do vazamento e taxa de vazamento estimada antes da parada da bomba ou fechamento das válvulas apresentaram moda 5, enquanto os demais, moda 4. Ressalta-se que o segundo parâmetro (data do evento) está contido no terceiro (data e horário estimados para o início do vazamento), podendo-se em última análise considerar apenas este último (ou seja, são redundantes).

Sobre as variáveis operacionais, todas elas apresentaram moda igual a 5, porém destaca-se que o produto liberado durante o vazamento foi avaliado por mais de 70% dos participantes como “extremamente relevante” de ser coletado, uma vez que as características físico-químicas e de periculosidade do produto liberado estão diretamente relacionadas às suas consequências. A pressão de operação no momento do evento também foi identificada como uma variável bastante relevante (58% classificaram como “extremamente relevante”), dado que a pressão é proporcional à taxa de vazamento, parâmetro este também diretamente relacionado à severidade das consequências. Por fim aparecem a pressão máxima de operação e a vazão do duto no momento do vazamento (variável mais relevante para oleodutos).

A Figura 35 evidencia que o registro se o trecho eventualmente em falha foi inspecionado anteriormente por PIGs (instrumentados e/ou geométricos) apresenta-se como a variável de maior relevância no que se refere às medidas de prevenção / mitigação, enquanto que o registro se houve inspeção do trecho por vigilância aérea o de menor importância. Medidas físicas como placas de concreto/polietileno e maior profundidade do duto no solo vieram em seguida, e por fim o tipo de proteção catódica presente.

Finalmente, conhecer o tipo de sistema de detecção de vazamentos foi entendido por 81% dos respondentes como “muito relevante” ou “extremamente relevante” de ser levantado, enquanto que 76% apontaram o mesmo para a forma através da qual o evento foi inicialmente identificado (por exemplo, através de

comunicado de pessoas do público em geral, do técnico de inspeção da faixa, do próprio sistema de detecção de vazamentos, etc).

5.3.2 Dimensão “Malha dutoviária”

Os gráficos referentes a cada fator temático da dimensão “Malha dutoviária”, bem como a análise dos respectivos parâmetros estatísticos presentes no Apêndice F, são apresentados neste subitem.

- Tipo de Duto

Para ambos os tipos de dutos de transporte terrestres (gasodutos e oleodutos) observou-se que mais de 90% dos participantes da pesquisa de campo entendem que coletar dados referentes a estes ativos é “muito relevante” ou “extremamente relevante”. O percentual referente apenas a esta última resposta chegou a 87% para oleodutos, enquanto que para gasodutos ficou em 81%. Apesar de terem sido resultados bastante significativos para ambos os tipos de dutos, possivelmente para oleodutos foi maior em função dos eventos de derivação clandestina que atualmente ocorrem com frequência considerável no país (apesar de haver registros de falhas também em gasodutos devido a estes eventos).

- Trecho de duto e instalações pontuais associadas

Para este fator temático, observou-se que primordialmente devem ser coletados dados referentes a falhas em trechos de duto extramuros, uma vez que a exposição destes trechos é relativamente maior que a dos demais (em extensão estes trechos são bem maiores que os demais contidos nas outras categorias) e usualmente as consequências associadas a falhas nestes trechos também são mais severas, dado que os mesmos podem atravessar áreas densamente povoadas e de alta sensibilidade ambiental. Com relação às demais variáveis estudadas, observou-se maior favorabilidade para falhas ocorridas em áreas de válvulas e, em seguida, instalações pontuais intermediárias (estações de bombeamento, compressão e pontos de entrega, dentre outras), ficando por último os trechos intramuros em instalações nas extremidades (refinarias, terminais, etc). De fato, por serem desabitadas, as áreas de válvulas são usualmente mais vulneráveis que os demais tipos de instalações pontuais.

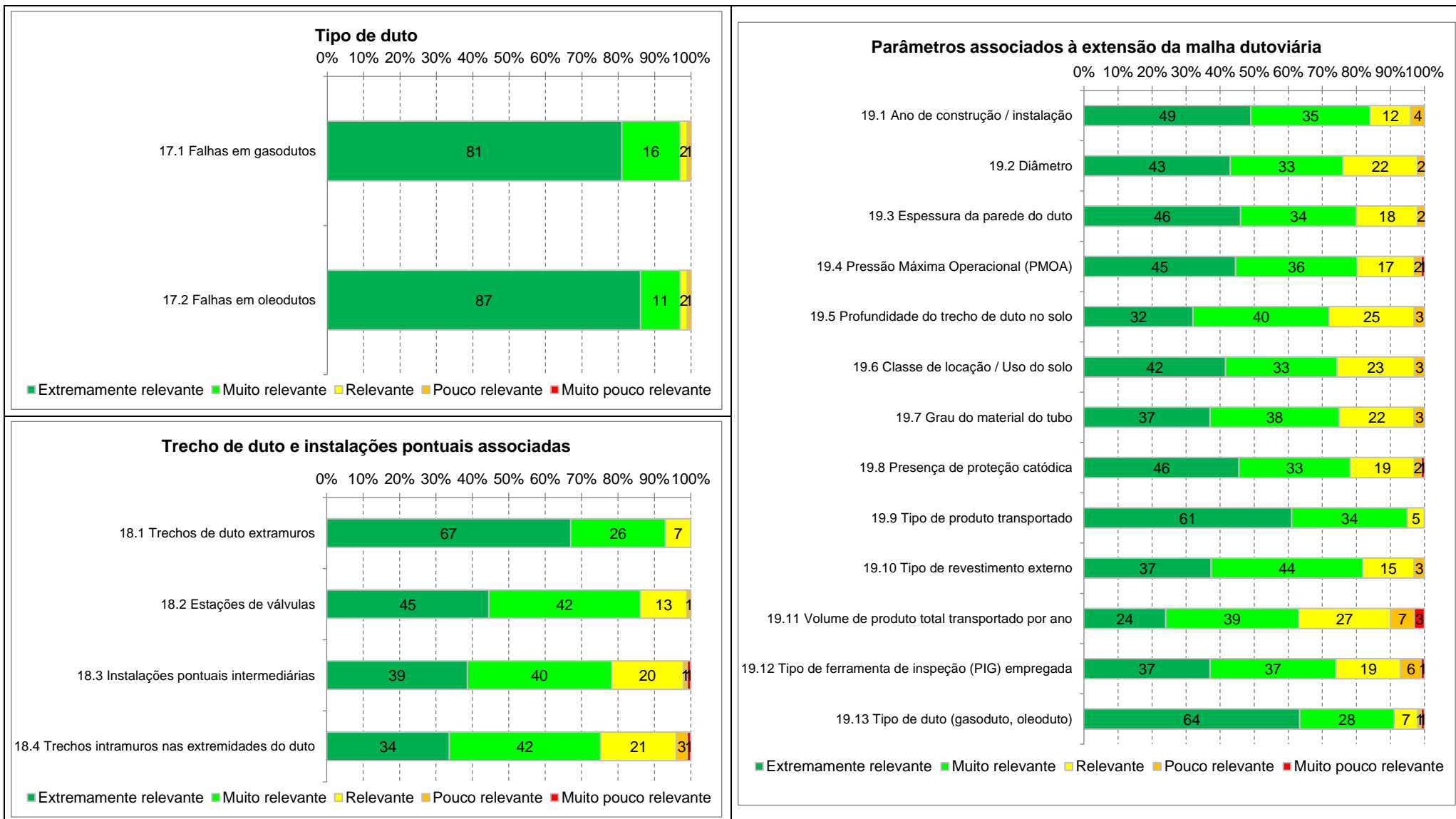


Figura 36 – Gráficos para os fatores temáticos associados à dimensão “malha dutoviária”.

Fonte: O próprio autor

- Parâmetros associados à extensão da malha

Observou-se que houve maior interesse na coleta de dados de extensão da malha dutoviária segregada por tipo de duto (gasoduto / oleoduto), bem como por tipo de produto transportado (gás natural, petróleo cru, derivados, biocombustíveis, etc). O tipo de produto certamente tem forte correlação com as falhas, principalmente no que se refere à corrosão interna; e com as consequências, conforme explanado anteriormente. Averiguou-se que a segregação dos dados de extensão da malha por ano de construção / instalação, espessura e pressão máxima de operação (PMOA) vieram em seguida na ordem de favorabilidade, dado que estes parâmetros estão, novamente, diretamente relacionados às causas de eventuais falhas. O conhecimento destas informações possibilitará, no futuro, a realização de estudos estatísticos mais aprofundados dos dados de falha em conjunto com os dados de exposição de forma a explicitar correlações entre estas variáveis e as frequências para cada tipo de causa.

Dentre as variáveis restantes, destacam-se aquelas que apresentaram moda igual a 5, dentre elas o diâmetro, a classe de locação, a presença / ausência de proteção catódica e o tipo de ferramenta de inspeção empregada (PIGs). Por outro lado, o volume de produto total transportado por ano mostrou-se como a variável de menor favorabilidade dentre aquelas apresentadas na Figura 36, para este fator temático.

5.3.3 Dimensão Gestão

Esta dimensão não foi avaliada com base na escala tipo *Likert* proposta, mas sim através de alternativas independentes e excludentes, específicas para cada pergunta. Visou-se averiguar questões relacionadas à gestão do banco de dados de falhas a ser futuramente implementado.

Como pode ser observado na Figura 37, 64% dos respondentes entendem que o banco de dados nacional de falhas em dutos deve ser implementado e posteriormente mantido por órgãos reguladores brasileiros, à semelhança do que ocorre nos Estados Unidos (DOT), Canadá (CER) e Nigéria (NOSDRA). Em contrapartida, os outros 36% apontaram que estas ações deveriam ser executadas

por instituição privada, à semelhança dos bancos de dados europeus (EGIG, CONCAWE e UKOPA) e australiano (APIA).

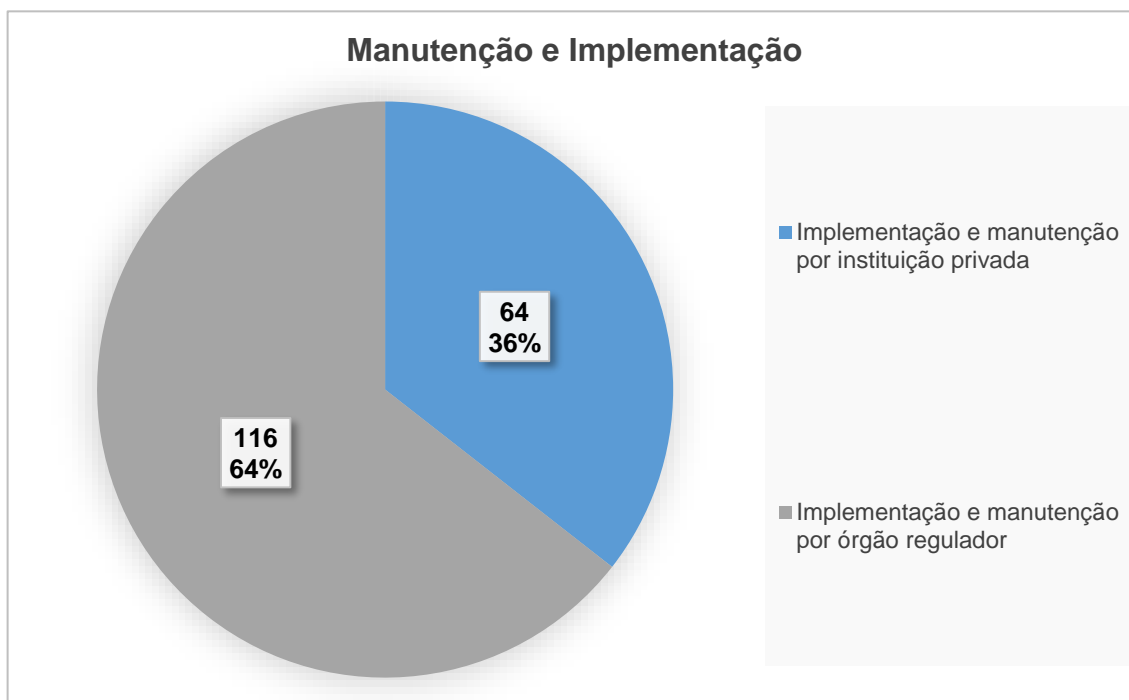


Figura 37 – Manutenção e implementação do banco de dados de falhas.
Fonte: O próprio autor

Por sua vez, a Figura 38 traz a estatística das respostas obtidas para a pergunta referente à publicidade e ao sigilo dos dados coletados e das informações a serem produzidas a partir deles. Interessante destacar que mais da metade (54%) entendem que os dados brutos de falha devem ficar restritos às empresas operadoras, e que as estatísticas produzidas a partir destes dados devem ser disponibilizadas ao público em geral (semelhante ao que ocorre com os bancos de dados europeus). Por outro lado, 33% apontam que tanto os dados quanto as estatísticas devem ser disponibilizadas na íntegra e de forma aberta ao público em geral, ao passo que os 13% restantes indicaram que os dados e as estatísticas devem ficar restritas às operadoras. É interessante ressaltar que, considerando apenas a amostra de respondentes que pertencem a empresas operadoras/proprietárias (detentores dos dados), o comportamento é bastante similar: 58% optaram pela restrição dos dados brutos e publicação das estatísticas; 26% pela publicação de ambos; e 16% pela restrição dos mesmos às operadoras.

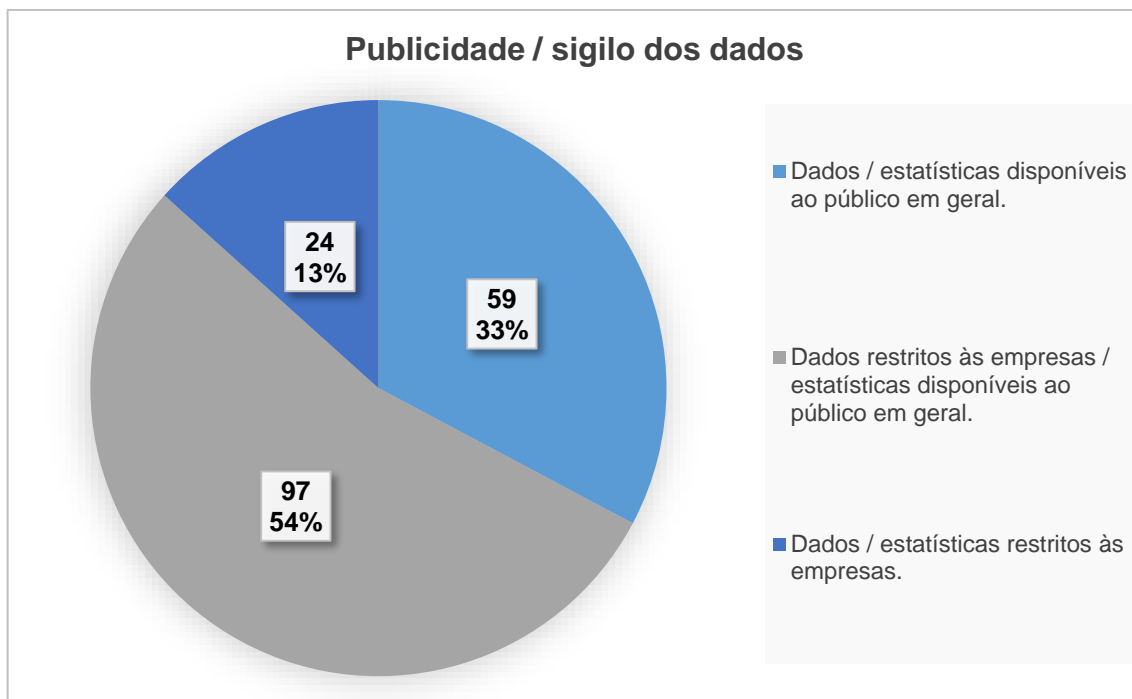


Figura 38 – Publicidade / sigilo de dados e estatísticas.
 Fonte: O próprio autor

Com relação à coleta e ao tratamento dos dados de falha, a Figura 39 explicita que a maior parcela (64%) percebe como necessária a adoção de formulários de coleta específicos, bem como o tratamento separado dos dados, de forma a se produzir estatísticas peculiares para cada tipo de duto (gasoduto / oleoduto). Por sua vez, 20% indicaram como melhor opção adotar formulários específicos, porém a realização do tratamento dos dados de forma conjunta (talvez por conta do tamanho relativamente reduzido da malha dutoviária brasileira). Por fim, outros 16% também indicaram o tratamento conjunto dos dados, porém mediante adoção de um formulário único.

O próximo passo foi o estudo dos critérios de reporte de dados de falha tanto para oleodutos quanto para gasodutos. Verificou-se, segundo as Figuras 40 e 41, que não houve diferença significativa na opinião dos respondentes em relação aos tipos de duto. Os participantes, para ambos, indicaram ser primordial a coleta de dados de qualquer evento relacionado à perda de contenção primária de produtos perigosos, independentemente da quantidade liberada e/ou do dano financeiro gerado (gasodutos: 68%; oleodutos: 70%). Uma quantidade bastante reduzida entendeu que seria interessante a adoção de um limite inferior de perda financeira como critério de

reporte (gasodutos: 6%; oleodutos: 3%), enquanto que a opção de se selecionar um limite inferior de perda volumétrica como critério ocupou uma posição intermediária (gasodutos: 26%; oleodutos: 27%).

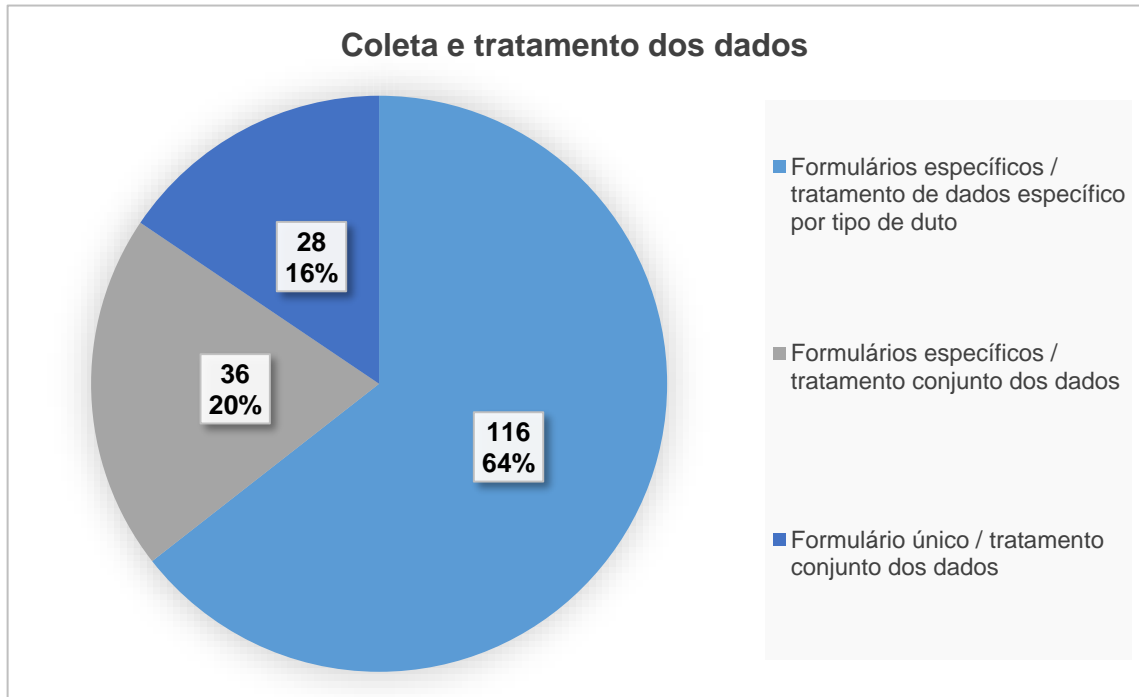


Figura 39 – Manutenção e implementação do banco de dados de falhas.
Fonte: O próprio autor

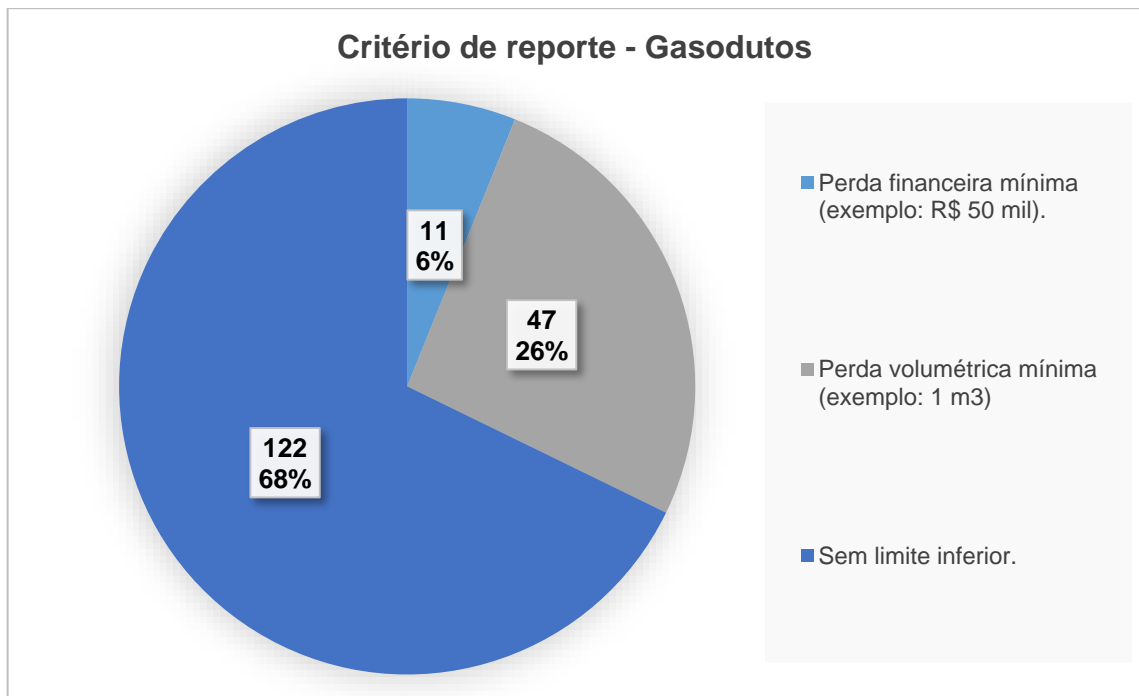


Figura 40 – Critério de reporte para eventos de falha em gasodutos.
Fonte: O próprio autor

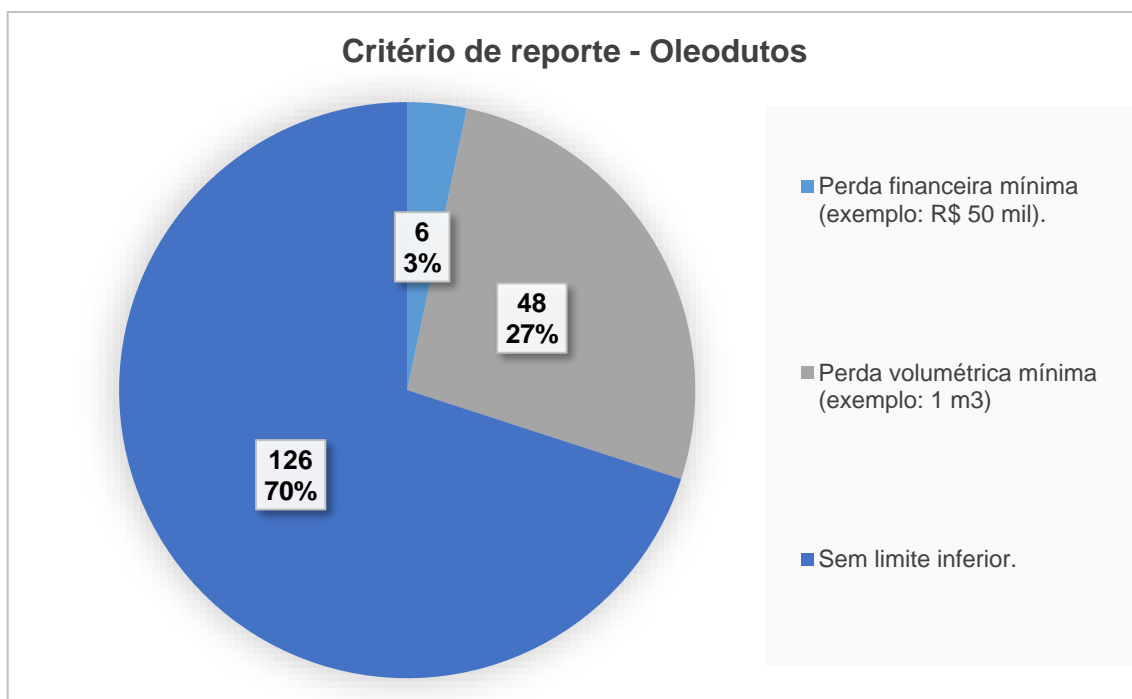


Figura 41 – Critério de reporte para eventos de falha em gasodutos.
Fonte: O próprio autor

A Tabela 28 a seguir resume as principais conclusões obtidas para a dimensão “Gestão”, destacando-se as respostas selecionadas pela maioria dos respondentes para cada variável estudada.

Tabela 28 – Resultados da pesquisa de campo obtidos para a dimensão “Gestão”.
Fonte: O próprio autor.

| Variável | Resultado |
|---------------------------------|---|
| Manutenção e implementação | Implementação e manutenção por órgão regulador (64%). |
| Publicidade / sigilo dos dados | Dados restritos às empresas; estatísticas disponíveis ao público em geral (54%). |
| Coleta e tratamento dos dados | Adoção de formulários de coleta específicos, bem como tratamento específico dos dados de falha (64%). |
| Critério de reporte - Gasodutos | Sem limite inferior para coleta de dados (68%). |
| Critério de reporte - Oleodutos | Sem limite inferior para coleta de dados (70%). |

5.4 TESTES DE HIPÓTESES

Adicionalmente à estatística descritiva, os resultados obtidos através da pesquisa de campo também foram estudados com base em algumas hipóteses (Tabela 12) elaboradas previamente de forma a entender melhor o comportamento dos respondentes frente ao questionário.

Conforme descrito no item 3.6, as duas primeiras hipóteses visaram avaliar, respectivamente, se há diferenças nas avaliações das variáveis de uma forma geral tendo como referência o tempo de experiência profissional dos participantes da pesquisa; e se há diferenças nas avaliações das variáveis especificamente para a dimensão gestão tendo como referência as instituições às quais os participantes pertencem. As hipóteses nulas (H_0) para ambos os testes supõem que não haver as diferenças em estudo, considerando o nível de significância dos testes igual a 5% ($\alpha = 0.05$).

Por sua vez, a terceira hipótese visa investigar a existência (ou não) de correlação significativa entre as variáveis mais frequentemente identificadas na pesquisa bibliográfica e aquelas que foram melhor avaliadas pelos participantes. Neste caso, a hipótese nula (H_0) parte da premissa que esta correlação existe, pressupondo, portanto, não haver diferenças entre a percepção dos especialistas da área dutoviária no Brasil e a literatura.

Os resultados obtidos para os testes supracitados são apresentados nos subitens a seguir.

5.4.1 Teste de hipótese 1: Tempo de experiência

Conforme descrito no item 3.6, este teste foi realizado mediante a aplicação dos métodos de Kruskal-Wallis e de Dunn, lançando-se mão, para tanto, das ferramentas gratuitas PSPP® versão 1.4.1 e RStudio® versão 1.1.442, respectivamente. O primeiro método é aplicado primeiramente para apontar se há um ou mais grupos que discordam dos demais em relação a uma determinada variável; havendo discordância, o segundo método é aplicado para identificar quais são os grupos discordantes.

Para facilitar a análise, os resultados são apresentados por dimensão de análise, respeitando a classificação das variáveis proposta na Tabela 15. Especificamente para a dimensão “Eventos”, em função do número elevado de variáveis, foram considerados também os subgrupos definidos pelos fatores temáticos. Por sua vez, os resultados obtidos através do *software* citado acima são explicitados no Apêndice G. Gráficos “*boxplot*” também foram elaborados para auxiliar o estudo, conforme pode ser observado nas Figuras 42 a 44.

Tendo em vista estes resultados, faz-se um resumo das principais informações obtidas através da Tabela 29. De uma forma geral, observou-se a rejeição da hipótese nula que afirma não haver diferenças na opinião dos especialistas de diferentes tempos de experiência, uma vez que para algumas das perguntas foram obtidos p-valores menores que 0.05 para o teste de Kruskal-Wallis.

Iniciando a discussão pela dimensão “Eventos”, observa-se que, especificamente para o fator temático “Causas”, houve discordância entre os respondentes com menor tempo de experiência (categoria 1) e com maior tempo de experiência (categoria 5) para as variáveis 6.2 (corrosão externa), 9.1 (dano mecânico não intencional - falha imediata) e 9.2 (dano mecânico não intencional - falha não imediata). Já para “Consequências”, o método de Kruskal Wallis identificou discrepâncias para as variáveis 13.3, 15.3 e 15.6, porém para a primeira delas não foi confirmada diferença entre os grupos pelo teste de Dunn. Para as demais, constatou-se divergência de opiniões entre os grupos 4 e 5 para “extensão da área de solo afetada” (15.3) e entre 1 e 3 para “classificação do corpo d’água afetado” (15.6). Os gráficos “*boxplot*” apresentados na Figura 42 confirmam estas constatações.

Tabela 29 – Resultados dos testes para variáveis que apresentaram divergências.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensões de análise | Fatores temáticos | Variáveis onde houve diferenças | p-valor (Kruskal Wallis) | Grupos discordantes (Dunn) |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Eventos | Causas (6.0 a 11.5) | 6.2 | 0.021 | 1 e 5 |
| | | 9.1 | 0.039 | 1 e 5 |
| | | 9.2 | 0.029 | 1 e 5 |
| | Consequências (13.1 a 16.4) | 13.3 | 0.045 | - |
| | | 15.3 | 0.046 | 4 e 5 |
| | | 15.6 | 0.042 | 1 e 3 |

| | | | |
|---|-------|-------|-----------------------------------|
| Características do local (12.1 a 12.29) | 12.15 | 0.019 | 1 e 5 |
| | 12.19 | 0.024 | - |
| | 12.20 | 0.000 | 1 e 2; 1 e 4; 2 e 3; 2 e 5; 3 e 4 |
| | 12.21 | 0.004 | 1 e 2; 2 e 3 |
| | 12.22 | 0.001 | 1 e 2; 2 e 3; 2 e 5 |
| | 12.23 | 0.026 | 1 e 2 |
| | 12.24 | 0.036 | 2 e 4 |
| | 12.26 | 0.031 | - |
| Malha dutoviária (17.1 a 19.13) | 17.2 | 0.019 | 1 e 2; 1 e 5 |
| Gestão (20 a 24) | - | - | - |

Passando para o fator temático “características do local”, a Tabela 29 indica que houve divergência para 8 variáveis, sendo que esta constatação não foi confirmada pelo teste de Dunn para 12.19 e 12.26. No tocante à variável “pressão de operação” (12.15) houve divergência de opiniões entre o grupo 1 e o grupo 5, enquanto que para “data e horário da parada da operação do duto” (12.21) e “data e horário da parada do vazamento” (12.22) houve divergência entre os grupos 1 e 2, 2 e 3, e 2 e 5 (este somente para o último). Estes mesmos grupos também apresentaram respostas diferentes, nesta ordem, para “Data e horário estimados do início do vazamento” (12.20), acrescentando-se ainda a discordância do grupo 4 com os grupos 1 e 3. Por fim, as respostas para a variável 12.24 (“tipo de proteção catódica) divergiram para os grupos 2 e 4, enquanto que “Taxa de vazamento estimada antes da parada” (12.23) foram díspares entre os grupos 1 e 2. Destacam-se também os p-valores reduzidos obtidos para as variáveis 12.21 e 12.22, à semelhança do que ocorreu para 12.20. Os respectivos diagramas “*boxplot*” constam na Figura 43.

A última divergência encontrada diz respeito à dimensão “Malha Dutoviária”, uma vez que não foi apontado nada neste sentido pelo teste de Kruskal Wallis para a dimensão “Gestão”. Constatou-se, portanto, discrepância significativa entre as opiniões do grupo 1 em relação aos grupos 2 e 5 para a variável 17.2 (tipo de duto: oleoduto). Neste caso, fica visível a alta favorabilidade das respostas dos grupos 2 a 5, enquanto que o grupo 1, apesar de também apresentar mediana igual aos demais grupos, acabou contendo algumas respostas menos favoráveis que os demais. O respectivo diagrama “*boxplot*” segue na Figura 44.

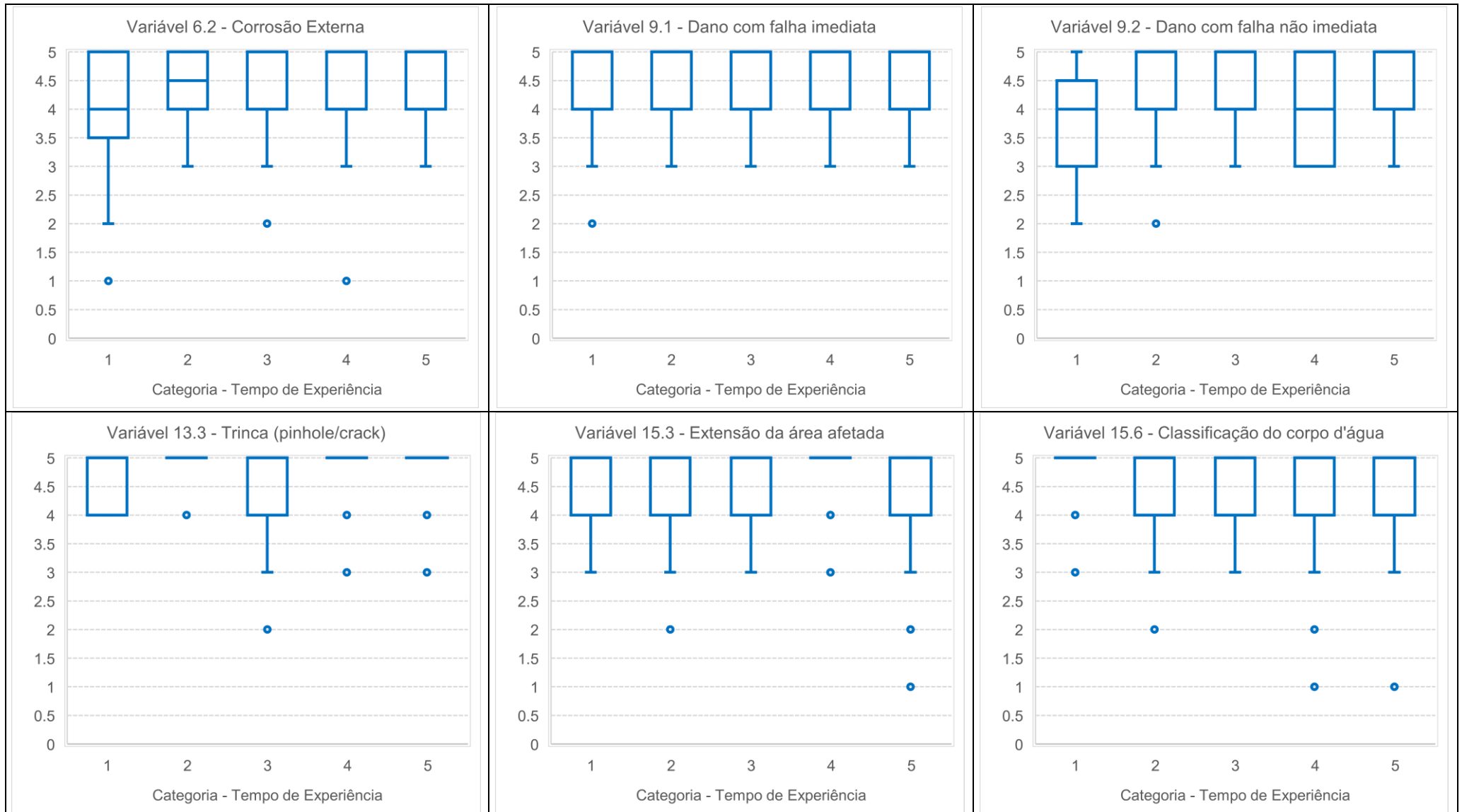


Figura 42 – Gráficos “*boxplot*” para as dimensões “Eventos” e “Consequências”.
 Fonte: O próprio autor

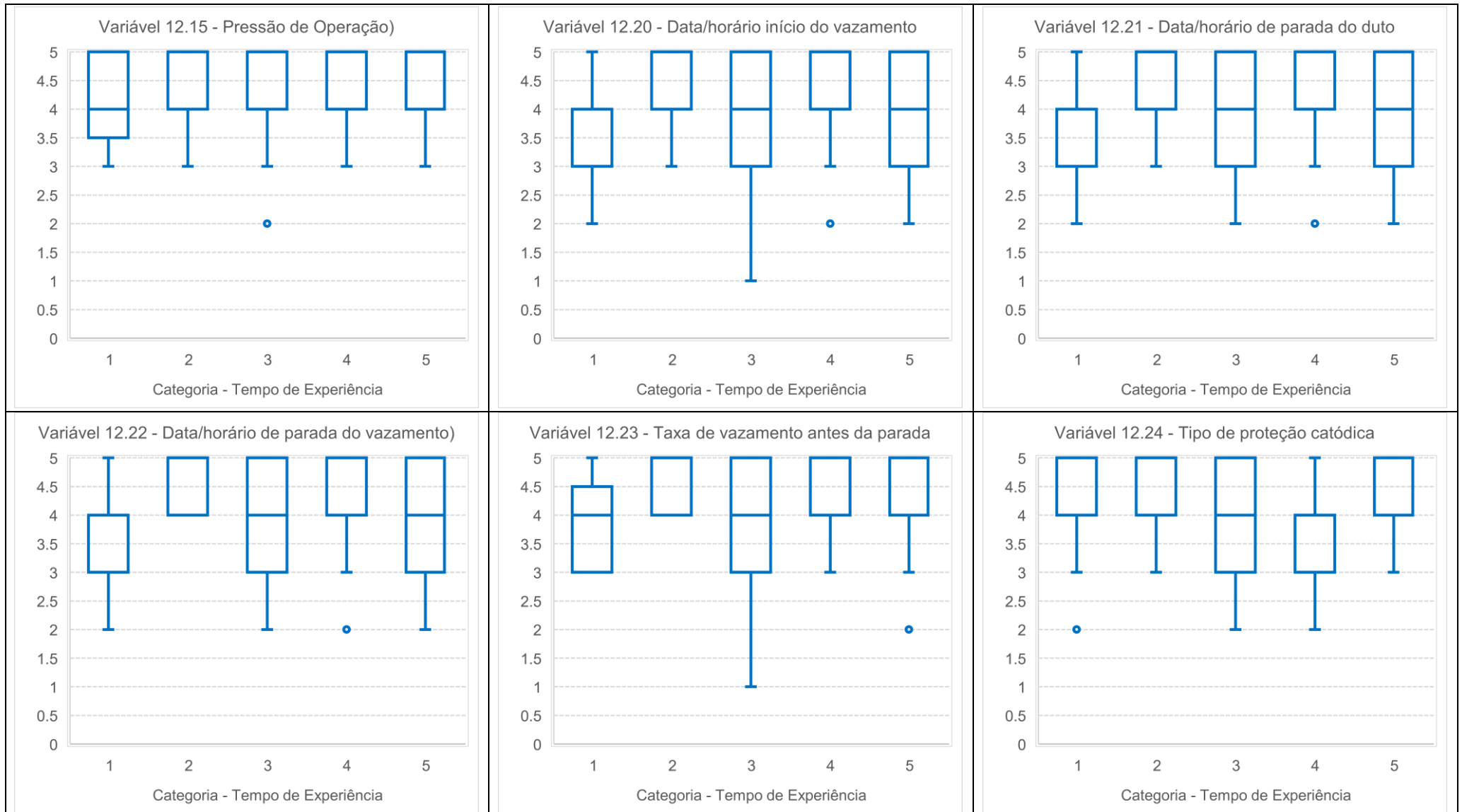


Figura 43 – Gráficos “*boxplot*” para o fator temático “Características do local” pertencente à dimensão “Eventos”.
 Fonte: O próprio autor

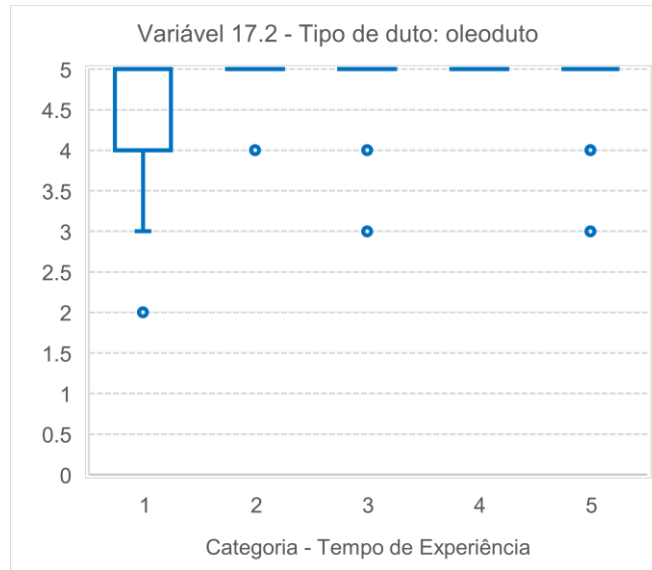


Figura 44 – Gráfico “*boxplot*” para a dimensão “Malha dutoviária”.
Fonte: O próprio autor

5.4.2 Teste de hipótese 2: Tipo de instituição para a dimensão “Gestão”

A segunda hipótese também foi estudada mediante a aplicação do método de Kruskal-Wallis e a ferramenta estatística citada no item anterior.

Conforme pode ser visualizado no Apêndice G e na Tabela 30, apenas um dos p-valores referentes aos testes realizados, especificamente para a pergunta 21, apresentou valor menor que o nível de significância anteriormente definido ($\alpha = 0.05$) de acordo com o teste de Kruskal-Wallis, porém isto não foi confirmado pelo teste de Dunn. Destaca-se apenas que o p-valor para este último teste referente à comparação das respostas dos grupos 1 e 3 ficou pouco acima do alfa adotado (0.089), o que pode justificar o p-valor reduzido obtido pelo primeiro teste.

Por fim, entende-se que por não ter sido possível identificar quais grupos eventualmente possuíam respostas divergentes, culminou-se com a aceitação da hipótese nula (H_0).

Tabela 30 – Dimensões de análise e fatores temáticos abordados.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensões de análise | Perguntas | p-valor (Kruskal Wallis) | Grupos discordantes (Dunn) |
|----------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|
| Gestão | 20 | 0.179 | - |
| | 21 | 0.037 | - |
| | 22 | 0.257 | - |
| | 23 | 0.651 | - |
| | 24 | 0.552 | - |

5.4.3 Teste de hipótese 3: Correlação

Seguindo a explanação presente no item 3.6, a hipótese de existência de correlação entre a frequência de ocorrência na literatura das variáveis estudadas e as respostas dos participantes foi estudada com base no coeficiente de Spearman, bem como no respectivo teste que verifica se de fato a correlação, caso exista, é estatisticamente significativa.

Neste contexto, a moda foi o parâmetro selecionado para representar as respostas dos participantes a ser comparado com a frequência de ocorrência das variáveis na literatura. O Apêndice G explicita os dados utilizados para realização da presente análise de correlação.

Para esta análise foram adotadas duas estratégias distintas:

- Estratégia 1: calcular o coeficiente de Spearman e realizar o teste de hipótese considerando todas as variáveis (6.0 a 19.13) simultaneamente;
- Estratégia 2: dividir as variáveis em quatro grupos, respeitando a classificação com base em dimensões e fatores temáticos, e realizar os cálculos para cada grupo.

Estas estratégias foram propostas para verificar se, eventualmente, poderia haver correlações com diferentes intensidades dependendo do tema aos quais as perguntas do questionário pertenciam. Assim sendo, os resultados obtidos, ou seja, os coeficientes de correlação de Spearman e respectivos p-valores são apresentados a seguir na Tabela 31. Ressalta-se que, neste caso, a hipótese nula H_0 preconiza a não existência de correlação entre as variáveis estudadas.

Tabela 31 – Coeficientes de Spearman e p-valores para ambas as estratégias.

Fonte: O próprio autor.

| Estratégia 1: Todas as variáveis simultaneamente | | | |
|--|--|-------------------------|---------|
| Dimensões de análise | Fatores temáticos | Coeficiente de Spearman | p-valor |
| Todas as variáveis simultaneamente | | 0.271 | 0.005 |
| Estratégia 2: Variáveis segregadas em grupos | | | |
| Dimensões de análise | Fatores temáticos | Coeficiente de Spearman | p-valor |
| Eventos | Causas (6.0 a 11.5) | 0.501 | 0.007 |
| | Consequências (13.1 a 16.4) | 0.524 | 0.004 |
| | Características do local (12.1 a 12.29) | 0.123 | 0.525 |
| Malha dutoviária (17.1 a 19.13) | | 0.493 | 0.032 |

De acordo com os resultados obtidos percebe-se que foi identificada uma correlação estatisticamente significativa ($p\text{-valor} < 0.05$), porém bastante fraca para o caso da comparação dos valores de todas as variáveis simultaneamente. O coeficiente de Spearman encontrado para este caso foi de 0.271, relativamente próximo ao valor 0. Conforme colocado anteriormente, correlações fortes possuem valores numéricos próximos de -1 (correlação negativa) ou 1 (correlação positiva).

Por sua vez, os testes realizados para os grupos de variáveis resultaram em um p-valor maior que 0.05, referente às “características do local”, evidenciando a aceitação da hipótese nula para este caso. Para os demais houve rejeição de H_0 (p-valores menores que 0.05) e evidenciando, portanto, haver correlação estatisticamente significativa para estes três grupos, porém os valores de coeficiente de Spearman, apesar de maiores que o caso anterior, também não indicaram fortes correlações (valores em torno de 0.5, ainda afastados de 1).

Assim sendo, estes resultados permitem concluir que a adoção direta das variáveis que possuíram maior frequência de ocorrência no levantamento da literatura não necessariamente coincide com a opinião dos especialistas brasileiros da área

dutoviária, requerendo, portanto, maior cuidado na seleção destes parâmetros para a definição da taxonomia do banco de dados de falhas.

Finalmente, apresenta-se na Tabela 32 a seguir um quadro resumo com os principais resultados obtidos a partir dos testes de hipóteses realizados.

Tabela 32 – Principais resultados dos testes de hipótese.

Fonte: O próprio autor.

| Teste | Hipóteses nulas | Resultado |
|-------|--|---|
| 1 | Ho: O tempo de experiência não interferiu nas respostas dos participantes. | Rejeição de Ho para 15 das 104 variáveis testadas. |
| 2 | Ho: O tipo de instituição à qual o respondente pertence não interferiu nas respostas das variáveis pertencentes à dimensão “Gestão”. | Aceitação de Ho para as 5 variáveis testadas. |
| 3 | Ho: Existe correlação entre as variáveis selecionadas pelos participantes e a frequência de ocorrência das mesmas na literatura. | Rejeição de Ho para as variáveis pertencentes a um fator temático. Identificou-se que, para os demais, as correlações são estatisticamente fracas. |

5.5 SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA FORMULÁRIO DE COLETA DE DADOS

A etapa de seleção de variáveis para, por fim, compor o formulário de coleta de dados de falhas foi fundamentada na utilização do método de Lawshe (1975), através do qual é possível selecionar os itens de um questionário que de fato foram considerados “essenciais” pelos respondentes (ver item 3.6).

Este método pressupõe a existência de três tipos de itens: “essenciais”, “úteis, porém não essenciais” e “não necessários”. De posse desta perspectiva, este trabalho propõe a utilização de dois testes em sequência, com diferentes graus de restrição. O primeiro tem como meta eliminar variáveis que não devem compor em nenhuma hipótese o questionário final, e o segundo visa definir quais as variáveis que de fato devem ser obrigatórias de serem preenchidas em caso de ocorrência dos eventos. Cabe ressaltar que as perguntas referentes à dimensão “Gestão” não fazem parte do escopo desta análise, uma vez que as mesmas não foram avaliadas através da escala tipo *Likert* proposta.

A Tabela 33 a seguir explicita as premissas adotadas para realização dos referidos testes. Cabe ressaltar que, para o fator temático “Causas” (pertencente à dimensão “Eventos”), foi aplicado apenas o primeiro teste para eliminação de parâmetros que de fato não são pertinentes à malha dutoviária brasileira. O segundo teste não foi aplicado às variáveis deste fator temático porque poder-se-ia eliminar causas que, mesmo pouco frequentes (e que por isso talvez tenham sido avaliadas com menor favorabilidade pelos respondentes neste momento), são importantes de serem consideradas e registradas ao longo do tempo.

Tabela 33 – Premissas adotadas para os testes de Lawshe.

Fonte: O próprio autor.

| Teste 1: Aplicável a todos os fatores temáticos | | | |
|---|---|---------------------------------------|----------------------|
| Tipo de item | Respostas (escala tipo <i>Likert</i>) | Parâmetros do teste | $n_{\text{crítico}}$ |
| Essencial | 4 e 5 | P = 0.5 α = 0.05 n = 180 | 101 |
| Útil, mas não essencial | 3 | | |
| Não necessários | 1 e 2 | | |
| Teste 2: Não aplicável ao fator temático “Causas” | | | |
| Tipo de item | Respostas (escala tipo <i>Likert</i>) | Parâmetros do teste | $n_{\text{crítico}}$ |
| Essencial | 5 | P = 0.5 α = 0.05 n = 180 | 101 |
| Útil, mas não essencial | 3 e 4 | | |
| Não necessários | 1 e 2 | | |

Antes da apresentação dos resultados, cabe destacar alguns elementos presentes na tabela acima. Como se nota, para o primeiro teste, o quantitativo de participantes com respostas 4 e 5 para cada item avaliado consiste no critério adotado para definir se este item é essencial ou não, enquanto que para o segundo teste o critério teve como base o quantitativo de respostas 5 (mais restritivo).

Mantendo-se a premissa adotada durante todo o trabalho referente ao nível de significância do teste igual a 0.05 e de posse do número de respondentes n igual a 180, além da adoção do valor de P = 0.5 (ou seja, supondo-se que para um item ser

considerado “essencial” minimamente 50% dos respondentes devem atender aos critérios acima definidos para cada teste), calculou-se o valor de $n_{\text{crítico}}$ através da equação 5 igual a 101 para ambos os casos. Isto significa que, no primeiro caso, os itens cujo quantitativo de respostas 4 e 5 forem maiores que 101 serão considerados essenciais, enquanto que para o segundo a referência será o quantitativo de respostas 5, para o mesmo valor de $n_{\text{crítico}}$.

Tendo em vista as Tabelas F.1 a F.4 apresentadas no Apêndice F, conclui-se que quatro parâmetros são eliminados através do primeiro filtro:

- “Demais falhas de equipamentos” (item 8.4);
- “Condições extremas de calor ou frio” (item 11.1);
- “Ventos fortes” (item 11.2);
- “Perda financeira referente ao valor do volume de produto perdido” (item 16.3).

Estas variáveis já haviam sido destacadas anteriormente por sua baixa favorabilidade de acordo com a opinião dos respondentes, o que acabou sendo confirmado pela aplicação do método de Lawshe.

Assim sendo, eliminando-se estes quatro parâmetros, todos os demais são passíveis de serem adicionados ao formulário de coleta do banco de dados nacional. Neste ponto, torna-se possível a definição da árvore de categorias de causa e suas subcategorias, conforme pode ser visualizado na Figura 45.

Por fim, os itens considerados obrigatórios para os demais fatores temáticos foram obtidos mediante a aplicação do segundo teste proposto. Das 76 variáveis restantes, pertencentes aos fatores temáticos “características do local” e “consequências” da dimensão “eventos” e à dimensão “malha dutoviária”, foram obtidas 24 variáveis, as quais são evidenciadas na Tabela 34.

Mediante análise crítica do resultado, percebe-se que alguns *clusters* não foram contemplados após aplicação do segundo teste, tais como “Dados temporais/geográficos”, “Detecção” e “Impactos financeiros”. Dentre as variáveis pertencentes a estes grupos, percebe-se pelo levantamento bibliográfico que “data do evento” foi contemplada por todos os *benchmarks*, uma vez que este dado é de

extrema importância para cálculo da taxa de falha dos dutos ao longo do tempo. Desta forma, entende-se ser necessária sua adição à Tabela 34, totalizando 25 variáveis obrigatórias.

Ainda neste contexto, ressalta-se que algumas outras variáveis que apareceram com alta frequência na literatura (maior ou igual a 88%) não foram selecionadas através do teste de Lawshe. Dentre elas, destacam-se aquelas pertencentes aos seguintes *clusters*:

- Características físicas/projeto: Diâmetro do duto (88%), profundidade do duto no solo (88%) e ano de construção (88%);
- Detecção: Forma através da qual o evento foi identificado (88%).

Conforme destacado no item 4.2.2 (mais especificamente na Tabela 21), o cruzamento de informações referentes à falha e à exposição da malha dutoviária permite a geração de informações relevantes para a gestão de risco, tais como os parâmetros destacados acima no *cluster* “características físicas/projeto”. Isto possibilitaria, no futuro, a obtenção de correlações importantes para serem empregadas em estudos de riscos, semelhantes às aquelas disponibilizadas em documentos de referência (como a normas britânicas anteriormente citadas), mas que reflitam os dados de falha nacionais.

Além disso, o dado referente à “forma através da qual o evento foi identificado” também pode trazer informações importantes para os operadores, principalmente no que tange à eficiência e à eficácia dos sistemas de detecção de vazamentos eventualmente instalados nos dutos; à avaliação do sistema de gestão das faixas; e ao engajamento das comunidades existentes nas localidades vizinhas aos dutos.

Assim sendo, sugere-se que a adição em caráter obrigatório dos três parâmetros pertencentes ao primeiro *cluster* (bem como ao fator temático “Parâmetros associados à extensão da malha”), e também do parâmetro pertencente ao *cluster* “Detecção”, seja considerada como oportunidade de melhoria nos primeiros anos após a sua implementação.

Tendo em vista o exposto, foram elaborados por meio do *software* Microsoft Excel® e disponibilizados no Apêndice H formulários de coleta de dados de eventos e da malha dutoviária brasileira, para serem utilizados futuramente como suporte para implementação do banco de dados nacional de falha em dutos.

Ambos os formulários tiveram como referência os resultados obtidos durante todo o trabalho, ou seja, eliminando-se as variáveis que foram rejeitadas pelo primeiro teste de Lawshe e destacando-se aquelas que foram selecionadas no segundo teste, as quais, portanto, possuem caráter obrigatório de serem preenchidas após a implementação do banco de dados nacional. Estas ferramentas permitem a coleta de dados específica para cada tipo de duto (gasodutos ou oleodutos), bem como o posterior tratamento específico dos dados de falha. Ressalta-se que foram inseridos novos campos⁷, relacionados a seguir, apenas como sugestão para futuramente facilitar a gestão da informação a ser coletada:

- Nome da empresa operadora de duto;
- Nome da pessoa para contato: pessoa da operadora responsável pelo reporte dos dados;
- Telefone para contato: telefone da pessoa responsável, citada acima;
- Número do evento: número de controle a ser fornecido pela instituição que fará a manutenção do banco de dados;
- Nome do duto (onde ocorreu o evento);
- Tipo de duto: permite especificar o tipo de ativo (gasoduto ou oleoduto) sobre o qual o reporte está sendo realizado;
- Data do reporte: data na qual o formulário em questão foi enviado para a instituição que fará a manutenção dos dados.

⁷ Os novos campos foram inspirados nos formulários de coleta dos *benchmarks*.

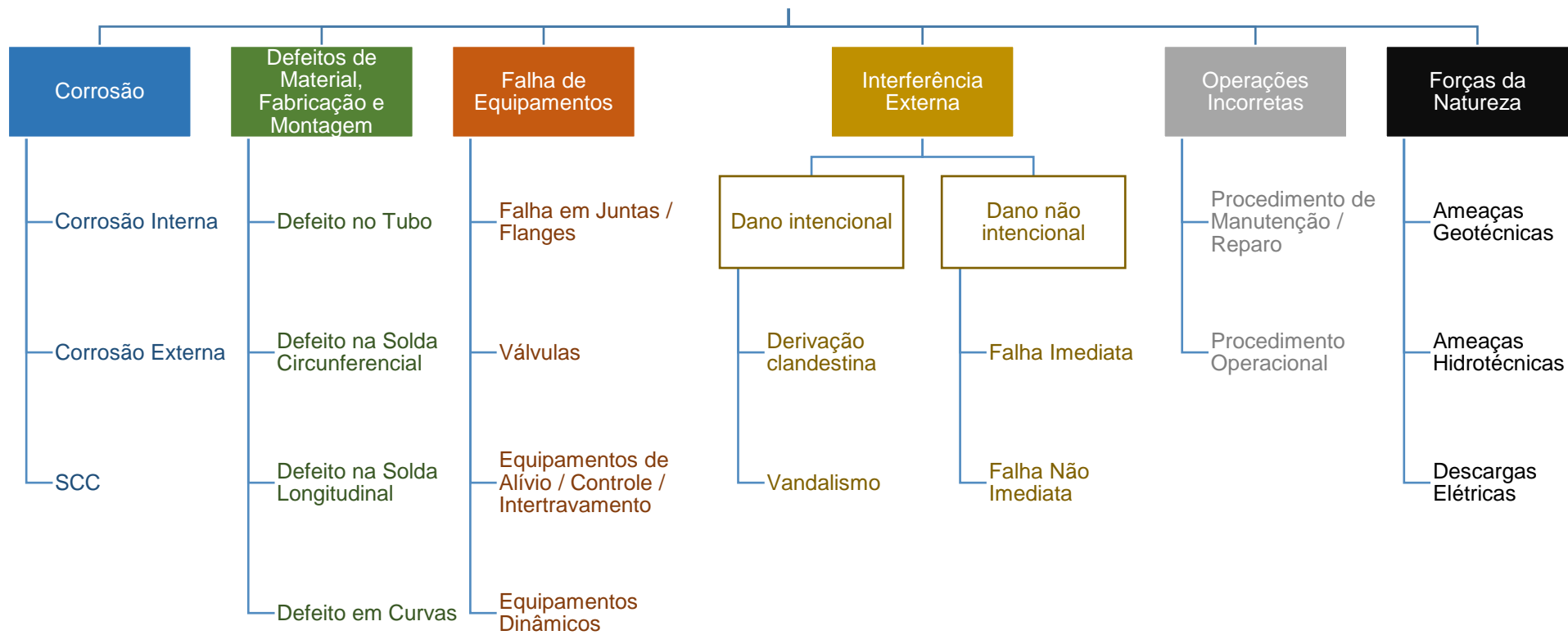


Figura 45 – Árvore de categorias e subcategorias de causa para eventos de falha em dutos terrestres.
 Fonte: O próprio autor

Tabela 34 – Variáveis selecionadas como obrigatórias para composição do banco de dados de falhas em dutos terrestres.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensões de análise | Fatores temáticos | Clusters | Item | Descrição | Quantitativo Respostas iguais a 5 | Frequência nos benchmarks |
|----------------------|--------------------------|---------------------------------|---|---|-----------------------------------|---------------------------|
| Eventos | Características do local | Características físicas/projeto | 12.1 | Diâmetro | 75 ⁹ | 88% |
| | | | 12.2 | Profundidade do duto no solo | 71 ⁹ | 88% |
| | | | 12.3 | Espessura da parede do duto | 105 | 88% |
| | | | 12.6 | Ano de construção | 67 ⁹ | 88% |
| | | Variáveis operacionais | 12.13 | Produto transportado no momento do vazamento | 129 | 100% |
| | | | 12.15 | Pressão de operação | 105 | 88% |
| | | Dados temporais/geográficos | 12.18 | Data do evento | 73 ⁸ | 100% |
| | | Medidas de prevenção | 12.26 | Registro se o trecho foi inspecionado por PIGs | 101 | 88% |
| | Detecção | 12.28 | Forma através da qual o evento foi identificado | 70 ⁹ | 88% | |
| | Consequências | Modo de Falha | 13.1 | Ruptura do duto (Rupture) | 147 | 88% |
| | | | 13.2 | Furo (leak) | 133 | 88% |
| | | | 13.3 | Trinca (pinhole/crack) | 135 | 63% |
| | | Impacto a pessoas / patrimônio | 14.1 | Indicar se houve ignição do produto | 132 | 88% |
| | | | 14.2 | Indicar se houve explosão | 137 | 75% |
| | | | 14.3 | Indicar se houve incêndio | 136 | 100% |
| | | | 14.4 | Número de fatalidades (se houver) | 151 | 88% |
| | | | 14.5 | Número de feridos (se houver) | 147 | 88% |
| | | | 14.6 | Danos a propriedades de terceiros (se houver) | 102 | 75% |
| | | | 14.8 | Raio de dano provocado pelo incêndio / explosão | 113 | 25% |

⁸ O parâmetro “Data do evento” (em azul) foi adicionado como obrigatório após análise crítica em função de sua frequência nos benchmarks (e não no quantitativo de respostas 5).

⁹ A adição dos parâmetros destacados em verde foi apontada como oportunidade de melhoria futura do banco de dados.

| Dimensões de análise | Fatores temáticos | Clusters | Item | Descrição | Quantitativo Respostas iguais a 5 | Frequência nos benchmarks |
|----------------------|---|--------------------------------|-------|---|-----------------------------------|---------------------------|
| Eventos | Consequências | Impacto a pessoas / patrimônio | 14.9 | Densidade populacional da região afetada | 111 | 38% |
| | | | 14.10 | Classe de locação / Classificação do uso do solo | 103 | 75% |
| | | Impacto ao meio ambiente | 15.1 | Quantidade de produto vazado | 133 | 88% |
| | | | 15.5 | Registro se o produto vazado atingiu corpo d'água | 129 | 50% |
| | | Impacto ao meio ambiente | 15.6 | Classificação do corpo d'água atingido | 115 | 50% |
| | | Impacto financeiro | - | - | - | - |
| Malha dutoviária | Tipo de duto (por produto transportado) | - | 17.1 | Gasodutos | 146 | 63% |
| | | | 17.2 | Oleodutos | 157 | 75% |
| | Instalações pontuais associadas | - | 18.1 | Trechos de duto extramuros | 121 | 100% |
| | Parâmetros associados à extensão da malha | - | 19.9 | Tipo de produto transportado | 110 | 63% |
| | | | 19.13 | Tipo de duto (Gasoduto / Oleoduto) | 115 | 100% |

Obs: Para efeito de comparação, adicionou-se também à tabela acima a frequência de ocorrência na literatura de cada parâmetro selecionado, bem como o quantitativo de respostas 5 obtidas a partir da pesquisa de campo.

Ressalta-se também que o formulário de reporte de eventos deve ser preenchido preferencialmente logo após a ocorrência do mesmo (respeitando-se os prazos necessários para obtenção dos dados), enquanto que o formulário de coleta de dados referentes à malha dutoviária é preenchido e enviado anualmente pelas operadoras de dutos junto aos *benchmarks*. A instituição que ficará responsável pela implementação e posterior manutenção do banco de dados nacional deverá estabelecer estes prazos para a realidade brasileira, em comum acordo com as empresas operadoras.

6. DIAGRAMA BOWTIE PARA GESTÃO DE RISCOS NA OPERAÇÃO DE DUTOS TERRESTRES

O presente capítulo tem como objetivo apresentar um diagrama Bowtie construído a partir dos resultados apresentados no capítulo anterior, bem como de informações obtidas de um documento disponibilizado pelo UKOPA (2014) que, por sua vez, sugere a adoção de alguns controles/barreiras e respectivos indicadores especificamente para promover uma adequada gestão dos riscos associados à operação de dutos terrestres. Destaca-se que, dentre todos os *benchmarks* identificados, esta foi a única referência encontrada na literatura que atendeu ao objetivo proposto, ou seja, disponibiliza informações específicas para proposição de um diagrama aplicável à atividade dutoviária e aderentes ao escopo delimitado pelo presente trabalho. Informa-se também que se utilizou o *software* Bowtie XP® da empresa CGE Risk Management Solutions para esta finalidade.

Ressalta-se que tal diagrama não tem como objetivo estressar todos os controles/barreiras presentes no campo, mas sim propor um *framework* padrão para compartilhamento de informações pertinentes aos sistemas de gestão de riscos operacionais das empresas operadoras que compõem o banco de dados nacional através de indicadores de performance (conforme o trabalho do UKOPA).

6.1 EVENTO TOPO, AMEAÇAS E CONSEQUÊNCIAS

Inicia-se a construção do diagrama mediante o estabelecimento do seu evento topo e da atividade à qual o mesmo se aplica. Estes elementos são definidos por meio do escopo do próprio trabalho, através do qual foi estabelecido o estudo de eventos de perda de contenção primária (evento topo) de produtos perigosos em dutos terrestres de transporte (atividade).

Em seguida, cabe selecionar quais são as consequências a serem consideradas no Bowtie. Neste caso, utilizou-se a Tabela 34 como referência, a qual aponta quais variáveis foram indicadas como essenciais pelos respondentes da pesquisa. Verifica-se que, para este fator temático (consequências), foram selecionadas variáveis pertencentes apenas aos *clusters* “impacto a pessoas / patrimônio” e “impacto ao meio ambiente” (os participantes não indicaram os impactos financeiros como essenciais),

justificando-se, portanto, a escolha destas duas consequências de âmbito geral para a construção do diagrama.

No que tange às ameaças, foram selecionadas as seis categorias de causa apresentadas na Figura 45, ou seja: 1) Corrosão; 2) Defeitos de Material, Fabricação e Montagem; 3) Falha de Equipamentos; 4) Interferência Externa; 5) Operações Incorretas; e 6) Forças da Natureza.

A Figura 46 a seguir ilustra estes elementos adicionados a uma versão preliminar do diagrama. Em seguida são apresentadas informações referentes aos controles/barreiras obtidas através da literatura, as quais foram utilizadas para a construção do diagrama completo (posteriormente explicitado).

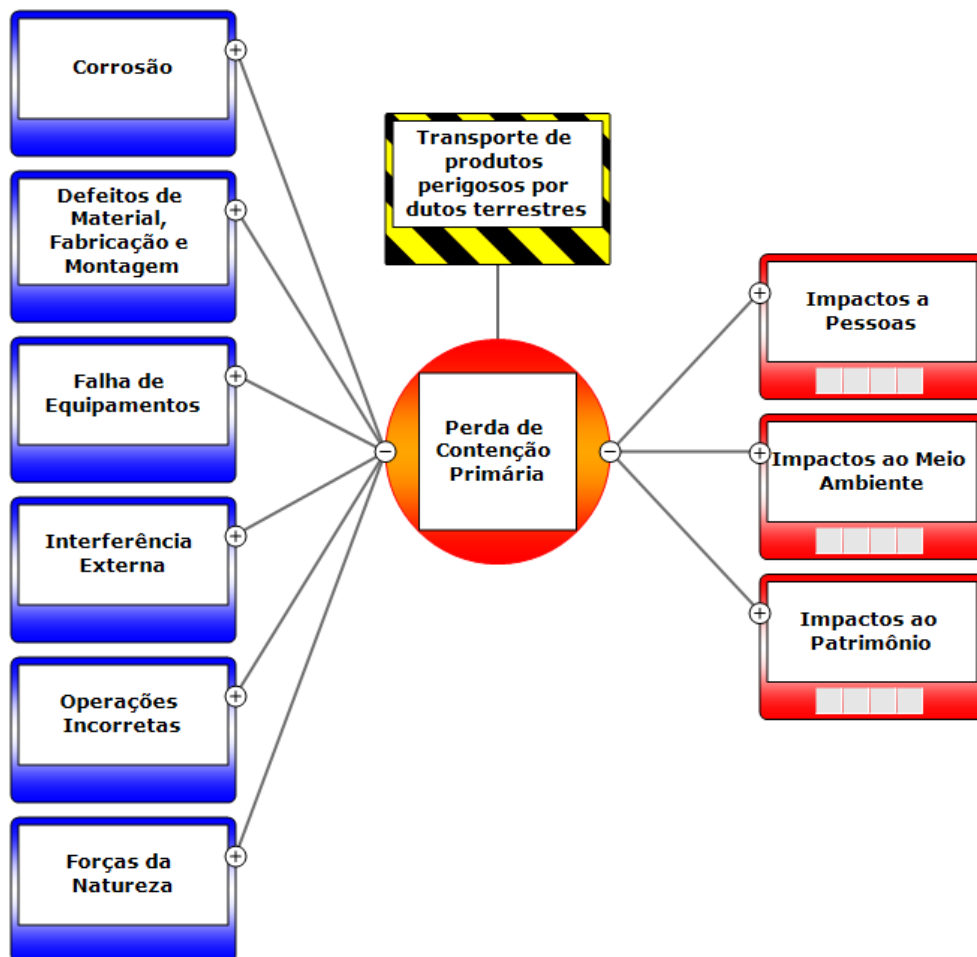


Figura 46 – Versão preliminar do Bowtie – Ameaças, Consequências e Evento Topo.
Fonte: O próprio autor

6.2 BARREIRAS DE PREVENÇÃO E DE MITIGAÇÃO

Para definição das barreiras foi utilizado como referência o documento “*Pipeline Process Safety Performance Monitoring*”, publicado pelo UKOPA (2014), o qual foi construído com base na lógica definida pelo HSE evidenciada no item 2.4.2 da presente tese.

Neste contexto, o documento aponta controles a serem utilizados pelos sistemas de gestão de risco das operadoras de dutos que fazem parte deste *benchmark*, bem como propõe indicadores reativos e proativos para auxiliar no acompanhamento dos status destes controles ao longo do tempo. Estas informações foram transcritas na Tabela I.1 do Apêndice I.

Tendo isto em vista, foi realizada uma análise completa das informações apresentadas pelo UKOPA (2014) e do diagrama preliminar da Figura 46, de forma a verificar quais controles e indicadores poderiam ser associados às ameaças ou às consequências do Bowtie. Verificou-se que alguns dos controles propostos podem ser utilizados diretamente como barreiras de prevenção ou de mitigação, porém outros (tais como gestão de mudanças, competências e treinamentos; liderança e documentação) são elementos que perpassam a gestão de todas estas barreiras. Neste caso, conforme evidenciado mais adiante, estes últimos na verdade foram adicionados ao diagrama como controles de degradação de tais barreiras, uma vez que estes contribuem para a manutenção da integridade das mesmas.

Além disso, constatou-se também que alguns controles são bastante abrangentes e podem ser aplicados a mais de uma ameaça (um exemplo é o controle “integridade”) e, desta forma, foi necessário elencar para cada ameaça do Bowtie quais seriam de fato as barreiras e seus respectivos indicadores aplicáveis a cada caso. As Tabelas I.2 e I.3 do Apêndice I trazem, respectivamente, as relações das barreiras que foram elencadas para cada ameaça / consequência, enquanto a Tabela I.4 explicita os fatores e respectivos controles de degradação aplicáveis a todas as barreiras do Bowtie. Esclarece-se, também, que foram propostos no final da Tabela I.2 uma nova barreira e seus respectivos indicadores, adicionalmente ao sugerido pelo UKOPA, referente ao sistema de detecção de vazamento em dutos (importante para

a mitigação das consequências relacionadas a eventos de perda de contenção primária).

Neste contexto, apresenta-se, por fim, o diagrama em sua versão final na Figura 47, contendo as barreiras indicadas nas Tabelas I.2 e I.3. Os indicadores proativos e reativos sugeridos para avaliação da integridade de tais barreiras são indicados nestas mesmas tabelas e no próprio diagrama da figura a seguir (números em azul).

Por fim, evidencia-se na Figura 48 como os demais controles propostos pelo UKOPA (2014) são considerados no diagrama Bowtie. Estes quatro controles tratam de temas relevantes para a gestão de riscos da operação dutoviária e que estão associados a todas as barreiras explicitadas na Figura 47, sendo considerados, portanto, controles de degradação para tais barreiras. Estes controles de degradação são, por sua vez, diretamente relacionados a fatores de degradação, ou seja, condições ou defeitos/erros que comprometem a função de uma barreira, anulando ou reduzindo a sua eficácia (CCPS, 2018). Os fatores de degradação propostos nesta tese, bem como seus respectivos controles e indicadores (citados na Tabela I.1 do Apêndice I), são evidenciados na referida figura.

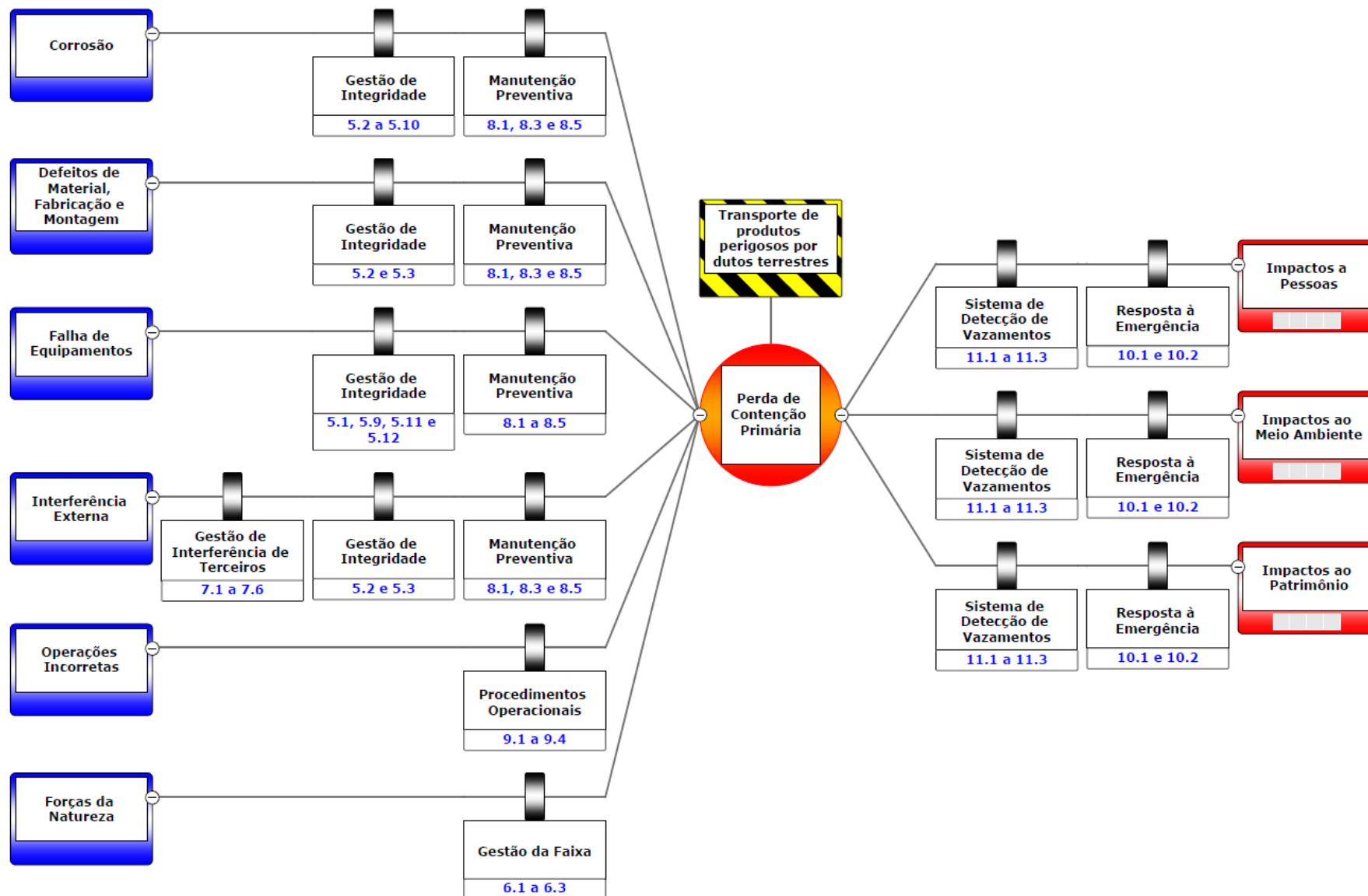


Figura 47 – Versão final do Bowtie – Ameaças, Consequências, Evento Topo e Barreiras de Prevenção / Mitigação.
 Fonte: O próprio autor.

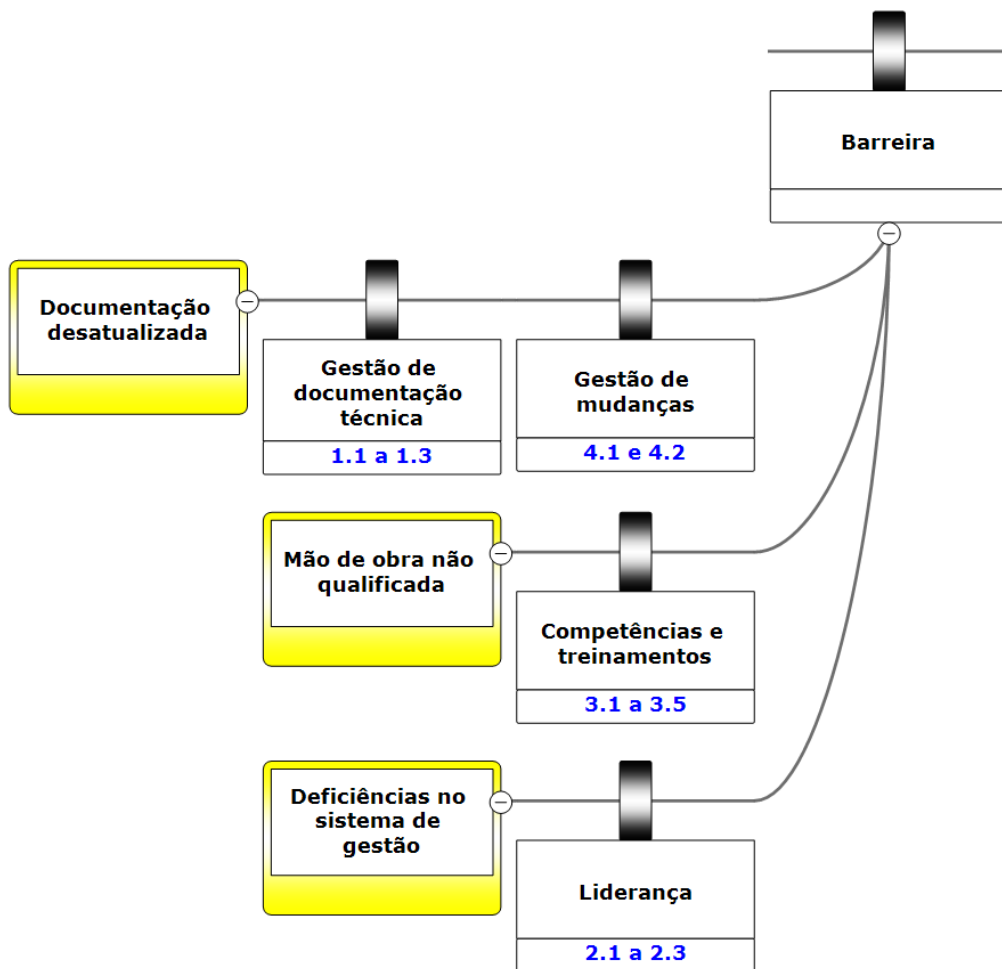


Figura 48 – Fatores de degradação e respectivos controles aplicáveis a todas as barreiras do Bowtie.

Fonte: O próprio autor.

7. DADOS DE FALHA DA MALHA DUTOVIÁRIA BRASILEIRA

Este capítulo apresenta um histórico de falhas em oleodutos obtido junto à TRANSPETRO (uma empresa brasileira operadora de dutos terrestres, subsidiária da PETROBRAS), bem como o respectivo tratamento dos dados para obtenção de algumas das estatísticas que são usualmente apresentadas nos relatórios dos *benchmarks* identificados neste trabalho.

Em função de serem dados pretéritos, coletados desde 1978 até 2008, este histórico de falhas não contempla todos os dados que foram selecionados como “obrigatórios” ou “essenciais” e explicitados na Tabela 34, porém o mesmo permite a obtenção de algumas métricas interessantes referentes aos eventos de falha ocorridos neste período. Os dados brutos, já considerando a árvore de causas proposta na Figura 45, são apresentados na Tabela J.1 do Apêndice J, os quais também foram abordados por Cunha (2012).

Além do escopo temporal citado acima, cabe ressaltar também que o histórico se refere à malha de oleodutos pertencente ao estado de São Paulo, incluindo eventualmente os trechos de dutos que adentram outras unidades da federação, mas que tem origem no estado citado acima. Neste contexto se insere o oleoduto OSBRA (interliga a refinaria REPLAN – Paulínia/SP à cidade de Brasília, atravessando o Triângulo Mineiro, parte do estado de Goiás e do Distrito Federal). Já para o duto OSRIO, apesar do mesmo interligar o Terminal de Guararema/SP à refinaria REDUC – Duque de Caxias/RJ, foi considerado apenas o seu trecho até Lorena/SP (que corresponde a 98 dos 372 quilômetros do mesmo).

Assim sendo, os dados referentes aos oleodutos considerados para o cálculo da exposição da malha ao longo do tempo foram obtidos através da Agência Nacional dos Transportes (ANTT, 2021), cuja fonte é a mesma empresa operadora que forneceu os dados de falha. Estes dados também são evidenciados no Apêndice J (Tabela J.2). A Figura 49 ilustra, de forma macro, a localização destes ativos no mapa.

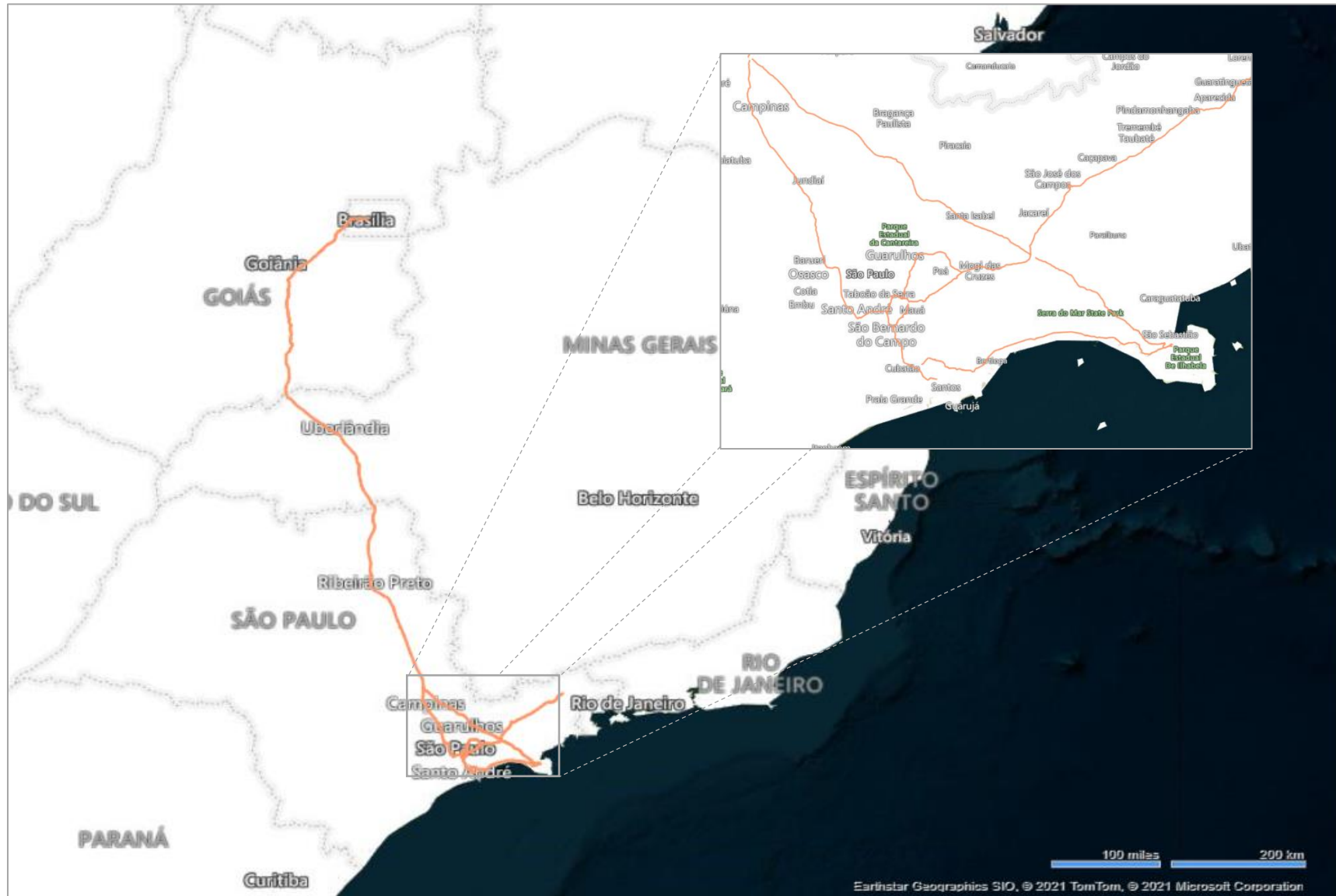


Figura 49 – Malha dutoviária alvo de estudo - Oleodutos.
 Fonte: O próprio autor.

A partir dos dois conjuntos de dados citados anteriormente foram produzidas estatísticas que são apresentadas nos itens a seguir, abordando, respectivamente:

- Informações referentes aos eventos ocorridos nos dutos ao longo do tempo;
- Informações relacionadas à malha dutoviária;
- Taxas de falha calculadas com base nas informações evidenciadas nos itens anteriores.

7.1 ESTATÍSTICAS RELACIONADAS AOS EVENTOS DE FALHA

Tendo em vista os dados apresentados na Tabela J.1 foi possível a geração de informações referentes às causas e às consequências dos eventos ocorridos o intervalo de tempo alvo de análise.

Inspirada no UKOPA (2019), a Figura 50 mostra o quantitativo anual de eventos ao longo do período em análise. Percebe-se um comportamento homogêneo entre os anos de 1978 e 2001 (apesar do crescimento gradual da malha, como será visto mais adiante), sendo evidente o decréscimo após este intervalo.

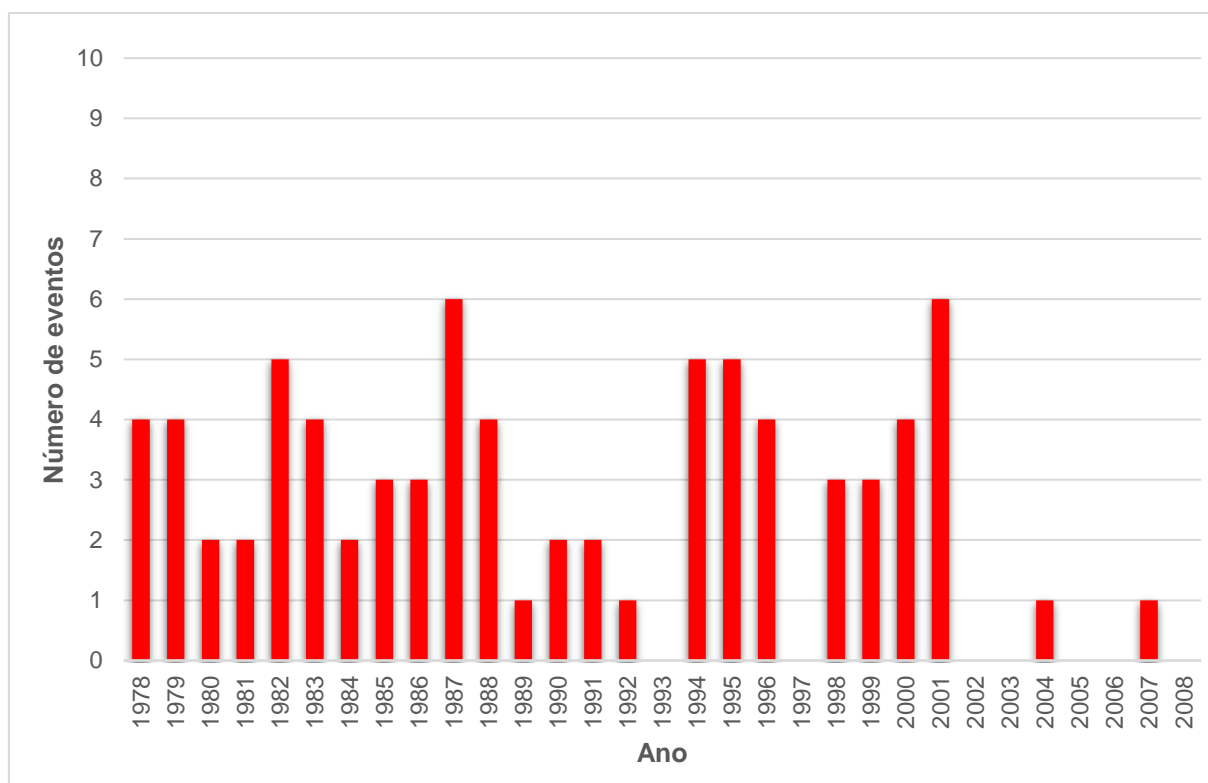


Figura 50 – Quantitativo anual de eventos – Período entre 1978 e 2008.
Fonte: TRANSPETRO.

Em seguida analisou-se a distribuição de causas de falha ocorridas durante todo o histórico, considerando em princípio todos os tipos de dutos em conjunto, e depois segregado por dutos que transportam produto a frio (claros e petróleo) e a quente (escuros), à semelhança do que é feito pelo CONCAWE (2019). Esta distinção é proposta por este *benchmark* porque, usualmente, os dutos de escuros são atacados com maior frequência por corrosão externa em função da gradativa degradação do seu revestimento devido à alta temperatura do produto transportado (o qual é transportado a quente para redução de sua viscosidade).

Como se nota nos gráficos apresentados na Figura 51, este comportamento observado nos dutos europeus também é confirmado nos dutos brasileiros, ou seja, a participação da corrosão na distribuição de falhas ocorridas em dutos que transportam produto a quente é significativamente maior (72%) do que em dutos de produto a frio (54%). Entretanto, outra conclusão que salta aos olhos é que no Brasil, independentemente do tipo de duto, a causa de falha predominante em oleodutos é a corrosão, enquanto que nos países europeus a interferência externa possui maior participação de uma forma geral (a menos, é claro, nos dutos de transporte a quente).

Adicionalmente, percebeu-se também que o perfil de falhas mudou ao longo do tempo. Apesar da causa “corrosão” ainda continuar predominante, verifica-se que para os últimos 10 anos do histórico (1999 a 2008) a participação da causa “interferência externa” aumentou sensivelmente em comparação com o período total (de 16% para 40%). Este comportamento pode ser resultante de alguns motivos, sendo um deles o possível aprimoramento da gestão de integridade pela empresa operadora neste último período. Outra razão pode ser o gradativo incremento da densidade populacional ao redor das faixas de dutos em análise, que por sua vez pode ter contribuído para aumentar a chance de eventos de toque nos dutos por ação de terceiros. A Figura 52 traz o perfil para os últimos 10 anos do histórico.

Por sua vez, a Figura 53 traz o quantitativo de eventos por causas específicas, elencadas anteriormente através da Figura 45, para todo o período considerado. Fica ainda mais evidente o número significativo de falhas provocadas por corrosão externa.

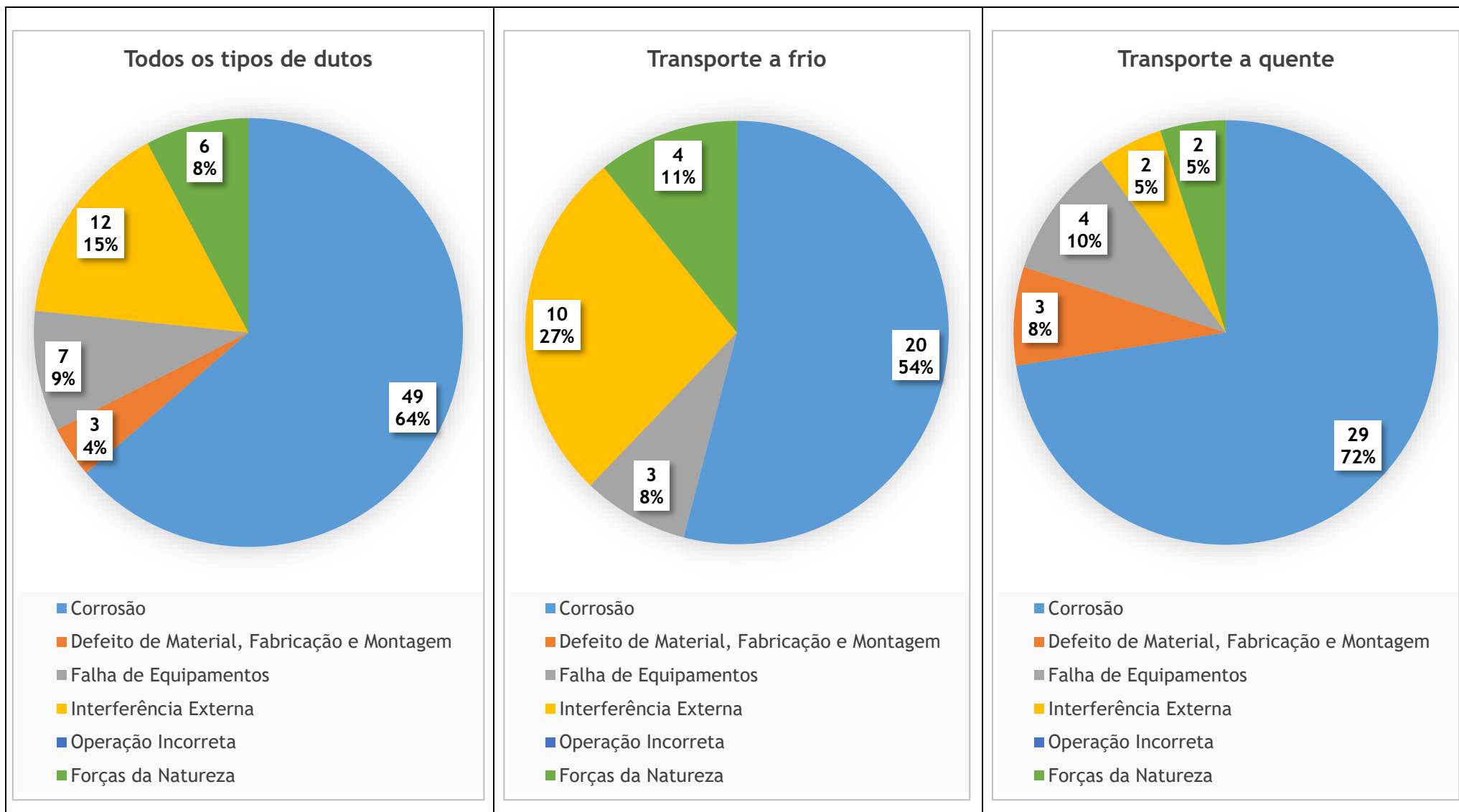


Figura 51 – Distribuição de falhas para a malha de oleodutos em estudo – Período entre 1978 e 2008.
 Fonte: TRANSPETRO.

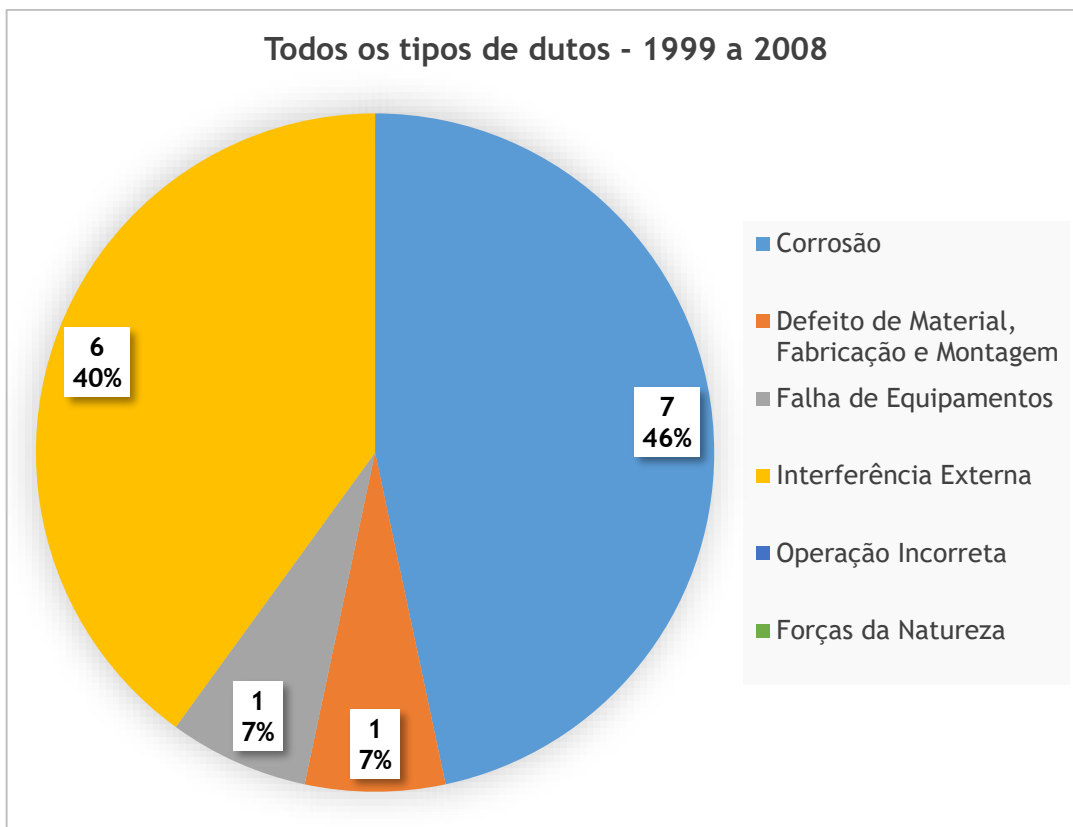


Figura 52 – Distribuição de falhas para a malha de oleodutos em estudo – Período entre 1999 e 2008.
 Fonte: TRANSPETRO

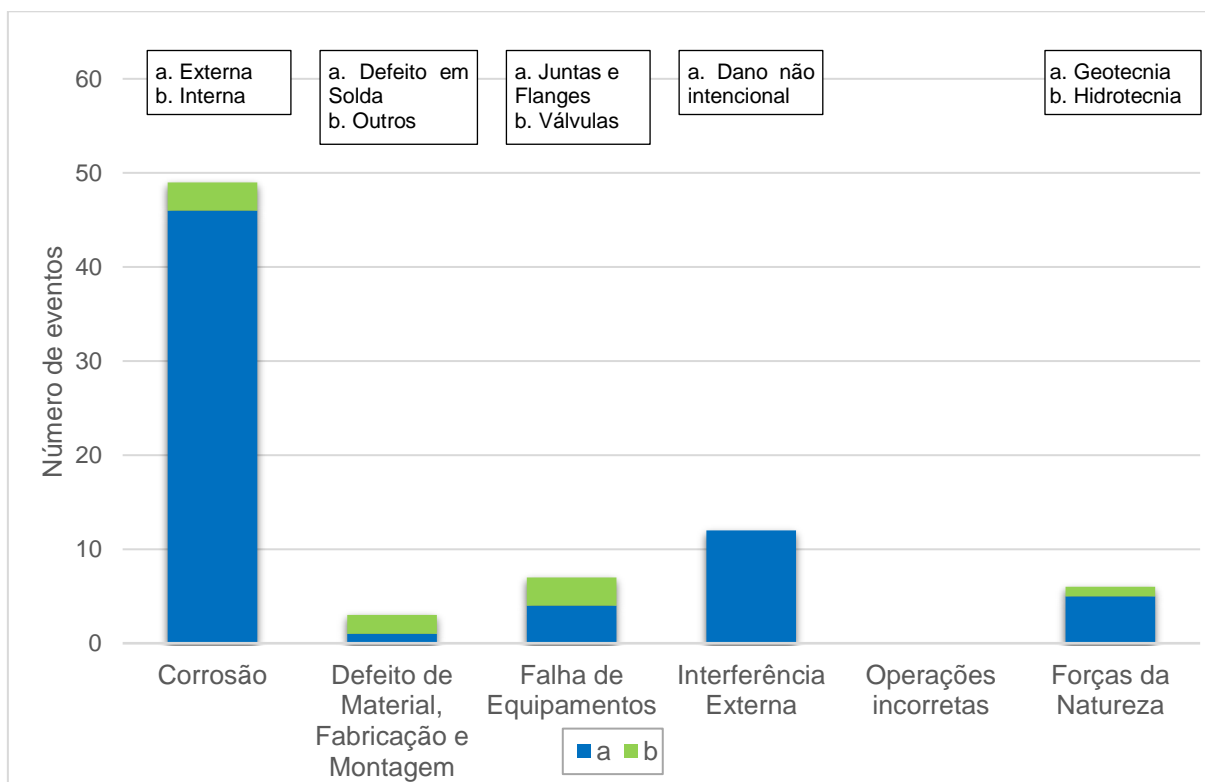


Figura 53 – Quantitativo de falhas específicas – Período entre 1978 e 2008.
 Fonte: TRANSPETRO.

7.2 ESTATÍSTICAS RELACIONADAS À MALHA DUTOVIÁRIA

A Tabela J.2 permite a obtenção de informações específicas sobre a malha dutoviária que compõe o escopo deste trabalho, principalmente no que tange a evolução da extensão da mesma ao longo dos anos (e, conseqüentemente, da sua exposição ao risco). A elaboração destas informações teve como referência os benchmarks europeus, notadamente o EGIG (2018), o UKOPA (2019) e o CONCAWE (2019).

Neste âmbito, o primeiro gráfico mostra, através da Figura 54, a evolução anual do comprimento total da malha desde 1971 até 2008. Este intervalo foi escolhido porque o mesmo contém o intervalo anteriormente adotado para a análise dos eventos, o que permitirá, posteriormente, a estimativa de taxas de falha.

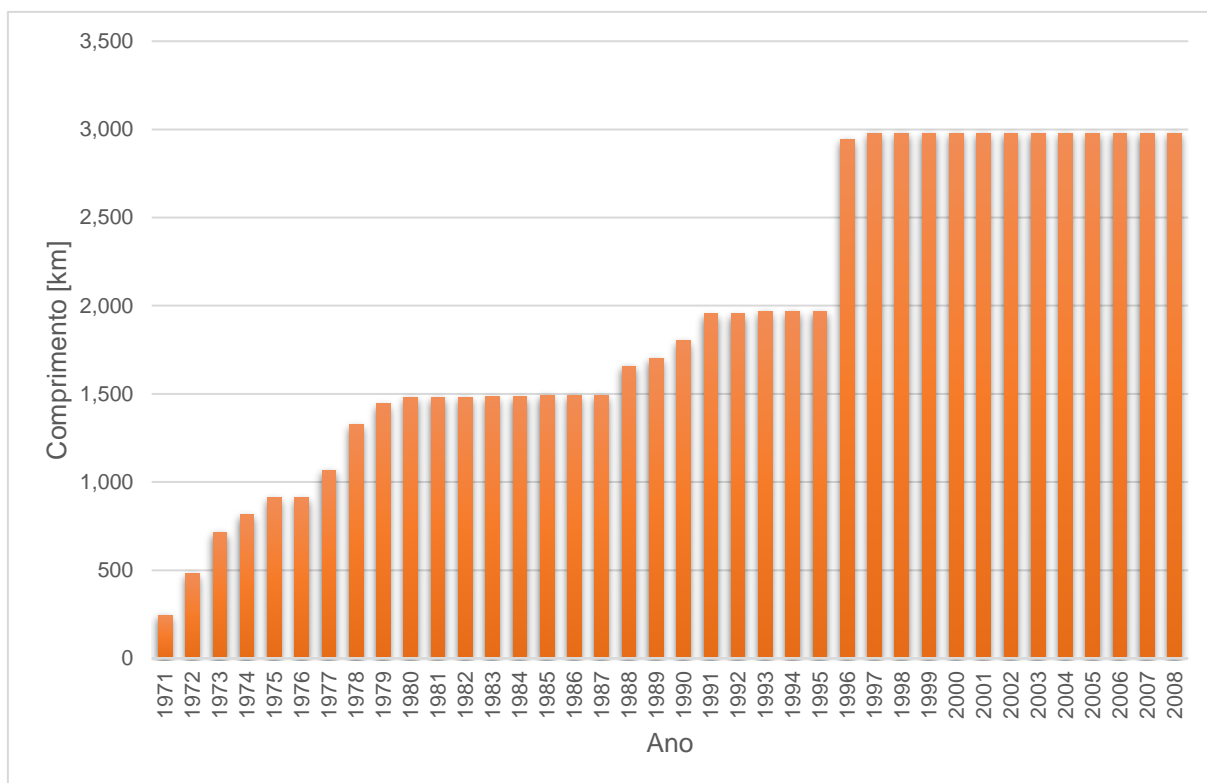


Figura 54 – Evolução anual do comprimento total da malha dutoviária.
Fonte: ANTT.

Através da figura anterior é possível observar que houve um crescimento gradativo da malha durante a década de 70; estagnação na década de 80; novo crescimento no final desta década e no início de 90; e por fim um incremento expressivo no ano de 1996. Após esta data, observou-se nova estagnação até o ano de 2008, totalizando 2.979 quilômetros de dutos.

Já as próximas três figuras apresentam esta mesma informação, porém segregada por tipo de produto transportado pelos dutos (Figura 55), classe de diâmetro (Figura 56) e ano de construção (Figura 57).

A primeira delas evidencia que grande parte da malha de oleodutos em análise é composta por dutos de claros, os quais aumentaram significativamente sua extensão em dois momentos: final da década de 80 e no ano de 1996. Esta última data corresponde ao ano de início de operação do sistema OSBRA, o qual, sozinho, computa quase 1000 quilômetros de dutos. Interessante ressaltar também que a extensão da malha de dutos de petróleo permanece a mesma desde 1979, ocorrendo algo semelhante também com a malha de dutos de escuros (neste caso, estagnação a partir de 1980).

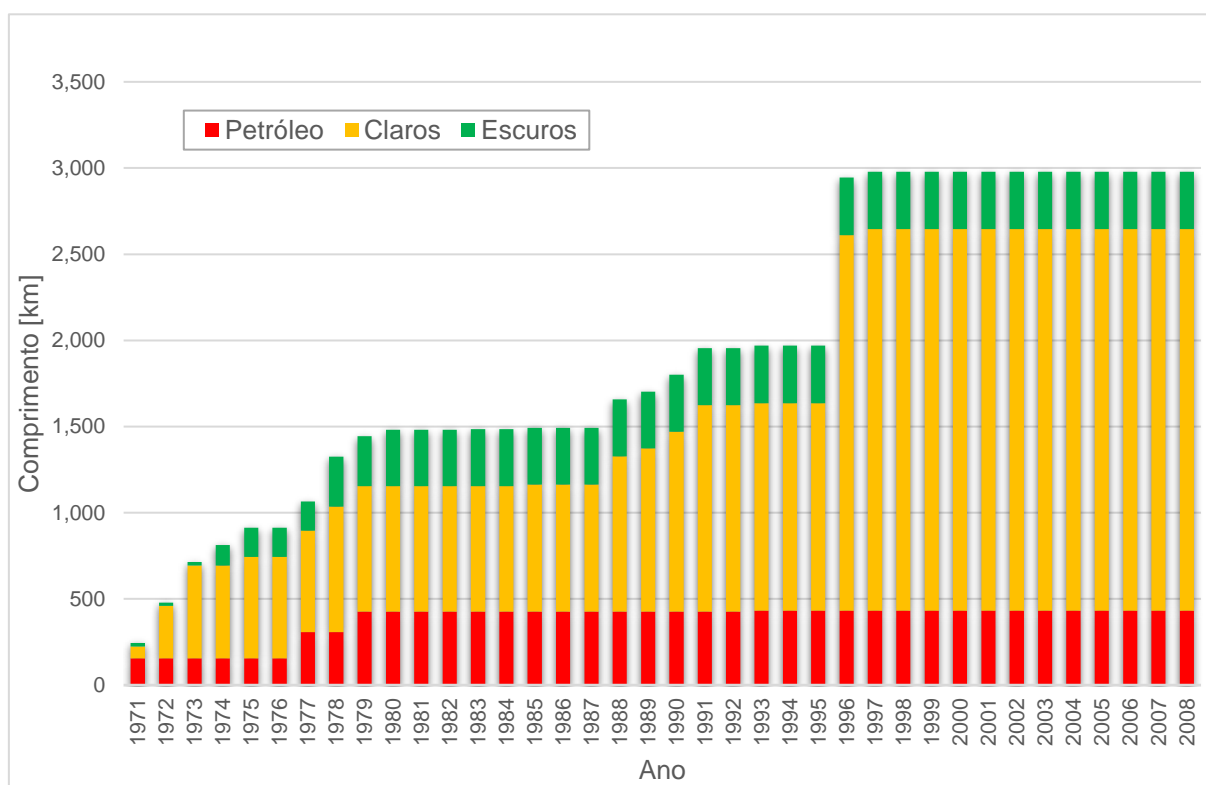


Figura 55 – Exposição da malha dutoviária segregada por tipo de produto transportado.
Fonte: ANTT.

Por sua vez, a segunda figura explicita que grande parte da extensão total é composta por dutos de diâmetros maiores ou iguais a 16, e menores que 24 polegadas. Há uma parcela mínima de ativos na faixa de diâmetro menor que 8 polegadas, seguida pelos dutos entre 8 e 12. Destaca-se também o outro extremo, ou

seja, dutos de grande diâmetro (maiores que 30), os quais correspondem a ativos de transporte de grande quantidade de petróleo para duas importantes refinarias do estado de São Paulo.

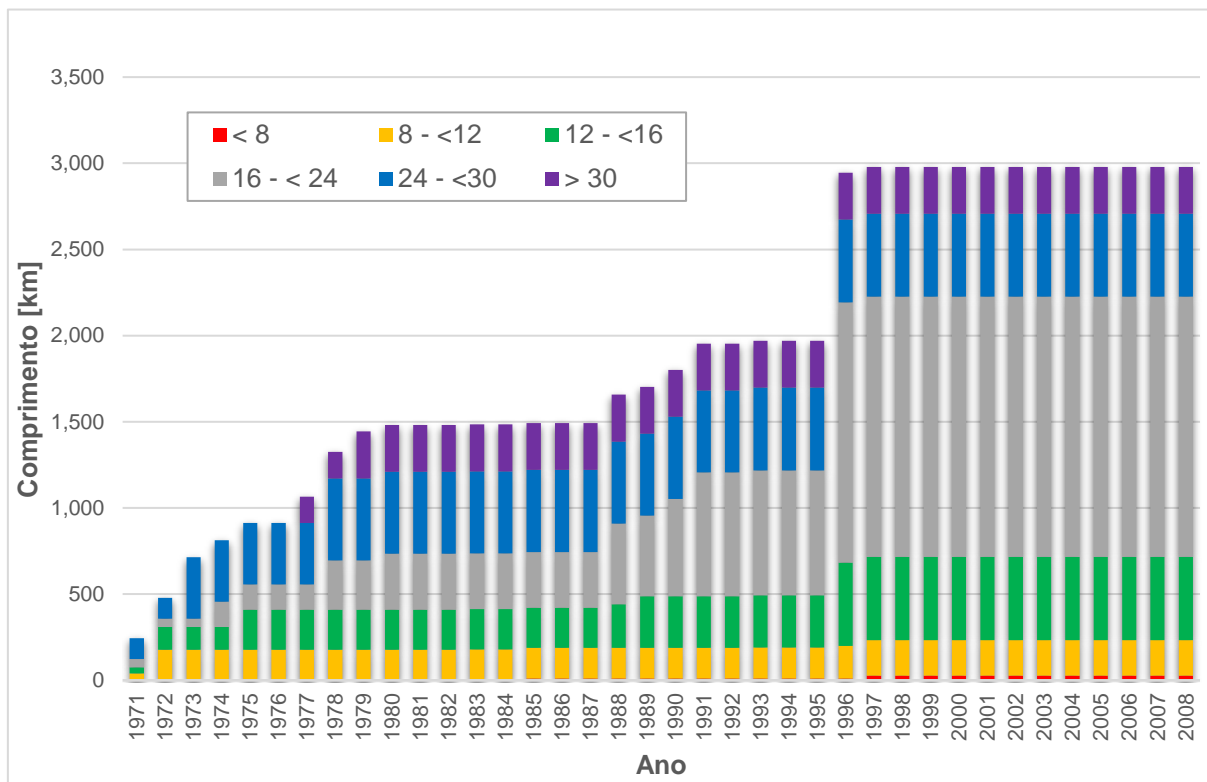


Figura 56 – Exposição da malha dutoviária segregada por classe de diâmetro.
Fonte: ANTT.

A última figura supracitada corrobora a discussão realizada acerca da Figura 54, ou seja, mediante a análise da distribuição referente ao último ano do intervalo percebe-se que a maior parte da malha foi construída nas décadas de 70 e 90, nesta ordem. O crescimento referente à década de 80 é referente aos três últimos anos (1988 a 1990), enquanto que uma parcela relativamente pequena é composta por dutos antigos, construídos nas décadas de 50 e de 60.

Por fim, a Figura 58 foi construída à semelhança do que é apresentado pelo EGIG (2018), a qual mostra a exposição cumulativa da malha ao longo do tempo. Esta exposição cumulativa é calculada, para cada ano, através do somatório da exposição anual deste mesmo ano e dos anos anteriores, culminando com um valor de cerca de 74.000 quilômetros ano em 2008.

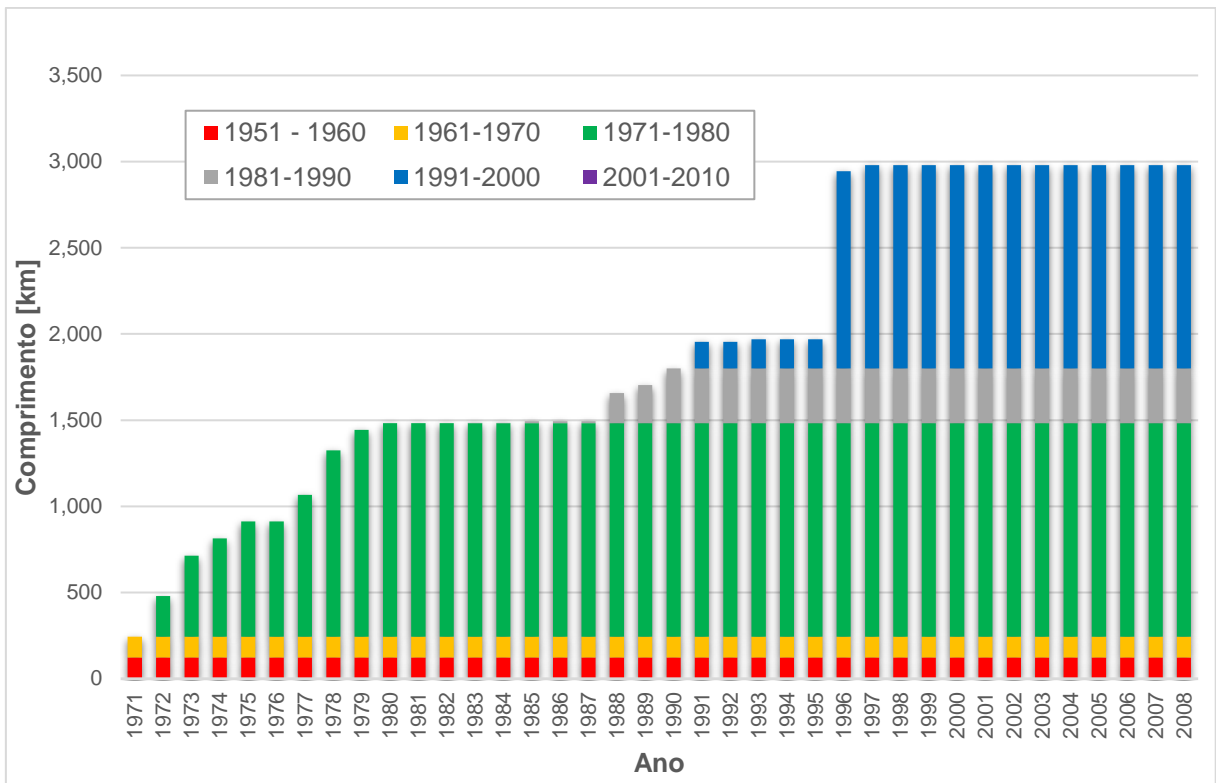


Figura 57 – Exposição da malha dutoviária segregada por ano de construção.
Fonte: ANTT.

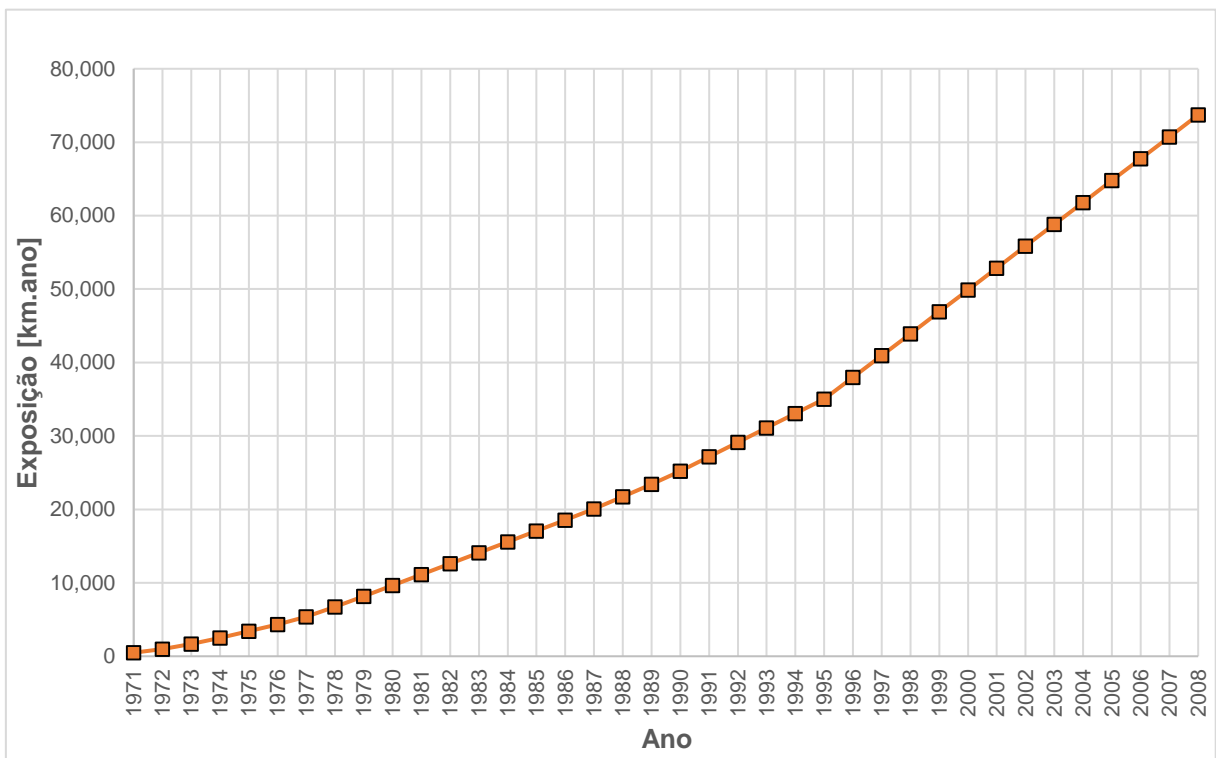


Figura 58 – Evolução da exposição acumulada ao longo do tempo.
Fonte: O próprio autor.

7.3 CÁLCULO DAS TAXAS DE FALHA

De posse dos dados referentes aos eventos de falha e à exposição da malha dutoviária foi possível proceder com os cálculos de taxa de falha dos dutos. Esta métrica é importante de ser obtida porque ela permite a normalização dos dados de falha para comparação com outros bancos de dados, independentemente do tamanho/extensão das suas respectivas malhas.

Conforme Bolt *et al.* (2006) e também estabelecido nos relatórios dos *benchmarks* europeus, para cálculo da taxa de falha é utilizada a seguinte equação:

$$\textit{Taxa de falha} = \frac{\textit{Número de eventos}}{\textit{Exposição (km)} \cdot \textit{tempo (ano)}} \quad (7)$$

Observa-se na literatura que esta equação simples pode ser aplicada de diversas formas, sendo as três mais comuns explicitadas a seguir:

- Taxa de falha anual (pontual): divide-se o número de eventos no ano de análise pelo comprimento total da malha (exposição) naquele mesmo ano;
- Taxa de falha média nos últimos 5 anos, na qual se divide o somatório do número de eventos no ano de análise e dos quatro anteriores, pelo somatório do comprimento total anual da malha também nestes mesmos 5 anos (média móvel);
- Taxa de falha média acumulada, na qual se divide o somatório do número de eventos no ano de análise e dos anos anteriores que compreendem o intervalo de tempo da análise, pelo somatório do comprimento total anual da malha também neste intervalo de tempo.

Neste trabalho foram consideradas estas três métricas, conforme pode ser verificado nas quatro figuras seguintes. A Figura 59 apresenta a taxa média, a qual considera o período total amostral. Já a Figura 60 evidencia a taxa média nos últimos 5 anos, a qual é considerada pelas referências internacionais como sendo a métrica mais representativa. Por sua vez, a Figura 61 mostra o comportamento da taxa anual (pontual), enquanto que a última (Figura 62) consolida estas três métricas em um mesmo gráfico, permitindo a comparação entre elas. A memória de cálculo é disponibilizada no Apêndice J.

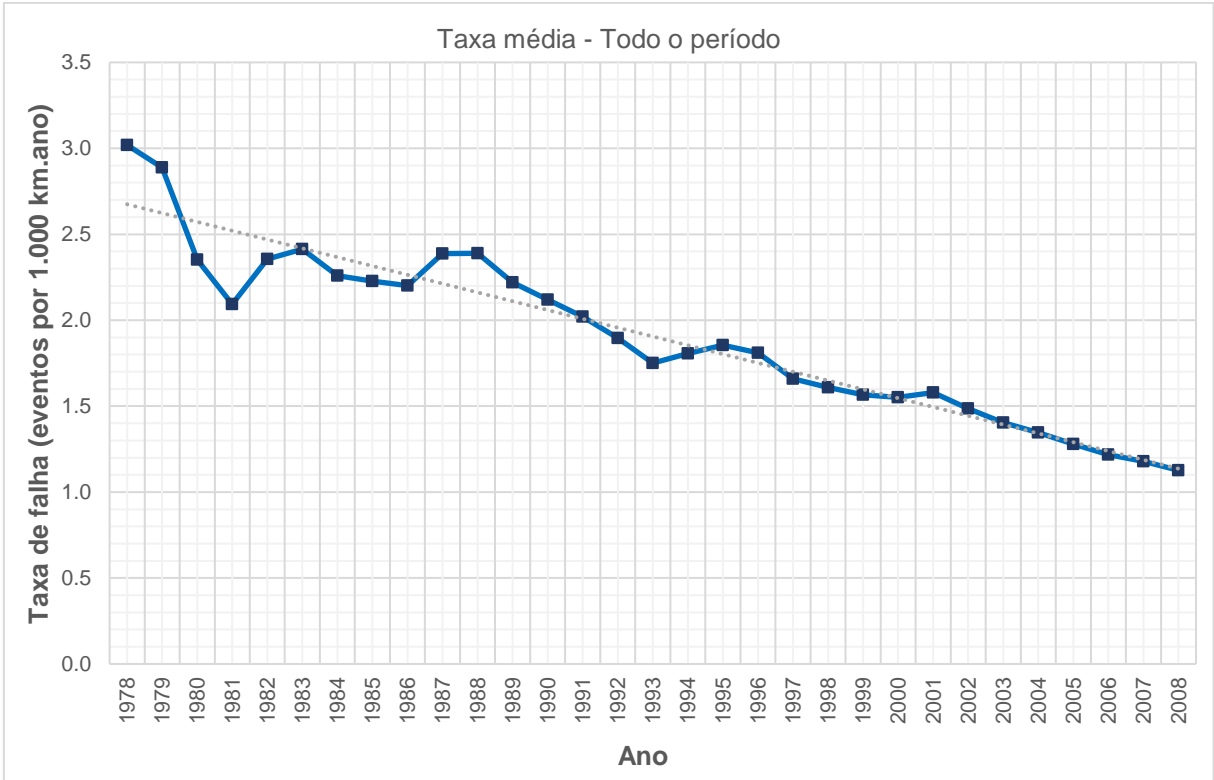


Figura 59 – Taxa de falha média acumulada.
Fonte: O próprio autor.

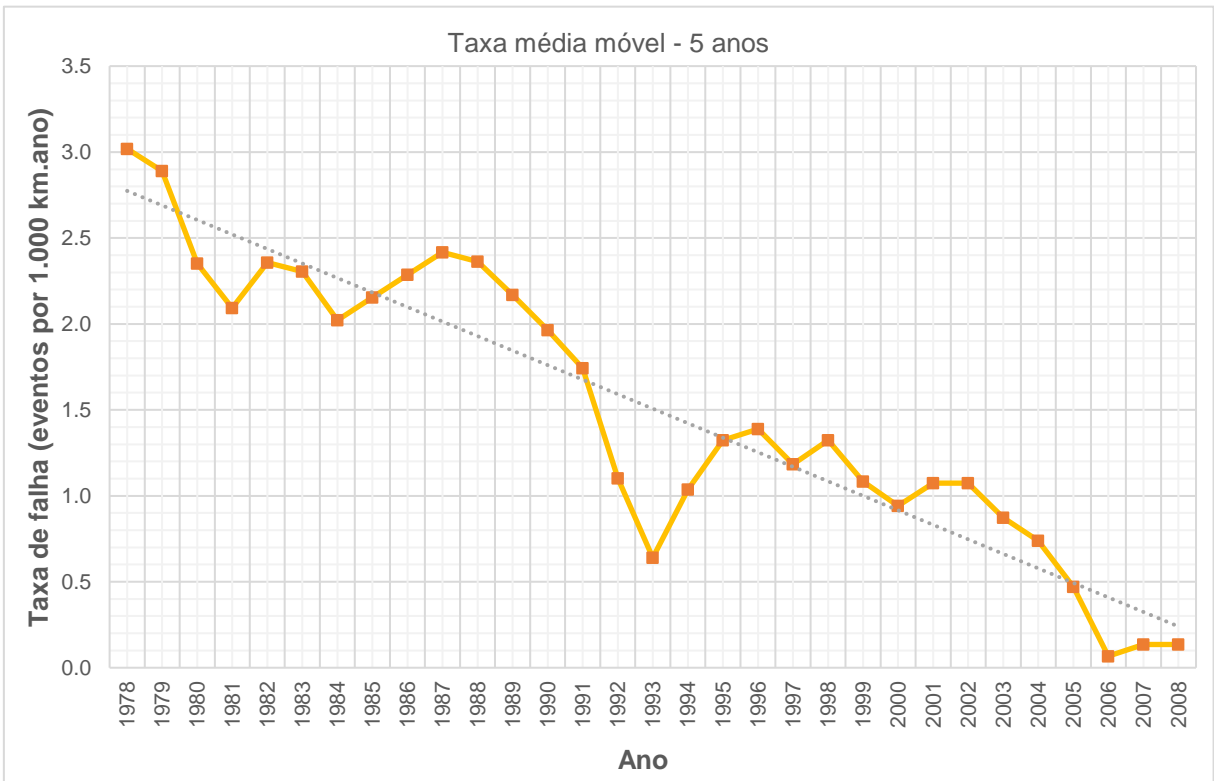


Figura 60 – Média móvel da taxa de falha considerando um intervalo de 5 anos.
Fonte: O próprio autor.

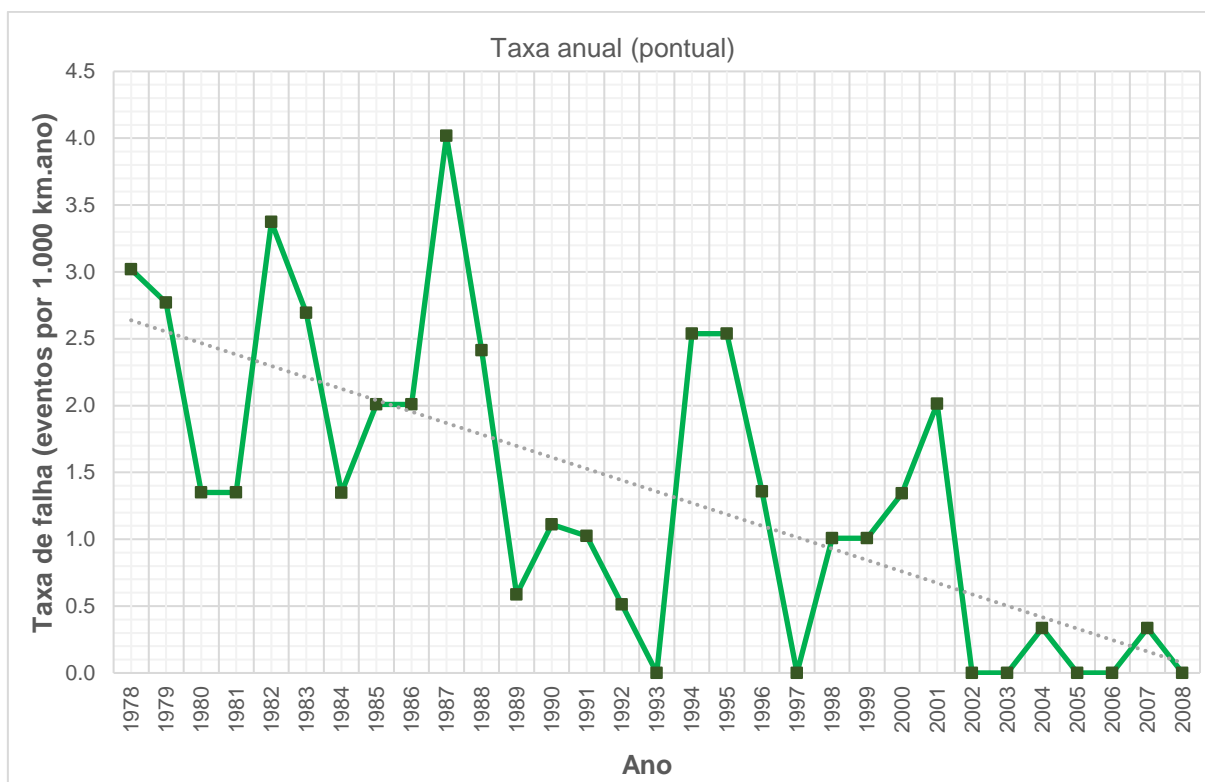


Figura 61 – Taxa de falha anual (pontual).
Fonte: O próprio autor.

Mediante a análise das três curvas verifica-se que a azul, referente à taxa de falha média acumulada, é aquela que possui menor oscilação (conforme esperado), uma vez que sua métrica intrinsecamente considera a memória ao longo do tempo de todas as falhas pretéritas a cada ponto analisado. Antagonicamente, a curva verde, referente à taxa de falha pontual, é aquela que oscila de forma mais acentuada, pois seus dados, ao contrário da anterior, não possuem memória.

Por fim, a curva laranja representa a média móvel da taxa de falha considerando um intervalo de 5 anos, a qual permite uma análise mais precisa da frequência de falha dos dutos em um dado instante de tempo mediante a aplicação de uma métrica mais suave que a taxa pontual, e com menos memória que a taxa média acumulada (a qual carrega informações de falhas que ocorreram desde o início do intervalo).

De qualquer forma, independentemente da métrica, é notória a queda ao longo do tempo da taxa de falha dos dutos pertencentes à malha analisada, conforme evidenciado pelas linhas de tendência tracejadas adicionadas às três últimas figuras.

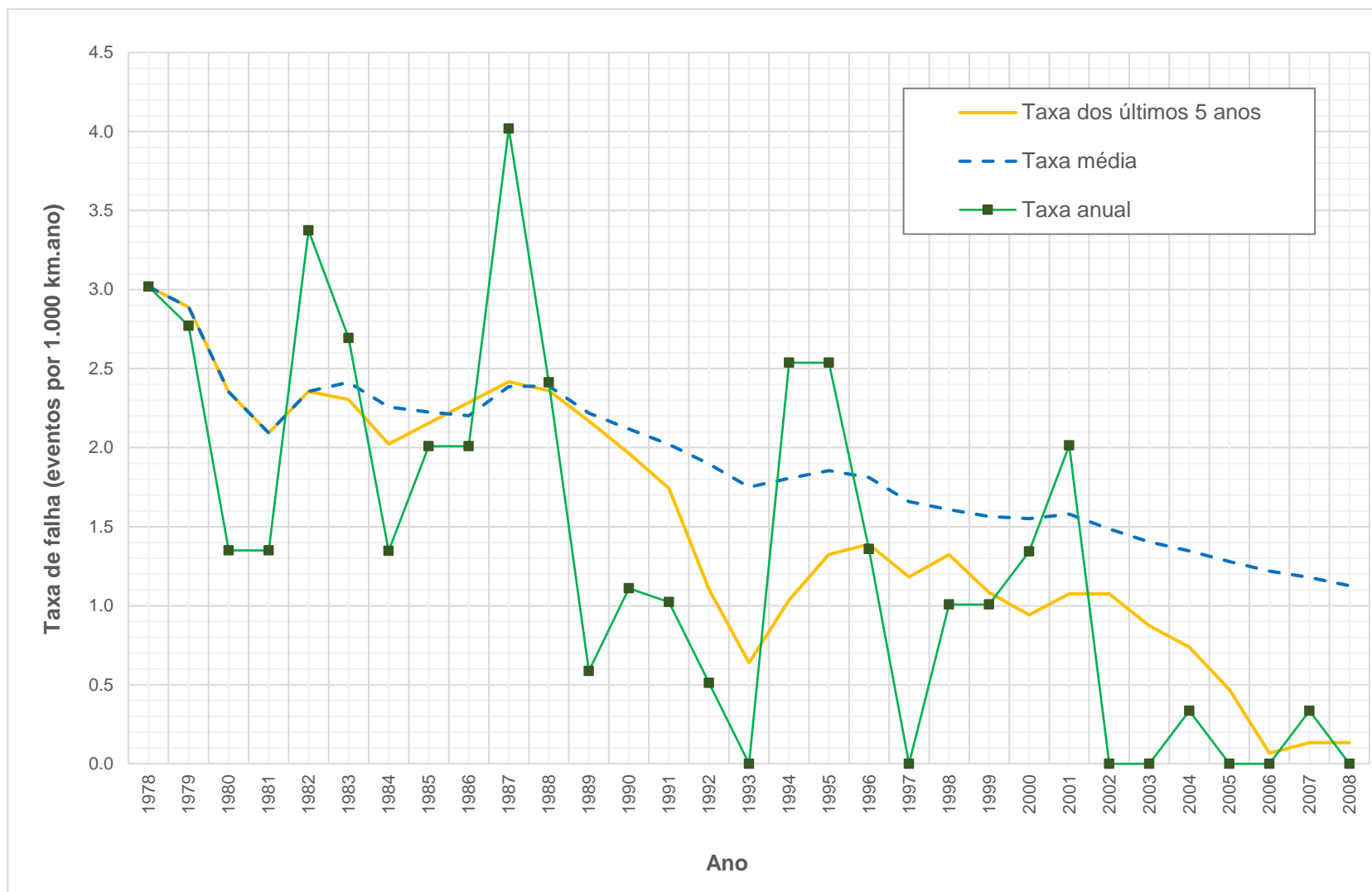


Figura 62 – Comparação das taxas de falha anual, média acumulada e média dos últimos 5 anos.

Fonte: O próprio autor.

Adicionalmente, a observação das curvas verde e amarela permite verificar que existem alguns comportamentos médios interessantes da taxa de falha no período em análise. Primeiramente, observa-se um primeiro patamar entre os anos de 1978 e 1989, no qual a média móvel (curva laranja) oscilou entre 2,0 e 3,0 falhas por 1.000 km.ano. Posteriormente, há um decréscimo desta métrica entre os anos de 1990 e 2001, a qual variou entre 0,60 e 1,70. Finalmente, após este último ano, observa-se uma redução gradativa da taxa de falha, culminando em um valor de 0.13 falhas por 1.000 km.ano em 2008.

Por fim, à semelhança do EGIG (2018), elaborou-se também um gráfico da taxa média acumulada segregada por tipo de categoria de causa, de forma a se visualizar o comportamento de cada uma delas ao longo do tempo. Este gráfico é evidenciado na Figura 63 abaixo.

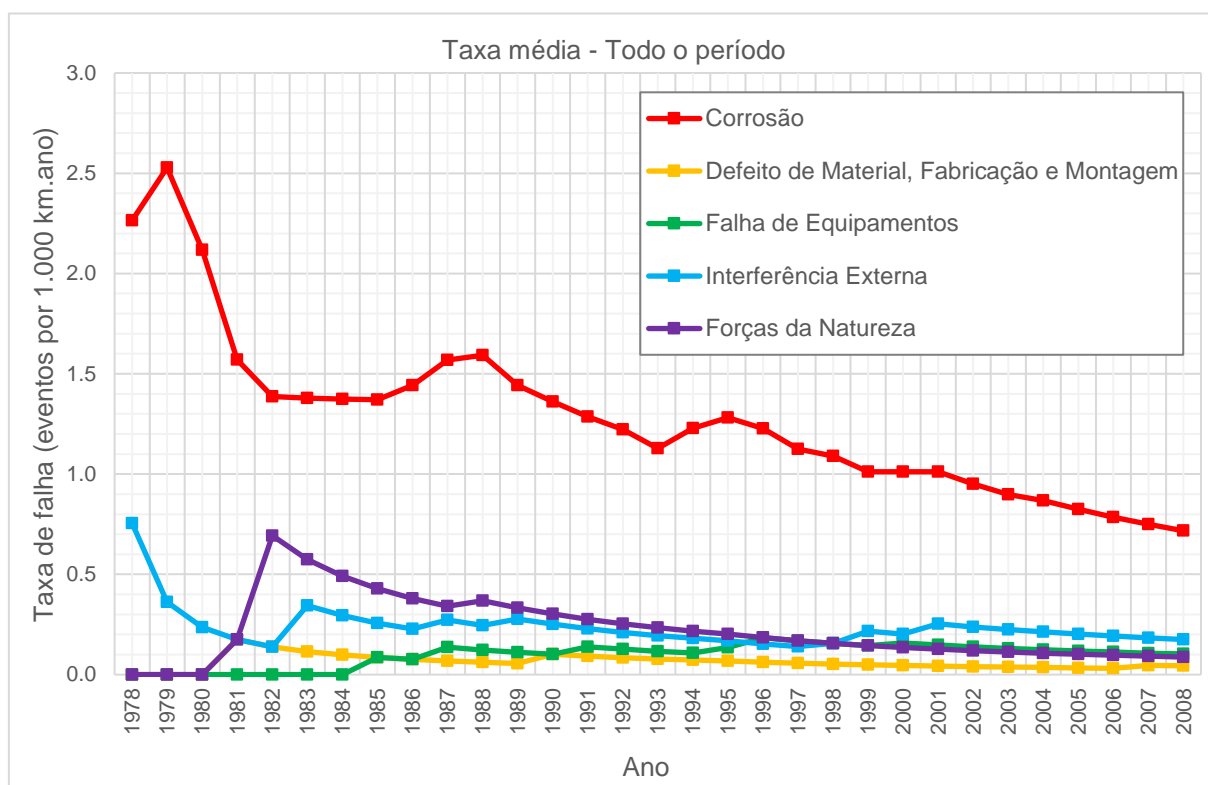


Figura 63 – Taxa de falha média para cada causa de falha.
Fonte: O próprio autor.

Este gráfico confirma as conclusões obtidas a partir da análise da Figura 51, ou seja, considerando todo o histórico, a corrosão é a causa que possui maior participação na distribuição de falhas desta malha dutoviária. Também é possível

perceber um decréscimo cada vez maior da taxa de falha referente a esta causa ao longo do tempo, ao mesmo tempo que se verifica um aumento da participação da causa “interferência externa”, confirmando, desta feita, os resultados apontados pela Figura 52. Por sua vez, a causa “forças da natureza” se mostrou importante no início da década de 80, mas, posteriormente, também apresentou redução significativa ao longo do tempo. As demais causas tiveram importância secundária frente a estas três citadas acima.

A última análise realizada diz respeito à comparação entre as médias móveis da taxa de falha para o ano de 2008 da malha dutoviária e dos *benchmarks* que disponibilizam esta métrica em seus respectivos relatórios. O valor calculado para os dutos brasileiros inclui também intervalos de confiança (95%) estimados supondo que os números de incidentes ao longo do tempo seguem uma distribuição de Poisson (EGIG, 2018), uma vez que estes podem ser considerados eventos discretos, aleatórios e independentes entre si (UKOPA, 2019). A metodologia utilizada para estimativa dos intervalos é apresentada no Apêndice J, enquanto que a comparação citada acima é feita com o auxílio da Tabela 35.

Tabela 35 – Comparação das taxas de falha para o ano de 2008.

Fonte: O próprio autor.

| Fonte | Taxa de Falha 2008 - média móvel 5 anos (1.000 km.ano) | Limite inferior (1.000 km.ano) | Limite superior (1.000 km.ano) |
|----------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| TRANSPETRO | 0.13 | 0.02 | 0.49 |
| CONCAWE (2019) | 0.25 | \ | |
| UKOPA (2019) | 0.07 | | |
| EGIG (2018) | 0.16 | | |

Os dados da tabela acima permitem concluir, primeiramente, que foram obtidos intervalos de confiança amplos para a taxa de falha estimada para os dados brasileiros. Isto é explicado principalmente pelo fato de a extensão da respectiva malha dutoviária ser bastante tímida frente às dos *benchmarks*, por exemplo, o que resulta em um número reduzido de eventos de falha ao longo do tempo e em uma incerteza intrinsecamente maior para os seus valores de taxa de falha.

Neste contexto, a ampliação da malha alvo do futuro banco de dados nacional deve ser um ponto a ser considerado, de forma a serem obtidos resultados com menor nível de incerteza. A inserção das malhas dutoviárias de outros estados, tais como Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Bahia, dentre outros, certamente contribuiria neste sentido.

Porém, independentemente disto, é interessante ressaltar que o valor calculado para os dados brasileiros possui a mesma ordem de grandeza dos números apresentados pelos *benchmarks*, estando estes valores, inclusive, situados dentro dos intervalos de confiança estimados (apesar de amplos). Eventuais ações de aprimoramento da gestão de riscos operacionais tomadas a partir do ano de 2001 pela empresa operadora em questão, as quais, aparentemente, são refletidas na redução da taxa de falha, podem ter resultado em níveis de segurança das operações dos dutos em patamares comparáveis aos dos referidos *benchmarks*, considerando especificamente este último período analisado (2001 a 2008). Destaca-se, também, que esta conclusão só é válida partindo-se da premissa de que não houve subnotificações de falhas por parte da operadora no período analisado, ou seja, considerando-se estritamente os dados fornecidos e apresentados na Tabela J.1.

8. CONCLUSÕES E PRÓXIMOS TRABALHOS

Esta tese buscou contribuir para a construção do conhecimento de segurança operacional mediante a proposição de um banco de dados de falhas para suporte à decisão na área de Gestão de Riscos, aplicável à atividade dutoviária de transporte terrestre de hidrocarbonetos e que possa ser implementado por operadoras de dutos no Brasil.

Neste contexto, a primeira questão de pesquisa, a qual versava sobre os conceitos relacionados à disciplina de segurança de processos que poderiam suportar o atingimento dos objetivos do presente trabalho, foi prontamente respondida através da etapa de revisão da literatura. Ficou evidente que conceitos associados à metodologia Bowtie auxiliaram na posterior organização dos dados de coleta identificados nos bancos de dados internacionais, principalmente no que se refere aos eventos de falha que compõem o escopo (relacionados às suas causas e consequências). Adicionalmente, a proposição de um diagrama Bowtie específico para aprimoramento do gerenciamento dos riscos operacionais associados à atividade dutoviária também foi possível ao final do trabalho tendo como base estes conceitos.

As segunda e terceira questões de pesquisa também foi possível de ser atendida através da etapa da revisão da literatura. A aplicação da metodologia PRISMA possibilitou a identificação dos bancos de dados internacionais previamente existentes na literatura e que foram utilizados como referência durante toda a tese. Mediante a análise dos seus formulários, foi possível entender a estrutura de coleta de dados destes *benchmarks*, levantar quais são os parâmetros de coleta adotados por cada um deles e construir um instrumento temático que direcionou a posterior elaboração do questionário aplicado na pesquisa de campo (o qual foi validado previamente por teste piloto). Constatou-se também que estas referências procedem com o tratamento dos dados coletados basicamente de duas formas: separadamente, obedecendo a classificação dos ativos em oleodutos e gasodutos; e de forma conjunta.

As demais questões foram respondidas mediante a realização da pesquisa de campo e posterior tratamento e análise dos resultados obtidos. As áreas de conhecimento disciplinares envolvidas no processo de coleta de banco de dados de falhas na indústria dutoviária, de forma geral, foram evidenciadas mediante o

levantamento direto promovido pela própria pesquisa, a qual contou com a representatividade de especialistas de doze áreas do conhecimento distintas. As respostas destes profissionais ao questionário foram utilizadas para selecionar as variáveis identificadas nos bancos de dados internacionais que também são aplicáveis à malha dutoviária brasileira, considerando-se para tanto a favorabilidade das opiniões dos especialistas para cada uma das variáveis avaliadas. Esta análise resultou na elaboração de dois formulários de coleta (um referente aos eventos de falha, e outro à malha de dutos) a serem utilizados futuramente como suporte para implementação do banco de dados nacional de falha em dutos.

Além disso, também foi possível concluir após análise específica que a adoção direta das variáveis que possuíram maior frequência de ocorrência no levantamento da literatura não necessariamente coincidiu com a opinião dos especialistas brasileiros da área dutoviária. A análise de correlação entre a arquitetura de coleta resultante da pesquisa e o levantamento dos dados mais frequentemente coletados pelos *benchmarks* internacionais apontou a existência de correlação estatisticamente significativa, porém fraca entre os dois conjuntos de dados. Este resultado, portanto, corrobora a necessidade da realização de todo o trabalho em questão.

Também foi possível constatar através da aplicação de testes de hipóteses apropriados que não há evidências estatísticas que indiquem distinção entre as opiniões de profissionais pertencentes a diferentes tipos de instituição no que diz respeito à gestão do banco de dados nacional. Por outro lado, foi possível demonstrar divergências de julgamento entre profissionais de diferentes tempos de experiência para algumas das variáveis alvo de análise. Em boa parte dos casos, foi observada discordância entre participantes pertencentes aos extremos, ou seja, entre profissionais mais experientes e menos experientes.

Adicionalmente, foi apresentado um histórico de falhas (período entre 1978 e 2008) obtidos junto à TRANSPETRO, referentes à malha de oleodutos instalados em São Paulo, incluindo também trechos de dutos que se originam neste estado e adentram outras unidades da federação. O estudo e conseqüente tratamento estatístico dos dados permitiu a obtenção de algumas das métricas que são usualmente apresentadas por relatórios dos *benchmarks*, tendo sido possível

constatar que a corrosão possui a maior participação na distribuição de causas de falha dos dutos durante todo o período amostral frente todas as demais possíveis. Entretanto, percebe-se um aumento gradual da parcela associada à “interferência externa” ao longo do tempo.

Ainda sobre estes dados, é perceptível o comportamento de queda ao longo do tempo da taxa de falha dos dutos, culminando com a verificação de que a taxa de falha média móvel dos últimos 5 anos referente à 2008 obtida para a malha brasileira possui a mesma ordem de grandeza dos valores equivalentes para as referências internacionais. Entretanto, o intervalo de confiança deste valor se apresentou bastante amplo, o que remete ao fato de a extensão da respectiva malha dutoviária ser bastante tímida frente às dos *benchmarks*, por exemplo, o que resulta em um número reduzido de eventos de falha ao longo do tempo e em uma incerteza intrinsecamente maior para os seus valores de taxa de falha.

Por fim, destaca-se também que o estudo do histórico de falhas da operadora brasileira permitiu demonstrar, de forma prática, que os resultados desta tese possuem total aplicabilidade e podem ser utilizados para os propósitos delineados pelos objetivos do trabalho.

8.1 TRABALHOS FUTUROS

Como primeira proposta de trabalho futuro, sugere-se a criação no país de um banco de dados de falha aplicável a dutos terrestres, tendo como subsídio todo o material produzido nesta tese. Atualmente, algumas iniciativas já vêm sendo implementadas com este objetivo, destacando-se as tratativas do Centro de Tecnologia de Dutos (CTDUT) junto a empresas operadoras brasileiras. O CTDUT já demonstrou interesse na utilização dos formulários elaborados neste trabalho, e apresentados no Apêndice H, como referência para a coleta de dados de falha (futuros e pretéritos) das operadoras que eventualmente venham a aderir a este movimento.

Além disso, o trabalho realizado a partir do histórico de falha da TRANSPETRO pode ser utilizado como ponto de partida para a criação do banco de dados nacional, porém entende-se como necessária a ampliação da malha de forma a serem obtidos resultados de taxa de falha com menor nível de incerteza. A inserção das malhas de

oleodutos de outros estados, tais como Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Bahia, dentre outros, certamente contribuiria neste sentido, bem como a inclusão da malha de gasodutos.

Por último, entende-se como oportuna a realização de estudos de análise de risco dinâmica baseados no diagrama bowtie proposto e na sua conversão em redes Bayesianas para estimativa de métricas relacionadas à gestão de risco operacional dos dutos, tendo como base as taxas de falha a serem produzidas pelo banco de dados nacional a ser implementado (“dados *a priori*”) e informações adicionais geradas pelos operadores. Embora a metodologia bowtie seja intrinsecamente estática (Khan et al., 2015), a sua associação a redes Bayesianas permite a sinergia de características relevantes de ambos os métodos, tais como a habilidade de se modelar sistemas complexos de forma gráfica e facilmente compreensível; a capacidade de representar a dependência condicional entre eventos; e a realização de análises dinâmicas e preditivas (George et al., 2021), suportando, por fim, a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHEBE, C.H.; Nneke, U.C.; Anisiji, O.E. Analysis of Oil Pipeline Failures in the Oil and Gas Industries in the Niger Delta Area of Nigeria. Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists – IMECS. Hong Kong. March, 2012.
2. ALMEIDA, D.; Santos, M.A.R.; Costa, A.F.B. Aplicação do coeficiente alfa de Cronbach nos resultados de um questionário para avaliação de desempenho da saúde pública. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, Brasil. Outubro, 2010.
3. ALOQAILY, A. Cross Country Pipeline Risk Assessments and Mitigation Strategies. United Kingdom: Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2018.
4. ALVES, D.T.S.; Medeiros, J.L.; Araújo, O.Q.F. Optimal determination of chemical plant layout via minimization of risk to general public using Monte Carlo and Simulated Annealing techniques. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Elsevier, 2016, **41**:202-214 <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.03.026>.
5. ALVES, D.; Bahiense, A.; Bastos, M.; Borges, C.; Lima, G. A Brazilian Pipeline Incident Database – The Petrobras and Transpetro Initiative. Proceedings of the 12nd International Pipeline Conference. Calgary, Canada. September, 2018.
6. AMYOTTE, P.R.; Lupien, C.S. Elements of Process Safety Management. Methods in Chemical Process Safety. London, United Kingdom: Academic Press, Elsevier, 2017.
7. DE ALVARENGA, A.T.; Philippi Jr., A.; Sommerman, A.; Alvarez, A.M.S; Fernandes, V. Histórico, fundamentos filosóficos e teórico-metodológicos da interdisciplinaridade. Interdisciplinaridade em Ciência, Tecnologia & Inovação. Barueri, Brasil: Manole, 2011.
8. ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural (RTDT). Rio de Janeiro, 2011.
9. ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. Segurança Operacional e MEIO Ambiente, Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente>>, Acesso em 2019.
10. ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. Boletim Anual de Incidentes em Infraestruturas de Movimentação [2019]. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/arquivos/publicacoes/boletins-anp/infraestrutura/boletim-coi-incidentes-2019.pdf>>, Acesso em 2020.
11. ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres – AETT/2009. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2009/3.1.1.asp>, Acesso em 2021.
12. API – American Petroleum Institute. ANSI/API RP 750 Management of Process Hazards. Washington, DC, 1990.
13. API – American Petroleum Institute. ANSI/API RP 754 Process safety performance indicator for the refining and petrochemical industries (2nd ed.). Washington, DC, 2016.

14. APIA – The Australian Pipeline Industry Associates. APGA POG Incident Database – Version 2 – General Information & Event Entry PDF's, 2020. Disponível em: <<https://www.apga.org.au/resources/pipeline-incident-database>>, Acesso em 2020.
15. APIA – The Australian Pipeline Industry Associates. Experience with the Australian / New Zealand Pipeline Incident Database, 2018. Disponível em: <https://www.apga.org.au/sites/default/files/uploaded-content/field_f_content_file/colin_symonds_pipeline_integrity_specialist_0.pdf>, Acesso em 2020.
16. ASME – The American Society of Mechanical Engineers. Managing System Integrity: ASME Code for Pressure Piping B31 – Supplement to ASME B31.8, 2016.
17. AS/NZS – Australian/NeoZealand Standards. Pipelines – Gas and liquid petroleum, Part 6: Pipeline safety management – Supplement to AS/NZS 2885.0, 2018.
18. AYRE, C.; Scally, A.J. Critical Values for Lawshe's Content Validity Ratio: Revisiting the Original Methods of Calculation. *Measurement and Evaluation in Counselling and Development*. SAGE, 2015, **47**:79-86 <https://doi.org/10.1177/0748175613513808>.
19. AZIZ, W. Predict Incidents with Process Safety Performance Indicators. *Chemical Engineering Process (CEP) Magazine*. American Institute of Chemical Engineers (AIChE), February 2016. Disponível em: <<https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2016/february/predict-incidents-process-safety-performance-indicators>>, Acesso em 04/10/2019 às 20:00h.
20. BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.
21. BIEZMA, M.V.; Andrés, M.A.; Agudo, D.; Briz, E. Most fatal oil & gas pipeline accidents through history: A lessons learned approach. *Engineering Failure Analysis*. Elsevier, 2020, **110**:104446 doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104446.
22. BOLT, R.; Hilgenstock, A.; Kolovich, C.; Velez Vega, D.; Cappanera, A.; Rasmussen, O. Report of Study Group 3.4 – “A Guideline for Using or Creating Incident Databases for Natural Gas Transmission Pipelines”. 23rd World Gas Conference. Amsterdam, The Netherlands. June, 2006. Disponível em: <https://www.egig.eu/reports>, Acesso em 07/10/2019 às 12:00h.
23. BONAR, C.; Tuft, P. The Australian experience with the pipeline incident database. 2009 APIA Convention. Australia, 2009.
24. BONVICINI, S.; Antonioni, G.; Morra, P.; Cozzani, V. Quantitative assessment of environmental risk due to accidental spills from onshore pipelines. *Process Safety and Environmental Protection*. Elsevier, 2015, **93**:31-49 doi: 10.1016/j.psep.2014.04.007.
25. BRAGA, C.V.M.; Silveira, T.L. *Segurança Operacional e Agentes Reguladores*. Engenharia de Dutos. Rio de Janeiro, Brasil: ABCM, 2009.
26. BSI – British Standards Institution. Pipeline System – Part 3: Steel Pipeline on Land – Guide to application of pipeline risk assessment to proposed developments in the vicinity of major accident hazard pipelines containing flammables – Supplement to PD 8010-1:2004, 2013.
27. CALEYO, F.; Alfonso, L. Pipeline failure rates – Conclusion: Pipeline grouping method improves aggregate data. *Oil&Gas Journal*. November, 2006.

28. CAMACHO, J.G.R.; Carbone, F.; Pastor, E.; Bubbico, R; Casal, J. Assessing the consequences of pipeline incidents to support land-use planning. *Safety Science*. Elsevier, 2017, **97**:34-42 doi: 10.1016/j.ssci.2016.01.021.
29. CCPS – Center for Chemical Process Safety. *Process Safety Leading and Lagging Metrics. You Don't Improve What You Don't Measure*. AIChE, New York. 2011.
30. CCPS – Center for Chemical Process Safety. *Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco*. 1ª ed. Rio de Janeiro, Brasil: Interciência, 2014.
31. CCPS – Center for Chemical Process Safety. *Bow Ties in Risk Management – A Concept Book for Process Safety*. CCPS in association with the Energy Institute. New York, USA and London, UK, 2018.
32. CCPS – Center for Chemical Process Safety. *Indicadores de Segurança de Processo – Guia de Seleção de Indicadores Proativos e Reativos*. Versão 3.1. Salvador, Brasil: Tradução realizada pela RSE Consultoria, 2019.
33. CEFIC – European Chemical Industry Council. *Guidance on Process Safety Performance Indicators (Brussels)*. 2011.
34. CER – Canadian Energy Regulator. *Pipeline Incident Data, 2020*. Disponível em: < <https://www.cer-rec.gc.ca/open/incident/pipeline-incidents-data.csv>>, Acesso em 2020.
35. CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *O que são os dutos e que tipo de substâncias transportam? Emergências Químicas*. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/introducao-dutos/>>, Acesso em: 31/05/2019 às 01:30h.
36. CHRISTMANN, A.; Van Aelst, S. Robust estimation of Cronbach's alpha. *Journal of Multivariate Analysis*. Elsevier, 2006, **97**:1660-1674 <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2005.05.012>.
37. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE; *Resolução Conama 001*. Brasília, 1986.
38. CONCAWE – ENVIRONMENTAL SCIENCE FOR EUROPEAN REFINING. *Performance of European cross-country oil pipelines - Statistical summary of reported spillages in 2017 and since 1971*. Report no. 3/19. June, 2019.
39. CRESWELL, J. W. *Projeto de Pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. Tradução: Magda França Lopes. Consultoria, supervisão e revisão técnica: Dirceu da Silva. 3 ed. Porto Alegre. Editora: Artmed, 2010.
40. CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 1951, **16(3)**:297-334.
41. CSA – Canadian Standards Association. *CSA-Z662-15, Oil and gas pipeline systems*, Toronto, Ontario, Canada: CSA Group, 2015.
42. CSChE – Canadian Society of Chemical Engineering. *Process Safety Management Standard*. (1st ed). Ottawa, Canada, 2012.

43. CUNHA, S.B. Comparison and Analysis of Pipeline Failure Statistics. Proceedings of the 9th International Pipeline Conference. Calgary, Canada. September, 2012.
44. CUNHA, S.B. A review of quantitative risk assessment of onshore pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Elsevier, 2016, **44**:282-298 doi: 10.1016/j.jlp.2016.09.016.
45. DAI, L.; Wang, D.; Wang, T.; Feng, Q.; Yang, X. Analysis and Comparison of Long-Distance Pipeline Failures. Journal of Petroleum Engineering. Hindawi, 2017, Article ID 3174636, <https://doi.org/10.1155/2017/3174636>.
46. DE PAULA, A. Roubo de combustível causa tragédia no México e evidencia o perigo da ação de criminosos. Combustível Legal. Disponível em: <<http://www.combustivellegal.com.br/roubo-de-combustivel-causa-tragedia-no-mexico-e-evidencia-o-perigo-da-acao-de-criminosos/>>, Acesso em: 31/05/2019 às 02:00h.
47. DELVOSALLE, C.; Fievez, C.; Pipart, A.; Debray, B. ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. Journal of Hazardous Materials. Elsevier, 2006, **130**:200-219 doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.07.005014.
48. DUNN, O.J. Multiple comparisons using rank sums. Technometrics, v.6, n.3, p.241-252 1964.
49. ELMASRI, R.; Navathe, S.B. Fundamentals of Database Systems. 7th Edition. Boston, USA: Pearson Education, 2016.
50. European Commission. Council Directive 82/501/EEC of 24 June 1982 on the Major-accident Hazards of Certain Industrial Activities. Official Journal of the European Communities L230/25. Brussels, Belgium, 1982.
51. European Commission. Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the Control of Major-accident Hazards Involving Dangerous Substances. Official Journal of the European Communities L10/13. Brussels, Belgium, 1997.
52. European Commission. European Parliament and Council Directive 2012/18/EU of 4 July 2012 on Control of Major-accident Hazards Involving Dangerous Substances, Amending and Subsequently Repealing Council Directive 96/82/EC. Brussels, Belgium, 2012.
53. EGIG – EUROPEAN GAS PIPELINE INCIDENT DATA GROUP. Gas Pipeline Incidents 8th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2016). Report Number 17.R.0395. March, 2018.
54. EPSC – European Process Safety Centre. Safety Critical Measures. Report 33, Brussels. 2012.
55. ESFORD, F.; Porter, M.; Savigny, K.W. A Risk Assessment Model for Pipelines Exposed to Geohazards. International Pipeline Conference. Calgary, Canada. October, 2004.
56. ESMAP – ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANCE PROGRAMME. Russia Pipeline Oil Spill Study. April, 2003.
57. EVANS, K.S., Hanson, A., Sunday, C., Leonard, N., Tumminello, M. Analysis of pipeline accidents in the United States from 1968 to 2009. International Journal of Critical

- Infrastructure Protection. Elsevier, 2014, 7:257-269. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcip.2014.09.002>.
58. FANDRICH, D. Pipeline Operators from Europe, Latin America, Asia and Africa Exchanged Views on Illegal Tapping at ptc 2019 in Berlin. Pipeline Technology Journal, 2019, Disponível em: <<http://www.pipeline-journal.net/news/pipeline-operators-europe-latin-america-asia-and-africa-exchanged-views-illegal-tapping-ptc>>, Acesso em: 31/05/2019 às 02:10.
 59. FAVERO, L. P., Belfiore, P. Data Science for Business and Decision Making. 1. ed. United Kingdom, Elsevier, 2019.
 60. FINK, J. Guide to the Practical Use of Chemicals in Refineries and Pipelines. United Kingdom: Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2016.
 61. FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective international. International Journal of Operations & Production Management, 22:152-194, 2002.
 62. GEORGE, P.G.; Renjith, V.R. Evolution of Safety and Security Risk Assessment methodologies towards the use of Bayesian Networks in Process Industries. Process Safety and Environmental Protection. Elsevier, 2021, 149:758-775. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pesp.2021.03.031>.
 63. GOMES, M.G.F.M. Prefácio. Engenharia de Dutos. Rio de Janeiro, Brasil: ABCM, 2009.
 64. GOODFELLOW, G.D.; Haswell, J.V.; Jackson, .N.W.; Ellis, R. Revision to the UK Pipeline Quantitative Risk Assessment Guidelines IGEM/TD/2 and PD 8010-3. Proceedings of the 10nd International Pipeline Conference. Calgary, Canada. October, 2014.
 65. GUO, S.; Zhong, S.; Zhang, A. Privacy-preserving Kruskal-Wallis test. Computer Methods and Programs in Biomedicine. Elsevier, 2013, 112:135-145 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.05.023>.
 66. HSE – Health and Safety Executive. Developing process safety indicators - A step-by-step guide for chemical and major hazard industries. 1st edition. London, United Kingdom, 2006.
 67. HSE – Health and Safety Executive. The Control of Major Accident Hazards (COMAH) Regulations. 3rd edition. London, United Kingdom, 2015.
 68. HOPKINS, A. Thinking about process safety indicators. Safety Science. Elsevier, 2009, 47:460-465 doi:10.1016/j.ssci.2007.12.006.
 69. HOPKINS, P. The Structural Integrity of Oil and Gas Transmission Pipelines. Newcastle upon Tyne, United Kingdom: Elsevier, 2003.
 70. IGEM – INSTITUTION OF GAS ENGINEERS AND MANAGERS. Assessing the risks from high pressure natural gas pipelines. IGEM/TD/2 Edition 2. Kegworth: Institution of Gas Engineers and Managers, 2013.
 71. IOGP – International Association of Oil & Gas Producers. Asset Integrity e the Key to Managing Major Incident Risks. Report 415. 2008.

72. IOGP – International Association of Oil & Gas Producers. Process Safety, Recommended Practice on Key Performance Indicators. Report 456, November, London. 2011.
73. JANTSCH, A.P.; Bianchetti, L. Interdisciplinaridade: para além da filosofia do sujeito. Petrópolis: Vozes, 1997.
74. KHAN, F.; Hashemi, S.J. Introduction. Methods in Chemical Process Safety. London, United Kingdom: Academic Press, Elsevier, 2017.
75. KHAN, F.; Hashemi, S.J.; Paltrinieri, N.; Amyotte, P.; Cozzani, V.; Reniers, G. Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management. Current Opinion in Chemical Engineering. Elsevier, 2016, **14**:9-17 <http://dx.doi.org/10.1016/j.coche.2016.07.006>.
76. KHAN, F.; Rathnayaka, S.; Ahmed, S. Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. Process Safety and Environmental Protection. Elsevier, 2015, **98**:116-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pesp.2015.07.005>.
77. LAKATOS, E. M.; Marconi, M. A. Fundamentos de Metodologia Científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
78. LAWSHE, C.H. A Quantitative Approach to Content Validity. Personnel Psychology. Purdue University, 1975, **28**:563-575.
79. LYONS, C.J. Development of Failure Frequency, Shelter and Escape Models for Dense Phase Carbon Dioxide Pipelines. Newcastle Upon Tyne, United Kingdom: Thesis Submitted for the Qualification of Doctor of Philosophy, Newcastle University, 2015.
80. MENDES, P.A.S.; Hall, J.; Matos, S.; Silvestre, B. Reforming Brazil's offshore oil and gas safety regulatory framework: Lessons from Norway, the United Kingdom and the United States. Energy Policy. Elsevier, 2014, **74**:443-453 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.014>.
81. MENON, E.S. Transmission Pipeline Calculations and Simulations Manual. United Kingdom: Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2015.
82. MISHRA, D.; Agrawal, K.K.; Abbas, A.; Srivastava, R.; Yadav, R.S. PIG [Pipeline Inspection Gauge]: An Artificial Dustman for Cross Country Pipelines. International Conference on Pervasive Computing Advances and Applications – PerCAA 2019. Elsevier, 2019, **152**:333-340 doi 10.1016 /j.procs.2019.05.009.
83. MOHER D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D. G. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. Tradução: Taís Freire Galvão e Thais de Souza Andrade Pansani; retro-traduzido por: David Harrad. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, v. 24, n. 2, p. 335-342, June 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ress/v24n2/2237-9622-ress-24-02-00335.pdf>>. Acesso em 06 out. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>. Título original: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. Disponível em: www.prisma-statement.org.
84. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 2005. Facilitating Interdisciplinary Research. Washington, DC: The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/11153>.

85. NDIMELE, P.E.; Saba, A.O.; Ojo, D.O.; Ndimele, C.C.; Anetekhai, M.A.; Erundu, E.S. Remediation of Crude Oil Spillage. The Political Ecology of Oil and Gas Activities in the Nigerian Aquatic Ecosystem. Elsevier, 2018, 369-384 <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-809399-3.00024-0>.
86. NEB – NATIONAL ENERGY BOARD CANADA. Focus on Safety and Environment - A comparative Analysis of Pipeline Performances 2000-2009. December, 2011.
87. NEB – NATIONAL ENERGY BOARD CANADA. Pipeline Performance Measures – 2016 Data Report. January, 2019.
88. NIELSEN, D. The Cause/Consequence Diagram Method as a Basis for Quantitative Accident Analysis. Danish Atomic Energy Commission, Research Establishment Risø. Rapport Risø-M-1374, 1971.
89. NORMAN, G. 2010. Likert scales, levels of measurement and the “laws” of statistics. *Advances in Health Science Education*, 15:625-632. doi:10.1007/s10459-010-9222-y.
90. NOSDRA – NATIONAL OIL SPILL DETECTION & RESPONSE AGENCY. Form A – Oil Spill/Leak Notification Report, 2020a, Disponível em: <<http://nosdra.gov.ng/forms.php>>, Acesso em 03/05/2020 às 23:00h.
91. NOSDRA – NATIONAL OIL SPILL DETECTION & RESPONSE AGENCY. Joint Investigation Visit (JIV) Form, 2020b, Disponível em: <<http://nosdra.gov.ng/forms.php>>, Acesso em 03/05/2020 às 23:00h.
92. OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Guidance on Developing Safety Performance Indicators Related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Chemical Accidents No. 198 Guidance for Industry, Environment Directorate, Paris. 2008a.
93. OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Guidance on Developing Safety Performance Indicators Related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Chemical Accidents No. 18 for Public Authorities and Communities/Public, Environment Directorate, Paris. 2008b.
94. OZIGIS, M.S.; Kaduk, J.D.; Jarvis, C.H.; Bispo, P.C.; Balzter, H. Detection of oil pollution impacts on vegetation using multifrequency SAR, multispectral images with fuzzy forest and random forest methods. *Environmental Pollution*. Elsevier, 2020, **256**:113360 <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113360>.
95. OSHA – Occupational Safety and Health Administration. Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals (29 CFR 1910.119). 1992.
96. PARLOC – PIPELINE AND RISER LOSS OF CONTAINMENT 2001 - 2012. 6th Edition of PARLOC Report Series. Energy Institute, London, 2015.
97. PEREIRA, E. Q., Nascimento, E. P. do. 2016. A Interdisciplinaridade Nas Universidades BRASILEIRAS: Trajetória E Desafios. *Redes*, 21(1), 209, doi: <http://doi.org/10.17058/redes.v21i1.4844>.

98. PHMSA – PIPELINE AND HAZARDOUS MATERIALS SAFETY ADMINISTRATION. Instructions for Form PHMSA F 7100.2-1 Annual Report for Calendar Year 20__ – Natural and other Gas Transmission and Gathering Pipeline Systems, 2014, Disponível em: <<http://www.phmsa.dot.gov/forms/pipeline-forms>>, Acesso em 08/10/2019 às 12:00h.
99. PHMSA – PIPELINE AND HAZARDOUS MATERIALS SAFETY ADMINISTRATION. Instructions for Form PHMSA F 7000.1 Accident Report – Hazardous Liquid Pipeline Systems, 2019a, Disponível em: <<http://www.phmsa.dot.gov/forms/pipeline-forms>>, Acesso em 08/10/2019 às 12:00h.
100. PHMSA – PIPELINE AND HAZARDOUS MATERIALS SAFETY ADMINISTRATION. Instructions for Form PHMSA F 7000.1-1 Annual Report for Calendar Year 20__ – Hazardous Liquid Pipeline Systems, 2019b, Disponível em: <<http://www.phmsa.dot.gov/forms/pipeline-forms>>, Acesso em 08/10/2019 às 12:00h.
101. PHMSA – PIPELINE AND HAZARDOUS MATERIALS SAFETY ADMINISTRATION. Instructions for Form PHMSA F 7100.2 Incident Report – Gas Transmission and Gathering Systems, 2019c, Disponível em: <<http://www.phmsa.dot.gov/forms/pipeline-forms>>, Acesso em 08/10/2019 às 12:00h.
102. RAVEENDRAN, A.; Renjith, V.R. Corroboration of sparse failure data through Bayesian estimation for natural gas cross country pipelines: A case study with reference to the Indian scenario. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Elsevier, 2018, **55**:347-358 doi: 10.1016/j.jlp.2018.07.011.
103. REASON, J.T. The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 327, 475–484. 1990.
104. RIM-RUKEH, A. Oil Spill Management in Nigeria: SWOT Analysis of the Joint Investigation Visit (JIV) Process. *Journal of Environmental Protection*. SciRes, 2015, 6:259-271 <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2015.63026>.
105. RIVM – NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT. Reference Manual Bevi Risk Assessments. Version 3.2, the Netherlands, 2009. Disponível em: < <https://www.rivm.nl/documenten/reference-manual-bevi-risk-assessments-version-32>>, Acesso em 01/02/2021 às 23:00h.
106. STREINER, D.L. Starting at the Beginning: An Introduction to Coefficient Alpha and Internal Consistency. *Journal of Personality Assessment*. Lawrence Erlbaum Associates, 2003, **80**:99-103.
107. STUART, A., ORD, K. Kendall's Advanced Theory of Statistics. 6th edition. London: Wiley–Blackwell, 1994.
108. SWUSTE, P.; Theunissen, J.; Schmitz, P.; Reniers, G; Blokland, P. Process safety indicators, a review of literature. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Elsevier, 2016, **40**:162-173 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2015.12.020>.
109. TAVAKOL, M.; Dennick, R. Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*. 2011, **2**:53-55 doi:10.5116/ijme.4dfb.8dfd.
110. UK Oil and Gas Industry. Step Change in Safety, Leading Performance Indicators, Guidance for Effective Use. Aberdeen. 2012.

111. UKOPA – UNITED KINGDOM ONSHORE PIPELINE OPERATORS' ASSOCIATION. Report Number UKOPA/GP/03, Industry Good Practices – Pipeline Process Safety Performance Monitoring. Ambergate, Derbyshire. November, 2014.
112. UKOPA – UNITED KINGDOM ONSHORE PIPELINE OPERATORS' ASSOCIATION. Report Number UKOPA/16/004, Process Safety Annual Report 2015. Ambergate, Derbyshire. November, 2016.
113. UKOPA – UNITED KINGDOM ONSHORE PIPELINE OPERATORS' ASSOCIATION. Report Number UKOPA/18/002, UKOPA pipeline product loss incidents and faults report (1962 – 2017). Ambergate, Derbyshire. March, 2019.
114. VAUGHEN, B.K., Kletz, T.A. Continuing our process safety management journey. *Process Safety Progress*, 31, 337–342, 2012.
115. VERGARA, S. C. Métodos de pesquisa em administração. 6. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2015.
116. VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 16. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2016.
117. WORLD ATLAS. Top 20 Countries by Length of Pipeline. Disponível em: <<http://www.worldatlas.com/articles/top-20-countries-by-length-of-pipeline.html>>, Acesso em: 30/05/2019 às 23:00h.

APÊNDICE A – DOCUMENTOS RECEBIDOS POR EMAIL

Os documentos a seguir evidenciam os correios eletrônicos utilizados para a solicitação e a obtenção dos formulários de coleta de dados referentes aos bancos de dados CONCAWE e UKOPA, bem como as primeiras páginas dos respectivos documentos. A Tabela A.1 resume algumas informações relevantes a respeito dos mesmos.

Tabela A.1 – Dados referentes aos formulários de coleta - CONCAWE e UKOPA.

Fonte: O próprio autor.

| <i>Benchmark</i> | País/Região | Data de solicitação | Data de recebimento | Número de páginas |
|------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| CONCAWE | Europa | 16/04/2020 | 29/04/2020 | 6 |
| UKOPA | Reino Unido | 12/04/2020 | 13/04/2020 | 12 |

Douglas Thiago da Silva Alves

De: [REDACTED]
Enviado em: quarta-feira, 29 de abril de 2020 04:30
Para: Douglas Thiago da Silva Alves
Cc: [REDACTED]
Assunto: RE: Pipeline Incident Database - PhD Thesis in Brazil
Anexos: Concawe - Off-line spillage form v1c.xlsx

Dear Douglas,

Please find attached the blank spreadsheet. Sorry for the delay.

Hope this is what you were looking for.

Stay safe!

Best Regards,

[REDACTED]

[REDACTED]
Communication Advisor



A: Boulevard du Souverain 165, B-1160 Brussels - Belgium

[REDACTED]
[REDACTED]



From: [REDACTED]
Sent: jeudi 16 avril 2020 17:55
To: Douglas Thiago da Silva Alves <douglasthiago@[REDACTED].com.br>; [REDACTED]
Cc: [REDACTED]
Subject: RE: Pipeline Incident Database - PhD Thesis in Brazil

Dear Douglas,

Thank you for your email.

I will contact the person that replaced Mike in this role.

I will try to come back to you ASAP.

Stay safe!

Best Regards,

[REDACTED]

[REDACTED]
Communication Advisor



A: Boulevard du Souverain 165, B-1160 Brussels - Belgium

[REDACTED]
[REDACTED]



From: Douglas Thiago da Silva Alves <[douglasthiago@\[REDACTED\].com.br](mailto:douglasthiago@[REDACTED].com.br)>

Sent: jeudi 16 avril 2020 17:50

To: [REDACTED]

Cc: [REDACTED]

Subject: ENC: Pipeline Incident Database - PhD Thesis in Brazil

Dear [REDACTED]

As requested, it follows the email [REDACTED] has sent on my behalf to [REDACTED] in 23/03 asking for blank input forms (pdf or spreadsheet) CONCAWE uses to collect data to its Pipeline Incident Database.

Introducing some important points, I'm doing a PhD and my main objective is establishing a Pipeline Incident Database for Brazil. To do so, I am developing a research addressing the state of art related to the current pipeline incident databases in the world, such as UKOPA (UK), DOT (USA), CONCAWE and EGIG (Europe), NEB (Canada), APGA (Australia) and NOSDRA (Nigeria) ones. One of my objectives is mapping all the kind of parameters/data those databases usually collect.

In this sense, **I'm trying to get from institutions like cited above blank input forms (pdf or spreadsheet) used for collecting:**

- 1) **incident data;**
- 2) **pipeline system data (the last kind of data is used to calculate firstly the total exposure – sometimes segregated by diameter, year of construction, wall thickness, etc).**

Considering this context, I would like to know if CONCAWE could help sending me the blank input forms (pdf or spreadsheet) for the two purposes above (collecting incident data and pipeline system data).

Finally, just to highlight that I only need the blank forms/spreadsheets, as I'm aware that the information itself regarding the incidents are confidential in some countries.

Thank you very much in advance. Hope hearing from you soon.

Stay healthy, best regards,

Ps.: I'm sending attached two forms from DOT/PHMSA Pipeline Database (for incidents and for pipeline system - USA) and one from NOSDRA (Nigerian Pipeline Incidents Database) as examples of forms/spreadsheets that I'm looking for. All of them are available on internet.

Douglas Thiago da Silva Alves, Consultant
Risks Assessment and Risk Controls
Operational Risks

[REDACTED]
Corporate Risks
[REDACTED]
[REDACTED]
[douglasthiago@\[REDACTED\].com.br](mailto:douglasthiago@[REDACTED].com.br)
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Spillage report form

The preferred way of reporting spillages is by means of the on-line form at

<https://pipelines.concawe.org>

However, this off-line form may be used where it may be more convenient, e.g. if it has to be filled in by several people, at

The completed form should be sent to pipelines@concawe.eu

Please fill in the fields highlighted in blue. Those with dropdown menus are highlighted in darker blue

| | |
|---------|--|
| Company | |
|---------|--|

| | |
|-------------------------------|--|
| Person to be contacted | |
| Name | |
| Land line | |
| Mobile | |
| e-mail | |

| | |
|--|-------|
| Section where the spill occurred | |
| Name | |
| <i>(Please fill-in the exact description as per your reported inventory)</i> | |
| Nominal diameter at the point of failure | " |
| Metallurgy | |
| Age of pipe / fitting at time of failure | Years |
| Wall thickness | mm |
| Burial depth | m |
| Actual commodity transported | |
| <i>(Select from dropdown menu)</i> | |

| | | | | |
|----------------------|-------|------------|-------|----------|
| Last pig inspections | mm/yy | Metal loss | Crack | Geometry |
|----------------------|-------|------------|-------|----------|

| | |
|--|------|
| Max allowable pressure | barg |
| Actual pressure at the time of failure | barg |

| | |
|----------------------------------|-------------------|
| Flow rate at the time of failure | m ³ /h |
|----------------------------------|-------------------|

| | |
|---|----|
| What type of leak detection system was in use? | |
| <i>(The options listed below are not mutually exclusive. Select all relevant options)</i> | |
| 1 Rate of change | No |
| 2 Mass balance (SCADA) | No |
| 3 Real-time transient | No |
| 4 Pressure wave | No |
| 5 Acoustic sensor | No |
| 6 Other | |
| <i>(please give details as appropriate in the box below)</i> | |
| | |

| |
|--|
| Description of the incident |
| <i>(Give as many relevant information as possible)</i> |
| |

Douglas Thiago da Silva Alves


De: [REDACTED]
Enviado em: segunda-feira, 13 de abril de 2020 08:22
Para: Douglas Thiago da Silva Alves
Cc: [REDACTED]
Assunto: RE: Request for UKOPA Blank Incident Form/Questionnaire
Anexos: UKOPA FR1 Rev2 1 Fault Data Input Form 2014.pdf; UKOPA Product Loss Incidents Faults Report (1962-2018) 1.0_Feb 2020.pdf

Douglas,

I thought I had responded to your LinkedIn message from earlier in the year but it appears you haven't received it – I'm a rather passive user of LinkedIn so I'll check what's happened.

I'm currently in the process of updating the UKOPA form – I'd hoped to have the agreed update available by now, [REDACTED]

Whilst we wait for the comment/approval cycle to complete, please find attached the current (rather old) version. Please note that the majority of the form is about recording non through-wall damage, not product releases, unlike

US, EGIG and CONCAWE databases. Please note that any field without an associated number in a star  is not recorded in the UKOPA database and operators can decide if they wish to collect that data for their own purposes.

Also, I don't think any UKOPA member actually uses the form in paper or e-format. UKOPA sends each contributing member a spreadsheet for them to collate each years data and most have their own version of a fault reporting form. I'm hoping that the new FR1 form will be attached to a gas industry maintenance policy – which would mean the majority of the pipeline network covered by the UKOPA database would use the same form in future. EGIG also has a spreadsheet input form – UKOPA uses the data provided by EGIG members to produce the annual EGIG return from the UK. I'll check if I can provide you with a blank – I don't think it will be a problem, but it is not mine to distribute.

Finally I also attach the latest Product Loss report – this is currently going through final UKOPA approval and is not yet up on the website, but I don't expect any changes.

Best Regards, and take care,

[REDACTED]
[REDACTED]
[Principal Consultant](#)
[Pipeline Integrity Engineers](#)

[REDACTED]

DISCLAIMER: This email contains proprietary information for the intended recipient only. If an addressing or transmission error has misdirected this email, please notify the author by replying to this email. If you are not the intended recipient you must not use, disclose, distribute, copy or rely on this email.

From: Douglas Thiago da Silva Alves <douglasthiago@[REDACTED].com.br>

Sent: 12 April 2020 14:40

To: [REDACTED]

Cc: [REDACTED]

Subject: RES: Request for UKOPA Blank Incident Form/Questionnaire

Hello [REDACTED]

Firstly, it is a pleasure talking to you again after 6 years. Your PG course lectures at Newcastle University were outstanding.

I'm sending attached to this message two blank forms from DOT (Department of Transportation – USA – one for incidents and another for data regarding pipeline system) and one from NOSDRA (National Oil Spill Detection & Response Agency - Nigeria) as examples of documents that I'm looking for (those are available on internet).

[REDACTED] thanks for your suggestion regarding EGIG and CONCAWE. Additionally to UKOPA blank forms, if you could also send me the blank forms UKOPA members use to feed data to EGIG and CONCAWE database it would be great!

I hope that you all and families are free from the present Corona Virus, which is hurting so many families in whole world (including Brazil).

Happy Easter!

Best regards,

Douglas Thiago da Silva Alves, Consultant
Risks Assessment and Risk Controls
Operational Risks

[REDACTED]
Corporate Risks
[REDACTED]
[REDACTED]
[douglasthiago@\[REDACTED\].com.br](mailto:douglasthiago@[REDACTED].com.br)
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

UKOPA FAULT DATABASE**Form FR/1 - FAULT INPUT DATA – Revised April 2014**

OPERATOR'S FAULT REFERENCE NUMBER



This form should be completed whenever an operational fault occurs on a steel pipeline operating at pressures of 7 bar and above. It is intended for use by the person responsible for excavating and inspecting damage to a pipeline. The data is then recorded and sent to UKOPA to be included in the Fault Database.

An operational fault is defined as a pipeline feature (damage) that has been confirmed by field investigation, excavation and measurement and includes:

- Any incident involving gas loss other than minor leakage from valve stems or flange gaskets.
- Any external interference incident involving damage to the pipe (or fitting or associated equipment) or to its coating
- Any external/internal corrosion damage to the pipe, fitting or associated equipment
- Any other defect or damage to the pipe or fitting or associated equipment e.g. cracks, mill defects etc.

Contact Person (i.e. person completing this form):

Contact Telephone Number: *Contact's phone number*

Date of Completion:

Network: *Insert name of Company / network / area here*


Comments: (Please enter any relevant details not included elsewhere on the form)



Please return this completed form to: *Insert name of Company's UKOPA FDMG Contact here*

Email to *Insert email address Company's UKOPA FDMG Contact here* or send a copy *insert name and address of Company's UKOPA FDMG Contact here*

For help, contact *Insert name and phone number of Company's UKOPA FDMG Contact here*

NOTE: Data item numbers  refer to the column number for the UKOPA data input worksheet

APÊNDICE B – INSTRUMENTO TEMÁTICO

Tabela B.1 – Instrumento Temático - Dimensão “Eventos”.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável | |
|---------------------|-------------------|---|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| Eventos | Causas | Corrosão | Corrosão (de forma geral) | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% | |
| | | | Corrosão Interna | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | | Corrosão Externa | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | | Corrosão sob tensão (SCC) | | X | X | X | X | X | X | | | 75% |
| | | Defeitos de material, fabricação e montagem | Defeitos de material, fabricação e montagem (de forma geral) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | | Defeito no tubo | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | | Defeito na solda longitudinal | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Defeito na solda circunferencial | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Defeitos em curvas ("wrinkles" ou "buckles") | X | X | X | X | X | X | X | | | 75% |
| | | Equipamento (de forma geral) | | | X | X | X | X | | | X | 63% | |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos benchmarks que abordaram cada variável | |
|---------------------|-----------------------|---|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|------|
| | Eventos | Causas | | | | | | | | | | | |
| Eventos | Equipamento | Falha em juntas/flanges | X | | X | X | X | X | X | | X | 75% | |
| | | Falha em válvulas (gaxeta) | | | X | X | X | X | X | | X | 63% | |
| | | Mal funcionamento de equipamentos de alívio/controlado | | | X | X | X | X | X | | | 50% | |
| | | Falha no selo de bombas | | | X | | X | | | | X | 38% | |
| | | Demais falhas de equipamentos | | | X | X | X | | | | X | 50% | |
| | Interferência Externa | Interferência Externa (de forma geral) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Dano mecânico não intencional (falha imediata) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Dano mecânico não intencional (falha não imediata) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | Dano intencional (vandalismo, derivação clandestina, etc) | | | X | X | X | X | X | | | X | 63% |
| | Operações Incorretas | Operações Incorretas (de forma geral) | | X | X | X | X | X | X | | | X | 75% |
| | | Procedimento operacional incorreto | | | X | X | X | X | X | | | X | 63% |
| | | Procedimento incorreto de manutenção | | X | X | X | X | X | X | | | X | 75% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável | |
|---------------------|--------------------------|--|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|-----|
| | Eventos | Causas | | | | | | | | | | | |
| Eventos | Causas | Forças da natureza | Forças da natureza (de forma geral) | X | X | X | X | X | X | X | | 88% | |
| | | | Condições extremas de calor ou frio (Não previsto em projeto) | | | | X | X | X | | | | 38% |
| | | | Ventos fortes | | | | X | X | X | | | | 38% |
| | | | Ameaças hidrotécnicas (inundações, erosões, etc) | | X | X | X | X | X | X | X | | 75% |
| | | | Ameaças geotécnicas (movimentação de solo) | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Descargas elétricas | X | X | | X | X | X | X | X | | 75% |
| | Características do local | Características físicas/de projeto do duto | Diâmetro do duto | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Profundidade do duto no solo | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Espessura da parede do duto | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Fator de projeto | | X | | | | | | | | 13% |
| | | | Tipo de tubo (Solda longitudinal/espiral, tubo sem costura, etc) | X | X | X | X | X | X | X | | | 75% |
| | | | Ano de construção / instalação | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável | |
|---------------------|--|---|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|------|
| | Eventos | Características do local | | | | | | | | | | | |
| Eventos | Características físicas/de projeto do duto | Pressão de Projeto | | X | | | | | | | | 13% | |
| | | Pressão do Teste Hidrostático | | X | | X | X | | X | | | 50% | |
| | | Tipo de Revestimento externo | X | X | | X | X | X | X | | | 75% | |
| | | Tipo de Revestimento interno | X | | | X | X | | X | | | 50% | |
| | | Trecho aéreo ou trecho enterrado | X | | X | X | X | | | | | 50% | |
| | | Tipo de travessia (se pertinente - travessia com rios, rodovias, ferrovias etc) | X | | | X | | | | | | 25% | |
| | Variáveis operacionais | Produto transportado no momento do incidente | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | 100% |
| | | Pressão Máxima de Operação | | X | X | X | X | X | X | X | | | 75% |
| | | Pressão de Operação | X | X | X | X | X | X | X | X | | | 88% |
| | | Vazão no momento do vazamento | | | X | X | | | | | | | 25% |
| | | Coordenadas do local do incidente | X | | | X | X | X | X | X | X | | 75% |
| | | Data do evento | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | 100% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável |
|---------------------|---|---|---|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|
| | | | | | | | | | | | | |
| Eventos | Características do local | Dados temporais e localização geográfica | Data e horário da detecção do vazamento | | | X | X | X | X | X | X | 75% |
| | | | Data e horário estimado do início do vazamento | | | X | | | X | | X | 38% |
| | | | Data e horário da parada da operação do duto | | | X | X | X | | | | 38% |
| | | | Data e horário da parada do vazamento | | | X | | | | | X | 25% |
| | | | Taxa de vazamento estimada antes da parada do bombeamento ou do fechamento das válvulas | | | X | | | | | | 13% |
| | | Medidas de prevenção / mitigação de risco | Tipo de Proteção Catódica | X | X | | | | | | X | |
| | Medidas de mitigação existentes no local do incidente | | X | X | | | | | | X | X | 50% |
| | Registro se o trecho foi inspecionado anteriormente por PIGs (instrumentados ou geométrico) | | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | Registro se o trecho foi inspecionado anteriormente por vigilância aérea | | X | | | | | | | | | 13% |
| | Detecção | Forma através da qual o incidente foi inicialmente identificado (público, cliente, funcionário da operadora, etc) | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | Tipo de sistema de detecção de vazamento presente | | | X | | X | | | X | | 38% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos benchmarks que abordaram cada variável | |
|---------------------|---|---------------|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|--|------|
| | Eventos | Consequências | | | | | | | | | | | |
| Eventos | Consequências | Modo de falha | Ruptura (Rupture) | X | X | X | X | X | X | X | | 88% | |
| | | | Furo (leak) | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Trinca (pinhole/crack) | X | X | X | X | X | | | | | 63% |
| | | | Registro se houve formação de cratera no solo e suas dimensões (comprimento, largura e profundidade) | X | | | | | | | | | 13% |
| | | | Dimensões do furo (área, comprimento, largura etc) | X | X | X | X | X | | | | | 63% |
| | | | Orientação do dano na seção transversal do duto (0 - 12 horas / 0 a 360 graus) | X | | | | | | | X | X | 38% |
| | | | Tipo de reparo utilizado | X | | | | | | X | X | | 38% |
| | | | Falha de outros equipamentos que não o tubo (gaxeta, selo de bomba, etc). | | | X | X | X | X | | | | 50% |
| | Impacto a pessoas e ao patrimônio (incêndio/explosão) | | Registro se houve ignição do produto | X | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | | | Registro se houve explosão | | X | X | X | X | X | | | X | 75% |
| | | | Registro se houve incêndio | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |
| | | | Número de fatalidades | | X | X | X | X | X | X | X | X | 88% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável | |
|---------------------|---|--|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|-----|
| | Eventos | Consequências | | | | | | | | | | | |
| Eventos | Impacto a pessoas e ao patrimônio (incêndio/explosão) | Número de feridos | | X | X | X | X | X | X | X | X | 88% | |
| | | Danos a propriedades de terceiros | | | X | X | X | X | X | X | X | 75% | |
| | | Danos a outras instalações do operador/proprietário do duto | | | | X | X | | | | | 25% | |
| | | Raio do dano provocado pelo incêndio/explosão | X | | | | | | | X | | 25% | |
| | | Densidade populacional da região afetada | | | X | X | | X | | | | 38% | |
| | | Classe de locação / Classificação do uso do solo da região afetada (área urbana, área rural, área industrial, etc) | X | | X | X | X | X | X | X | | 75% | |
| | Impacto ao meio ambiente | Quantidade de volume vazado | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | 88% |
| | | Quantidade de volume recuperado (remediação) | | | X | | X | | | X | X | X | 50% |
| | | Extensão da área de solo afetada | X | | X | | | | | | | X | 38% |
| | | Tempo total para limpeza do ambiente afetado | | | X | | | | | | | X | 25% |
| | | Registro se o produto vazado atingiu algum corpo d'água | | | X | X | X | | | | | X | 50% |
| | | Classificação do corpo d'água atingido (águas superficiais, águas subterrâneas, e se utilizado para captação) | | | X | X | X | | | | | X | 50% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável |
|---------------------|--------------------|--|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|
| | Eventos | Consequências | | | | | | | | | | |
| | Impacto financeiro | Perda financeira associada às consequências de incêndio e explosão | | | | X | X | | X | | 38% | |
| | | Perda financeira associada às consequências de poluição ambiental | | | | | X | | | X | 25% | |
| | | Perda financeira devido ao valor do volume de produto perdido | | | | X | X | | | | 25% | |
| | | Período total devido à falta de fornecimento do produto (parada operacional) | X | | X | X | X | X | X | | 75% | |

Tabela B.2 – Instrumento Temático - Dimensão “Malha dutoviária”.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT – Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável | |
|---------------------|---|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|-----|
| | | | | | | | | | | | | |
| Malha dutoviária | Tipo de duto | Gasodutos (linhas de transporte - gás natural) | X | X | | X | | X | X | | 63% | |
| | | Oleodutos (petróleo, gases liquefeitos, claros, escuros, etc) | X | | X | | X | X | X | X | 75% | |
| | Instalações pontuais associadas | Trechos de duto extramuros | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% | |
| | | Estações de válvulas | | | X | X | X | X | | X | 63% | |
| | | Instalações pontuais intermediárias (Estações de bombeamento e de compressão, etc) | | | X | X | X | X | | X | 63% | |
| | | Trechos intramuros nas instalações nas extremidades do duto (terminais, refinarias, etc) | | | | X | X | X | | X | 50% | |
| | Parâmetros associados à extensão da malha | Ano de construção / instalação | X | X | X | X | X | | | | X | 75% |
| | | Diâmetro | X | X | X | X | X | | | | X | 75% |
| | | Espessura da parede do duto | X | X | | | | | | | | 25% |
| | | Pressão Máxima Operacional (PMOA) | | X | | | | | | | | 13% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT - Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável | |
|---------------------|---|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|------|
| Malha dutoviária | Parâmetros associados à extensão da malha | Profundidade do trecho de duto no solo | | X | | | | | | | 13% | |
| | | Classe de locação / Uso do solo | X | | | X | | | X | | 38% | |
| | | Grau do material do tubo | | X | | | | | | | | 13% |
| | | Presença ou ausência de proteção catódica | | | | X | X | | | | | 25% |
| | | Tipo de Produto transportado | X | X | X | X | X | | | | | 63% |
| | | Tipo de revestimento externo | X | X | | | | | | | | 25% |
| | | Volume de produto total transportado por ano | | | X | X | X | | | | | 38% |
| | | Tipo de ferramenta de inspeção (PIG) empregada | | | X | X | X | | | | | 38% |
| | | Tipo de duto (gasoduto, oleoduto) | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 100% |

Tabela B.3 – Variáveis identificadas através do levantamento da literatura – Dimensão “Gestão”.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT – Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável |
|---------------------|------------------------------|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|
| Gestão | Manutenção | Banco de dados mantenido por instituição privada | X | X | X | | | | X | | 50% |
| | | Banco de dados mantenido por órgão regulador | | | | X | X | X | | X | 50% |
| | Publicidade/sigilo dos dados | Dados de eventos abertos ao público em geral | | | | X | X | X | | X | 50% |
| | | Dados de eventos disponíveis apenas para os operadores | X | X | X | | | | X | | 50% |
| | | Estatísticas de falha disponíveis ao público em geral | X | X | X | X | X | X | X | | 88% |
| | Separação da coleta | Aplicação de formulário específico para gasodutos | | X | | X | | | | | 25% |
| | | Aplicação de formulário específico para oleodutos | | | X | | X | | | X | 38% |
| | | Aplicação de formulário único para ambos os tipos de dutos (gasodutos e oleodutos) | X | | | | | X | X | | 38% |
| | Critérios de reporte | Eventos que atinjam minimamente um determinado valor de perda financeira | | | | X | X | | | | 25% |
| | | Eventos que atinjam minimamente um determinado volume vazado para o meio ambiente | | | X | | | | | | 13% |

| Dimensão de análise | Fatores temáticos | Variáveis identificadas nos bancos de dados analisados | UKOPA (2019) | EGIG (2018) | CONCAWE (2019) | DOT - Gasodutos PHMSA (2019c) | DOT – Oleodutos PHMSA (2019a) | CER (2020) | APIA (2018) | NOSDRA (2019) | Porcentagem dos <i>benchmarks</i> que abordaram cada variável |
|---------------------|-------------------|--|--------------|-------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|---------------|---|
| | | Qualquer evento associado à perda de contenção (vazamento) | X | X | | | | X | X | X | 63% |

APÊNDICE C – FORMULÁRIO PILOTO

Este apêndice trata de informações específicas relacionadas ao formulário utilizado no teste piloto. São apresentados:

- 1) Carta de apresentação do pesquisador (ver Tabela C.1 e Figura C.1);
- 2) Conteúdo adicionado ao formulário piloto (ver Tabela C.2);
- 3) Solicitações adicionadas ao formulário piloto para orientar a sua avaliação pelos participantes;
- 4) Primeira página do formulário piloto no formato do “*Google Forms*” (ver Figura C.2).

Após cada uma das perguntas e textos explicativos que constam na Tabela C.2 foram inseridas solicitações para que os participantes opinassem a respeito da clareza da redação, indicassem se havia erros de português e apontassem oportunidades de melhoria. Ao final do formulário piloto também foi inserida uma solicitação para que os profissionais discorressem sobre o questionário como um todo. Os textos padrões utilizados para estas finalidades são mostrados abaixo:

- Solicitação padrão referente às perguntas do questionário:

“COMENTÁRIOS SOBRE A QUESTÃO X - Você entendeu a questão? Os mecanismos de explicação para respondê-la (quando houver) ajudou? A questão poderia ser aprimorada? Como? Há erros de português?”

- Solicitação padrão referente aos textos explicativos:

“COMENTÁRIOS SOBRE O TEXTO ACIMA - "FATOR TEMÁTICO X" - Você entendeu o texto? As explanações colocadas ajudaram na compreensão? O texto poderia ser aprimorado? Como? Há erros de português?”

- Solicitação referente à avaliação do questionário como um todo:

“COMENTÁRIOS GERAIS - O que você achou do questionário como um todo? Sentiu falta de alguma pergunta? Por que? Existe alguma pergunta duplicada? Faça as suas considerações finais a respeito da sua percepção ao responder todo o questionário.”

Tabela C.1 – Carta de apresentação enviada na primeira etapa do teste piloto.

Fonte: O próprio autor.

Carta de apresentação do pesquisador

Pesquisa Acadêmica

O questionário a seguir refere-se a uma pesquisa acadêmica em desenvolvimento na Universidade Federal Fluminense - UFF pelo aluno Douglas Thiago da Silva Alves, sob orientação do Prof. Gilson Brito Alves Lima, a qual tem como um dos seus objetivos a definição de uma taxonomia de coleta adequada para o estabelecimento de um banco de dados de falhas em dutos de transporte no Brasil.

Nesta etapa o objetivo é a realização de um teste piloto com cinco especialistas brasileiros na área de riscos e integridade de dutos, de forma a identificar eventuais erros e levantar oportunidades de melhoria para garantir que o questionário esteja adequado antes do envio para o público em geral. Desde já agradeço a participação de cada um de vocês.

Instruções:

Após cada parte relevante do questionário (Cabeçalhos, Itens de Descrição e Perguntas) e ao final do mesmo haverá espaços para você tecer os seus comentários. Você foi escolhido(a) a dedo para esse teste piloto e contamos muito com a sua ajuda e colaboração.

Orientações importantes:

- 1) Faça todos os comentários que julgar pertinentes nos espaços reservados, independentemente da complexidade/teor. Toda colaboração é bem vinda;
- 2) Após a primeira rodada de comentários, o mesmo será encaminhado para você novamente contemplando os ajustes pertinentes e para algumas outras pessoas (além das cinco iniciais) para revisão final do formulário;
- 3) Caso queiram, sintam-se a vontade para responder às perguntas do questionário em si para fins de simulação. Entretanto, as respostas a serem consideradas na pesquisa serão aquelas obtidas posteriormente através da versão final do questionário (contamos com a sua participação também na próxima etapa).

Tabela C.2 – Conteúdo adicionado ao “Formulário Piloto”.

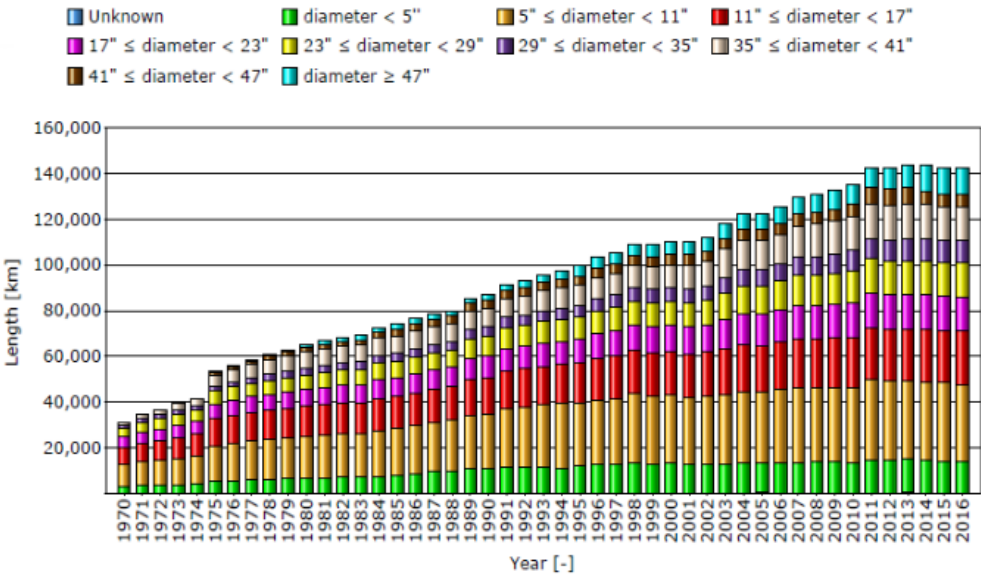
Fonte: O próprio autor.

| Perfil profissional | |
|---|---|
| Comentário Explicativo | As perguntas abaixo numeradas entre 1 e 4 dizem respeito ao perfil profissional do respondente. |
| 1. Quanto tempo de experiência profissional você possui na área de dutos? | |
| Opções | Entre 0 e 10 anos |
| | Entre 10 e 20 anos |
| | Mais que 20 anos |
| 2. Atualmente você trabalha para qual tipo de instituição relacionada à atividade dutoviária? | |
| Opções | Empresa proprietária e/ou operadora de dutos. |
| | Órgão regulador (exemplo: agências reguladoras, órgãos ambientais, etc). |
| | Empresa de consultoria / profissional autônomo. |
| | Universidade / Centros de Pesquisa. |
| | Institutos ou associações. |
| | Outros tipos de instituições. |
| 3. Considerando sua experiência profissional, como você avalia os seus conhecimentos relacionados às disciplinas de riscos operacionais e integridade de dutos? | |
| Opções | Extremo conhecimento (possui curso de especialização e/ou experiência acima de 10 anos em pelo menos uma das disciplinas) |
| | Muito conhecimento (experiência entre 5 e 10 anos em pelo menos uma das disciplinas) |
| | Conhecimento Intermediário (experiência entre 1 e 5 anos em pelo menos uma das disciplinas) |
| | Pouco conhecimento (utiliza os conceitos básicos das disciplinas no cotidiano profissional) |
| | Nenhum conhecimento (não possui familiaridade com os conceitos básicos das disciplinas) |
| 4. Cite abaixo nomes de bancos de dados de falha de dutos que você conheça e/ou com os quais você já tenha trabalhado. | |
| Opções | Sem opções (a ser preenchida pelo respondente) |
| Perguntas específicas | |
| Texto explicativo | <p>As perguntas de 5 a 22 foram elaboradas com o objetivo de auxiliar na definição da taxonomia a ser utilizada futuramente para a coleta e compilação de dados de falha referentes à malha dutoviária brasileira. As perguntas são classificadas em diferentes Dimensões e Fatores Temáticos, de acordo com o levantamento da literatura referente aos diversos benchmarks internacionais existentes atualmente. Estes benchmarks dizem respeito a bancos de dados aplicados às malhas dutoviárias (gasodutos e oleodutos) de países como Estados Unidos, Canadá, Austrália/Nova Zelândia, Nigéria, Reino Unido, e outros pertencentes à União Européia.</p> <p>Para cada Dimensão/Fator Temático, serão relacionadas as variáveis que usualmente são coletadas pelos benchmarks. Solicita-se que seja indicada para cada uma delas qual a relevância de se coletar dados relacionados às mesmas para construção da taxonomia do banco de dados brasileiro, respeitando-se a escala tipo <i>Likert</i> proposta. As opções, em grau crescente de importância, são:</p> <p>1) Muito pouco relevante; 2) Pouco relevante; 3) Moderadamente relevante; 4) Muito relevante; 5) Extremamente relevante.</p> |

| | |
|--|---|
| | Ressalta-se que, para as perguntas 5 a 18, deve ser utilizada a escala tipo <i>Likert</i> acima. Para as demais (19 a 22), as mesmas constituem perguntas de múltipla escolha e, assim, deve ser selecionada a opção mais adequada na opinião do respondente. |
| Dimensão de Análise – Eventos de falha | |
| Texto explicativo | Esta dimensão diz respeito às variáveis referentes aos eventos de falha que podem ocorrer na malha dutoviária brasileira. Entende-se como "evento de falha" qualquer ocorrência que resultem em vazamentos (perdas de contenção) do produto transportado pelo duto. Neste caso específico, entende-se como "produto" qualquer substância perigosa que tem o potencial de causar danos (gases e líquidos inflamáveis/combustíveis, tóxicos e/ou asfixiantes). |
| Fator Temático 1: Causas | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito às variáveis relacionadas às causas que eventualmente podem levar a eventos de falha em dutos. |
| 5. A causa "Corrosão" é relevante para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Indique a relevância de cada um dos tipos de corrosão relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Corrosão Interna •Corrosão Externa •Corrosão sob tensão (SCC) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 6. A causa "Defeitos de Material, Fabricação e Montagem" é relevante para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Indique a relevância de cada um dos tipos de defeito relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Defeito no tubo •Defeito na solda longitudinal •Defeito na solda circunferencial •Defeitos em curvas ("winkles"/"buckles") |
| Opções: | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 7. A causa "Falha de Equipamentos" é relevante para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Indique a relevância de cada um dos tipos de falha de equipamentos relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Falha em juntas/flanges •Falha em válvulas •Malfuncionamento de equipamentos de alívio/controlado •Falha no selo de bombas •Demais falhas de equipamentos |
| Opções: | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 8. A causa "Interferência externa" é relevante para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Indique a relevância de cada um dos tipos de interferência externa relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Dano mecânico não intencional (falha imediata) •Dano mecânico não intencional (falha não imediata) •Dano intencional (vandalismo, derivação clandestina, etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 9. A causa "Operações incorretas" é relevante para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções: | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Indique a relevância de cada um dos tipos de falha operacional relacionados a seguir: | |

| | |
|---|--|
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Procedimento operacional incorreto • Procedimento incorreto de manutenção/reparo |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 10. A causa "Forças da Natureza" é relevante para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Indique a relevância de cada um dos tipos de forças da natureza relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Condições extremas de calor ou frio (não previstas em projeto) • Ventos fortes • Ameaças hidrotécnicas (inundações, erosões, etc) • Ameaças geotécnicas (movimentação de solo) • Descargas elétricas |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 2: Características do local | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito às variáveis relacionadas às características do local onde eventualmente ocorrer a falha. |
| 11. Indique a relevância de cada um das variáveis referentes às características do local relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Produto transportado (e conseqüentemente liberado) no momento do vazamento • Diâmetro do duto • Profundidade do duto no solo • Espessura da parede do duto • Fator de projeto • Tipo de tubo (Solda longitudinal/espiral, tubo sem costura, etc) • Ano de construção / instalação • Pressão de projeto • Pressão Máxima de Operação • Pressão de Operação • Vazão no momento do vazamento • Pressão do Teste Hidrostático • Tipo de Proteção Catódica • Tipo de revestimento externo • Tipo de revestimento interno (se houver) • Trecho aéreo ou trecho enterrado • Coordenadas geográficas • Data do evento • Data e horário da detecção do vazamento • Data e horário estimada do início do vazamento • Data e horário da parada da operação do duto • Data e horário da parada do vazamento • Taxa de vazamento estimada antes da parada do bombeamento ou do fechamento das válvulas • Medidas de mitigação existentes no local (exemplo: placas de concreto, sinalização, etc) • Registro se o trecho foi inspecionado anteriormente por PIGs (instrumentados ou geométrico) • Registro se o trecho foi inspecionado por vigilância aérea • Forma através da qual o evento foi inicialmente identificado (notificação por pessoas do público, clientes, funcionários da operadora, etc) • Tipo de sistema de detecção de vazamento presente |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 3: Consequências | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito às consequências que eventualmente podem se desencadear em função da ocorrência da falha. Serão tratadas variáveis |

| | |
|--|--|
| | relacionadas ao dano no duto em si, bem como possíveis impactos às pessoas, ao meio ambiente e financeiros. |
| 12. Indique a relevância de se registrar informações referentes aos modos de falha do duto relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Ruptura do duto (Rupture) • Furo (leak) • Trinca (pinhole/crack) • Registro se houve formação de cratera no solo e suas dimensões (comprimento, largura e profundidade) • Dimensões do furo (área, comprimento, largura etc) • Orientação do dano na seção transversal do duto (0-12 horas/0 a 360 graus) • Falha de outros equipamentos que não o tubo (gaxeta, selo de bombas, etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 13. Indique a relevância de se registrar informações referentes a eventuais impactos a pessoas relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Registro se houve ignição do produto • Registro se houve explosão • Registro se houve incêndio • Número de fatalidades (se houver) • Número de feridos (se houver) • Danos a propriedades de terceiros (se houver) • Raio de dano provocado pelo incêndio/explosão |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 14. Indique a relevância de se registrar informações referentes a eventuais impactos ao meio ambiente relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de produto vazado • Quantidade de produto recuperado (remediação) • Extensão da área de solo afetada • Tempo total gasto para limpeza do ambiente afetado • Classificação do uso do solo na região afetada (área rural, área urbana, área industrial, etc) • Densidade populacional • Registro se o produto vazado atingiu corpo d'água • Classificação do corpo d'água atingido (águas superficiais ou águas subterrâneas, e se utilizado para captação/uso humano) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 15. Indique a relevância de se registrar informações referentes a eventuais impactos financeiros relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Perda financeira associada às consequências de incêndio e explosão • Perda financeira associada às consequências de poluição ambiental • Perda financeira referente ao valor monetário do volume de produto perdido • Período total associado ao não fornecimento do produto (parada operacional) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Dimensão de Análise - Malha dutoviária | |
| Texto explicativo | <p>Esta dimensão diz respeito às variáveis referentes à malha dutoviária brasileira, os quais devem ser coletados para elaboração de estatísticas.</p> <p>Para o cálculo da taxa de falha, por exemplo, são necessários dois tipos básicos de dados: a quantidade de eventos ocorridos e a extensão da malha, permitindo a normalização dos dados e a posterior comparação com estatísticas pertinentes a outros benchmarks.</p> <p>Além disso, estuda-se também a necessidade de diferenciação dos dados por tipo de duto ou por tipo de instalações pontuais onde eventualmente as falhas podem ocorrer.</p> |

| Fator Temático 1: Tipo de duto | |
|--|--|
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito ao tipo de duto de transporte onde eventualmente a falha pode ocorrer. |
| 16. Indique a relevância de se registrar falhas referentes aos tipos de duto de transporte relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Falhas em gasodutos (gás natural, CO2, hidrogênio, etc) • Falhas em oleodutos (petróleo, gases liquefeitos, derivados claros/escuros, álcool, etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 2: Trechos de duto e instalações associadas | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito aos trechos de duto e instalações associadas onde eventualmente a falha pode ocorrer. |
| 17. Indique a relevância de se registrar falhas referentes às seguintes trechos/instalações relacionadas a seguir associadas aos dutos: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Trechos de duto extramuros • Estações de válvulas • Instalações pontuais intermediárias (Estações de bombeamento e de compressão, etc) • Trechos intramuros nas extremidades do duto (terminais, refinarias etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 3: Parâmetros associados à extensão da malha | |
| Texto explicativo | <p>Este fator temático diz respeito aos parâmetros associados à extensão da malha dutoviária brasileira e a sua evolução ao longo do tempo e que, caso disponíveis, possibilitam a realização de estatísticas de falha estratificadas por classes destes parâmetros (exemplo: avaliação do comportamento de falhas ao longo do tempo em função da idade dos dutos/ano de construção; diâmetro; espessura da parede, etc).</p> <p>A imagem a seguir, retirada de um dos benchmarks, ilustra este tipo de dado da malha dutoviária estratificado por classes de diâmetro.</p>  |
| 18. Indique a relevância de se coletar informações relacionadas à evolução da malha dutoviária brasileira ao longo do tempo estratificadas pelos parâmetros relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Ano de construção / instalação • Diâmetro • Espessura da parede do duto • Pressão Máxima Operacional (MAOP) |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Profundidade do trecho de duto no solo • Classe de locação / Uso do solo • Grau do material do tubo • Presença de proteção catódica • Tipo de produto transportado • Tipo de revestimento externo • Volume de produto total transportado por ano • Tipo de ferramenta de inspeção (PIG) empregada • Tipo de duto (gasoduto, oleoduto) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Dimensão de Análise - Gestão | |
| Texto explicativo | Esta dimensão diz respeito às variáveis referentes à gestão do banco de dados nacional a ser constituído futuramente mediante a aplicação da taxonomia a ser obtida por meio desta trabalho de pesquisa. |
| Fator Temático 1: Implementação e Manutenção | |
| Texto explicativo | Este fator temático busca compreender qual seria a melhor forma de se realizar a implementação e posterior manutenção do banco de dados nacional. |
| 19. Qual das opções abaixo você entende que seria a mais adequada para a implementação e posterior manutenção do banco de dados nacional de falha em dutos terrestres? | |
| Opções | Banco de dados implementado e mantido por instituição privada |
| | Banco de dados implementado e mantido por órgão regulador |
| Fator Temático 2: Publicidade/sigilo dos dados | |
| Texto explicativo | Este fator temático busca capturar se informações a serem coletadas futuramente através do banco de dados devem ser mantidas em sigilo ou publicadas abertamente ao público em geral. |
| 20. Com relação à publicidade e ao sigilo dos dados a serem coletados, qual das opções abaixo seria a mais adequada na sua opinião? | |
| Opções | Dados específicos de cada evento de falha e respectivas estatísticas disponíveis em sua totalidade ao público em geral. |
| | Dados específicos de cada evento de falha restritos ao grupo de empresas organizadoras do banco de dados, porém com disponibilização de um relatório contendo estatísticas de falha da malha dutoviária como um todo para o público em geral. |
| | Dados específicos de cada evento de falha e respectivas estatísticas restritos apenas ao grupo de empresas organizadoras do banco de dados. |
| Fator Temático 3: Separação da coleta e tratamento de dados | |
| Texto explicativo | Este fator temático busca verificar se há necessidade de se elaborar formulários de coleta de dados específicos para cada tipo de duto (gasoduto / oleoduto) e posterior tratamento dos dados. |
| 21. Qual das opções abaixo seria a mais adequada no que se refere à coleta e posterior tratamento dos dados de falha em gasodutos e oleodutos? | |
| Opções | Aplicação de formulários de coleta específicos para cada tipo de duto (oleoduto/gasoduto), com posterior tratamento dos dados de forma separada (apresentação de estatísticas de falha para cada tipo de duto). |
| | Aplicação de formulários de coleta específicos para cada tipo de duto (oleoduto/gasoduto), porém com posterior tratamento dos dados de forma conjunta (apresentação de estatísticas de falha de forma conjunta). |
| | Aplicação de formulários de coleta único, com posterior tratamento dos dados de forma conjunta (apresentação de estatísticas de falha de forma conjunta para gasodutos/oleodutos). |
| Fator Temático 4: Critérios de reporte | |

| | |
|--|---|
| Texto explicativo | Este fator temático busca averiguar quais critérios devem ser atendidos para que um dado evento seja considerado como pertencente ao escopo do banco de dados de falha. |
| 22. Qual tipo de critério de reporte seria o mais adequado para utilização no banco de dados de falha de dutos brasileiro? | |
| Opções | Eventos de vazamento cujo impacto financeiro atinja um valor mínimo (exemplo: R\$ XX mil). |
| | Eventos de vazamento que atinjam um valor de volume mínimo liberado para o meio ambiente (exemplo: YY m3) |
| | Qualquer evento que resulte em vazamento (perda de contenção), independente de suas consequências. |



Seção 1 de 6

Formulário Teste Piloto - Primeira etapa

Pesquisa Acadêmica

O questionário a seguir refere-se a uma pesquisa acadêmica em desenvolvimento na Universidade Federal Fluminense - UFF pelo aluno Douglas Thiago da Silva Alves, sob orientação do Prof. Gilson Brito Alves Lima, a qual tem como um dos seus objetivos a definição de uma taxonomia de coleta adequada para o estabelecimento de um banco de dados de falhas em dutos de transporte no Brasil.

Nesta etapa o objetivo é a realização de um teste piloto com cinco especialistas brasileiros na área de riscos e integridade de dutos, de forma a identificar eventuais erros e levantar oportunidades de melhoria para garantir que o questionário esteja adequado antes do envio para o público em geral. Desde já agradeço a participação de cada um de vocês.

Instruções:

Após cada parte relevante do questionário (Cabeçalhos, Itens de Descrição e Perguntas) e ao final do mesmo haverá espaços para você tecer os seus comentários. Você foi escolhido(a) a dedo para esse teste piloto e contamos muito com a sua ajuda e colaboração.

Orientações importantes:

- 1) Faça todos os comentários que julgar pertinentes nos espaços reservados, independentemente da complexidade/teor. Toda colaboração é bem vinda;
- 2) Após a primeira rodada de comentários, o mesmo será encaminhado para você novamente contemplando os ajustes pertinentes e para algumas outras pessoas (além das cinco iniciais) para revisão final do formulário;
- 3) Caso queiram, sintam-se a vontade para responder às perguntas do questionário em si para fins de simulação. Entretanto, as respostas a serem consideradas na pesquisa serão aquelas obtidas posteriormente através da versão final do questionário (contamos com a sua participação também na próxima etapa).

Endereço de e-mail *

Endereço de e-mail válido

Este formulário coleta endereços de e-mail. [Alterar configurações](#)

Figura C.1 – Carta de apresentação do pesquisador no início do formulário no formato do Google Forms.

Fonte: O próprio autor

:::

Perfil Profissional

As perguntas abaixo numeradas entre 1 e 4 dizem respeito ao seu perfil profissional.

1. Quanto tempo de experiência profissional você possui na área de dutos?

Entre 0 e 10 anos.

Entre 10 e 20 anos.

Mais que 20 anos.

COMENTÁRIOS SOBRE A QUESTÃO 1 - Você entendeu a questão? Os mecanismos de explicação para respondê-la (quando houver) ajudou? A questão poderia ser aprimorada? Como? Há erros de português?

Texto de resposta longa
.....

2. Atualmente você trabalha para qual tipo de instituição relacionada à atividade dutoviária?

Empresa proprietária e/ou operadora de dutos.

Órgão regulador (exemplo: agências reguladoras, órgãos ambientais, etc).

Empresa de consultoria / profissional autônomo.

Universidade / Centros de Pesquisa.

Institutos ou associações.

Outros tipos de instituições.

Figura C.2 – Primeira página do formulário piloto no formato do Google Forms.
Fonte: O próprio autor

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

Este apêndice trata de informações específicas relacionadas ao questionário de pesquisa, obtido ao final do teste piloto e que foi submetido ao público indicado no Capítulo 3. São apresentados:

- 1) Carta de apresentação do pesquisador (ver Tabela D.1 e Figura D.1);
- 2) Conteúdo adicionado ao questionário de pesquisa (ver Tabela D.2);
- 3) Primeira página do questionário no formato do “*Google Forms*” (ver Figura D.2).

Tabela D.1 – Carta de apresentação enviada juntamente com o questionário de pesquisa.

Fonte: O próprio autor.

Carta de apresentação do pesquisador

Pesquisa Acadêmica - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O questionário a seguir refere-se a uma pesquisa acadêmica em desenvolvimento na Universidade Federal Fluminense - UFF pelo aluno Douglas Thiago da Silva Alves, sob orientação do Prof. Gilson Brito Alves Lima, a qual tem como um dos seus objetivos a definição de uma taxonomia de coleta adequada para o estabelecimento de um banco de dados de falhas em dutos de transporte no Brasil. Se aceitar participar, você responderá questões sobre o seu perfil profissional e perguntas objetivas sobre esse tema. Você deve gastar cerca de 15 a 25 minutos para finalizá-lo.

O benefício principal em fazer parte desta pesquisa é a possibilidade de contribuir para o aprimoramento do conhecimento científico relacionado ao gerenciamento de riscos e segurança inerentes à operação de dutos que compõem a malha dutoviária brasileira.

Sua participação ocorrerá de forma direta, respondendo o presente instrumento de pesquisa disponibilizado em modo virtual. Este termo tem por objetivo esclarecer que a sua participação é voluntária, e que não acarretará prejuízos, riscos e nem custos financeiros. Também não haverá remuneração financeira pela sua participação. Ressalta-se, ainda, que será garantida a confidencialidade e acurácia das informações prestadas e a sua total privacidade como colaborador. Vale também ressaltar que o(a) participante é detentor(a) do direito de ser informado sobre os resultados da pesquisa.


Ao assinar o presente Termo de Livre Consentimento você autoriza sua participação voluntária na pesquisa e aceita que seus dados coletados sejam usados para fins científicos. Também declara que foi informado dos objetivos e dos procedimentos desta pesquisa de forma clara e detalhada. Ao marcar a opção "OK" da caixa de seleção abaixo você estará assinando virtualmente o Termo de Consentimento. Uma das vias permanece com o participante e a outra fica com o pesquisador. Para obter sua via desse termo, basta imprimir esta página.

Por fim, caso tenha interesse em receber os resultados finais da pesquisa (tese), por favor entre em contato com o pesquisador, por e-mail (douglasthiago@gmail.com) e assim que estiverem prontos serão encaminhados aos interessados.

Tabela D.2 – Conteúdo adicionado ao questionário de pesquisa.

Fonte: O próprio autor.

| Solicitações ao respondente após Termo de Livre Consentimento | |
|---|---|
| Endereço de e-mail | |
| Opções | Sem opções (a ser obrigatoriamente preenchida pelo respondente) |
| Assinatura do Termo de Livre Consentimento | |
| Opções | OK (Obrigatório o respondente marcar esta opção para encaminhar as respostas) |
| Perfil profissional | |
| Comentário Explicativo | As perguntas abaixo numeradas entre 1 e 5 dizem respeito ao seu perfil profissional. |
| 1. Atualmente você trabalha para qual tipo de instituição relacionada à atividade dutoviária? Caso esteja aposentado ou em busca de recolocação no mercado, indique a opção que corresponda ao tipo de instituição em que você teve maior tempo de experiência até então. | |
| Opções | Empresa proprietária e/ou operadora de dutos. |
| | Órgão regulador (exemplo: agências reguladoras, órgãos ambientais, etc). |
| | Empresa fornecedora de equipamentos / prestação de serviços. |
| | Empresa de consultoria. |
| | Universidade / Centros de Pesquisa. |
| | Institutos / associações. |
| | Outros tipos de instituições. |
| Profissional autônomo. | |
| 2. Quanto tempo de experiência profissional você possui na atividade dutoviária? | |
| Opções | Entre 0 e 5 anos. |
| | Entre 6 e 10 anos. |
| | Entre 11 e 15 anos. |
| | Entre 16 a 20 anos. |
| | Mais de 20 anos. |
| 3. Considerando a sua experiência profissional, em qual das seguintes áreas de atuação relacionadas à atividade dutoviária você possui maior conhecimento/experiência? | |
| Opções | Escoamento/Hidráulica. |
| | Fabricação de tubos/equipamentos. |
| | Gestão/Planejamento/Monitoramento da Operação. |
| | Inspeção/limpeza (dutos, equipamentos, faixa, etc). |
| | Integridade de Dutos e Instalações/Corrosão. |
| | Manutenção e Reparo. |
| | Materiais/Metalurgia/Soldagem. |
| | Projeto/Construção e Montagem. |
| | Proteção Catódica/Revestimento. |
| | Regulação. |
| | Riscos e Confiabilidade. |
| Segurança e Meio Ambiente. | |
| 4. Considerando sua experiência profissional, como você avalia os seus conhecimentos relacionados às disciplinas segurança, riscos operacionais e/ou integridade aplicadas a dutos? | |
| Opções | Extremo conhecimento (possui curso de especialização e/ou experiência acima de 10 anos em pelo menos uma das disciplinas) |

| | |
|--|--|
| Opções | Muito conhecimento (experiência entre 6 e 10 anos em pelo menos uma das disciplinas) |
| | Conhecimento Intermediário (experiência entre 1 e 5 anos em pelo menos uma das disciplinas) |
| | Pouco conhecimento (utiliza os conceitos básicos das disciplinas no cotidiano profissional) |
| | Nenhum conhecimento (não possui familiaridade com os conceitos básicos das disciplinas) |
| 5. Selecione abaixo o(s) nome(s) da(s) instituição(ões) internacional(is) cujo(s) banco(s) de dados de falha de dutos você conheça e/ou já tenha utilizado/consultado. | |
| Opções | APIA (Australian Pipeline Industry Association) |
| | CER (Canadian Energy Regulator) (Antigo NEB - National Energy Board) |
| | CONCAWE (Environmental Science for European Refining) |
| | DOT (Department of Transportation - USA) |
| | EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group) |
| | NOSDRA (National Oil Spill Detection & Response Agency - Nigeria) |
| | UKOPA (United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association) |
| | Nenhuma das opções acima |
| Perguntas específicas | |
| Texto explicativo | <p>As perguntas de 6 a 24 foram elaboradas com o objetivo de auxiliar na definição da taxonomia a ser utilizada futuramente para a coleta e compilação de dados de falha referentes à malha dutoviária brasileira.</p> <p>As perguntas são classificadas em diferentes Dimensões e Fatores Temáticos, de acordo com o levantamento da literatura referente aos diversos benchmarks internacionais existentes atualmente. Estes benchmarks dizem respeito a bancos de dados aplicados às malhas dutoviárias (gasodutos e oleodutos) de países como Estados Unidos, Canadá, Austrália/Nova Zelândia, Nigéria, Reino Unido, e outros pertencentes à União Europeia.</p> <p>Para cada Dimensão/Fator Temático, serão relacionadas as variáveis que usualmente são coletadas pelos benchmarks. Solicita-se que seja indicada para cada uma delas qual a relevância de se coletar dados relacionados às mesmas para construção da taxonomia do banco de dados brasileiro, respeitando-se a escala tipo Likert proposta. As opções, em grau crescente de importância, são:</p> <p>1) Muito pouco relevante; 2) Pouco relevante; 3) Moderadamente relevante; 4) Muito relevante; 5) Extremamente relevante.</p> <p>Ressalta-se que, para as perguntas 6 a 19, deve ser utilizada a escala tipo Likert citada acima e evidenciada na figura a seguir. Para as demais (20 a 24), as mesmas constituem perguntas de múltipla escolha e, assim, deve ser selecionada a opção mais adequada na opinião do respondente.</p> <p>Escala tipo Likert a ser utilizada para responder às questões 6 a 19:</p> |
| |  |
| Dimensão de Análise – Eventos de falha | |
| Texto explicativo | Esta dimensão diz respeito às variáveis referentes aos eventos de falha que podem ocorrer na malha dutoviária brasileira, especificamente e apenas para os ativos que se encaixam na classificação da ANP como “dutos de Transporte”, conforme consta |

| | |
|--|--|
| | no Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural – RTDT (ANP, 2011) e Lei 9.478 de 08/06/1997. |
| Definições importantes para preenchimento do questionário: | |
| Texto explicativo | <p>Evento de falha: qualquer ocorrência que resulte em vazamento (liberação não planejada ou não controlada oriundo da perda de contenção primária) do produto transportado pelo duto.</p> <p>Produto: Neste caso específico, entende-se como qualquer substância perigosa que tem o potencial de causar danos (gases e líquidos inflamáveis/combustíveis, tóxicos e/ou asfixiantes) a pessoas, ao meio ambiente e/ou ao patrimônio (próprio ou de terceiros).</p> <p>Gasodutos de transporte: caracterizam-se como infraestruturas para movimentação de gás natural desde instalações de processamento, estocagem ou outros gasodutos de transporte até instalações de estocagem, outros gasodutos de transporte e pontos de entrega a concessionários estaduais de distribuição de gás natural (ANP).</p> <p>Oleodutos de transporte: são aqueles que movimentam petróleo, seus derivados e biocombustíveis em meio ou percurso considerado de interesse geral (ANP). Esclarece-se que dutos de gases liquefeitos (exemplo: GLP) são classificados como oleodutos.</p> |
| Fator Temático 1: Causas | |
| Texto explicativo | <p>Este fator temático diz respeito às causas que podem levar a eventos de falha em dutos de transporte.</p> <p>Deve ser avaliada, portanto, a relevância de se coletar informações sobre as causas de falha em dutos indicadas a seguir considerando o contexto da malha dutoviária brasileira.</p> |
| 6. Qual a relevância de coletar dados relacionados à causa "Corrosão" para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Neste contexto, indique a relevância de cada um dos tipos de corrosão relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Corrosão Interna •Corrosão Externa •Corrosão sob tensão (SCC) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 7. Qual a relevância de coletar dados relacionados à causa "Defeitos de Material, Fabricação e Montagem" para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Neste contexto, indique a relevância de cada um dos tipos de defeito de Material, Fabricação e Montagem relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Defeito no tubo •Defeito na solda longitudinal •Defeito na solda circunferencial •Defeitos em curvas ("winkles"/"buckles") |
| Opções: | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 8. Qual a relevância de coletar dados relacionados à causa "Falha de Equipamentos" para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Neste contexto, indique a relevância de cada um dos tipos de falha de equipamentos relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Falha em juntas/flanges •Falha em válvulas •Malfuncionamento de equipamentos de alívio/controle/intertravamento |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Falha em equipamentos dinâmicos (bombas, compressores, etc) • Demais falhas de equipamentos |
| Opções: | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 9. Qual a relevância de coletar dados relacionados à causa "Interferência externa" (ação de terceiros) para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Neste contexto, indique a relevância de cada um dos tipos de interferência externa (ação de terceiros) relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Dano mecânico não intencional (falha imediata) • Dano mecânico não intencional (falha não imediata) • Dano intencional (vandalismo, derivação clandestina, etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 10. Qual a relevância de coletar dados relacionados à causa "Operações incorretas" para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções: | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Neste contexto, indique a relevância de cada um dos tipos de falha operacional relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Procedimento operacional incorreto • Procedimento incorreto de manutenção/reparo |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 11. Qual a relevância de coletar dados relacionados à causa "Forças da Natureza" para a malha dutoviária brasileira? | |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> |
| Neste contexto, indique a relevância de cada um dos tipos de forças da natureza relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Condições extremas de calor ou frio (não previstas em projeto) • Ventos fortes • Ameaças hidrotécnicas (inundações, erosões, etc) • Ameaças geotécnicas (movimentação de solo) • Descargas elétricas (raios) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 2: Características do duto no local da falha | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito às características do duto no local e no momento em que eventualmente possa ocorrer a falha. |
| 12. Indique a relevância de coletar dados referentes a cada uma das variáveis relacionadas a seguir pertinentes às características do duto no local e no momento da ocorrência da falha: | |
| Características físicas/de projeto do duto no local e no momento da ocorrência da falha | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro do duto • Profundidade do duto no solo • Espessura da parede do duto • Fator de projeto • Tipo de tubo (Solda longitudinal/espiral, tubo sem costura, etc) • Ano de construção / instalação • Pressão de projeto • Pressão do Teste Hidrostático • Tipo de revestimento externo • Tipo de revestimento interno (se houver) • Trecho aéreo ou trecho enterrado • Tipo de travessia (se pertinente - travessias com rios, rodovias, ferrovias etc) |
| Variáveis operacionais no local e no momento da ocorrência da falha | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Produto transportado (e conseqüentemente liberado) no momento do vazamento |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Pressão Máxima de Operação • Pressão de Operação • Vazão no momento do vazamento |
| Dados temporais e localização geográfica do local de ocorrência da falha | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Coordenadas geográficas • Data do evento • Data e horário da detecção do vazamento • Data e horário estimados do início do vazamento • Data e horário da parada da operação do duto • Data e horário da parada do vazamento • Taxa de vazamento estimada antes da parada do bombeamento ou do fechamento das válvulas |
| Medidas de prevenção / mitigação de risco no local da ocorrência da falha | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Proteção Catódica • Medidas de mitigação existentes no local (exemplo: placas de concreto, sinalização, etc) • Registro se o trecho foi inspecionado anteriormente por PIGs (instrumentados ou geométrico) • Registro se o trecho foi inspecionado por vigilância aérea |
| Dados referentes à detecção do vazamento | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Forma através da qual o evento foi inicialmente identificado (notificação por pessoas do público, clientes, funcionários da operadora, etc) • Tipo de sistema de detecção de vazamento presente |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 3: Consequências | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito às consequências que eventualmente podem se desencadear em função da ocorrência da falha. Serão tratadas variáveis relacionadas ao dano no duto em si, bem como possíveis impactos às pessoas, ao meio ambiente e financeiros. |
| 13. Indique a relevância de registrar informações referentes aos modos de falha do duto relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Ruptura do duto (<i>Rupture</i>) • Furo (<i>leak</i>) • Trinca (<i>pinhole/crack</i>) • Registro se houve formação de cratera no solo e suas dimensões (comprimento, largura e profundidade) • Dimensões do furo (área, comprimento, largura etc) • Orientação do dano na seção transversal do duto (0-12 horas/0 a 360 graus) • Tipo de reparo utilizado • Falha de outros equipamentos que não o tubo (gaxeta, selo de bombas, etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 14. Indique a relevância de registrar informações referentes a eventuais impactos a pessoas e ao patrimônio relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Indicar se houve ignição do produto • Indicar se houve explosão • Indicar se houve incêndio • Número de fatalidades (se houver) • Número de feridos (se houver) • Danos a propriedades de terceiros (se houver) • Danos a outras instalações do operador/proprietário do duto • Raio de dano provocado pelo incêndio/explosão) • Densidade populacional da região afetada |

| | |
|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> •Classe de locação / Classificação do uso do solo na região afetada (área rural, área urbana, área industrial, etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 15. Indique a relevância de registrar informações referentes a eventuais impactos ao meio ambiente relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Quantidade de produto vazado •Quantidade de produto recuperado (remediação) •Extensão da área de solo afetada •Tempo total gasto para limpeza do ambiente afetado •Registro se o produto vazado atingiu corpo d'água •Classificação do corpo d'água atingido (águas superficiais ou águas subterrâneas, e se utilizado para captação/uso humano) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| 16. Indique a relevância de registrar informações referentes a eventuais impactos financeiros relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Perda financeira associada às consequências de incêndio e explosão •Perda financeira associada às consequências de poluição ambiental •Perda financeira referente ao valor monetário do volume de produto perdido •Período total associado ao não fornecimento do produto (parada operacional) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Dimensão de Análise - Malha dutoviária | |
| Texto explicativo | <p>Esta dimensão diz respeito às variáveis referentes à malha dutoviária brasileira, os quais devem ser coletados para elaboração de estatísticas.</p> <p>Para o cálculo da taxa de falha, por exemplo, são necessários dois tipos básicos de dados: a quantidade de eventos ocorridos e a extensão da malha, permitindo a normalização dos dados e a posterior comparação com estatísticas pertinentes a outros benchmarks.</p> <p>Além disso, estuda-se também a necessidade de diferenciação dos dados por tipo de duto ou por tipo de instalações pontuais onde eventualmente as falhas podem ocorrer.</p> |
| Definições importantes para preenchimento do questionário: | |
| Texto explicativo | <p>Evento de falha: qualquer ocorrência que resulte em vazamento (liberação não planejada ou não controlada oriundo da perda de contenção primária) do produto transportado pelo duto.</p> <p>Produto: Neste caso específico, entende-se como qualquer substância perigosa que tem o potencial de causar danos (gases e líquidos inflamáveis/combustíveis, tóxicos e/ou asfixiantes) a pessoas, ao meio ambiente e/ou ao patrimônio (próprio ou de terceiros).</p> <p>Gasodutos de transporte: caracterizam-se como infraestruturas para movimentação de gás natural desde instalações de processamento, estocagem ou outros gasodutos de transporte até instalações de estocagem, outros gasodutos de transporte e pontos de entrega a concessionários estaduais de distribuição de gás natural (ANP).</p> <p>Oleodutos de transporte: são aqueles que movimentam petróleo, seus derivados e biocombustíveis em meio ou percurso considerado de interesse geral (ANP).</p> |
| Fator Temático 1: Tipo de duto | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito ao tipo de duto de transporte onde eventualmente a falha pode ocorrer. |
| 17. Indique a relevância de registrar falhas referentes aos tipos de duto de transporte relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Falhas em gasodutos (gás natural, CO2, hidrogênio, etc) |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Falhas em oleodutos (petróleo, gases liquefeitos, derivados claros/escuros, álcool, etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 2: Trechos de duto e instalações associadas | |
| Texto explicativo | Este fator temático diz respeito aos trechos de duto e instalações associadas (áreas de válvulas, estações de bombeamento, estações de compressão, etc) onde eventualmente a falha pode ocorrer. |
| 18. Indique a relevância de registrar falhas referentes às seguintes trechos/instalações relacionados a seguir associadas aos dutos: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Trechos de duto extramuros • Estações de válvulas • Instalações pontuais intermediárias (Estações de bombeamento e de compressão, pontos de entrega, etc) • Trechos intramuros nas extremidades do duto (terminais, refinarias etc) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Fator Temático 3: Parâmetros associados à extensão da malha | |
| Texto explicativo | <p>Este fator temático diz respeito aos parâmetros associados à extensão da malha dutoviária brasileira e a sua evolução ao longo do tempo e que, caso disponíveis, possibilitam a realização de estatísticas de falha estratificadas por classes destes parâmetros (exemplo: avaliação do comportamento de falhas ao longo do tempo em função da idade dos dutos/ano de construção; diâmetro; espessura da parede, etc).</p> <p>A imagem a seguir, retirada de um dos benchmarks, ilustra este tipo de dado da malha dutoviária estratificado por classes de diâmetro.</p> <p>Exemplo gráfico que mostra a evolução da extensão da malha dutoviária de um dos benchmarks ao longo do tempo estratificada por classe de diâmetro (Fonte: EGIG - 10th report European Gas Pipeline Incident Data Group).</p> <p> ■ Unknown ■ diameter < 5" ■ 5" ≤ diameter < 11" ■ 11" ≤ diameter < 17" ■ 17" ≤ diameter < 23" ■ 23" ≤ diameter < 29" ■ 29" ≤ diameter < 35" ■ 35" ≤ diameter < 41" ■ 41" ≤ diameter < 47" ■ diameter ≥ 47" </p> |
| 19. Indique a relevância de coletar informações relacionadas à evolução da malha dutoviária brasileira ao longo do tempo estratificadas pelos parâmetros relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Ano de construção / instalação • Diâmetro • Espessura da parede do duto • Pressão Máxima Operacional (PMOA) • Profundidade do trecho de duto no solo • Classe de locação / Uso do solo • Grau do material do tubo |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Presença de proteção catódica • Tipo de produto transportado • Tipo de revestimento externo • Volume de produto total transportado por ano • Tipo de ferramenta de inspeção (PIG) empregada • Tipo de duto (gasoduto, oleoduto) |
| Opções | Escala tipo <i>Likert</i> aplicada a todas as variáveis acima |
| Dimensão de Análise - Gestão | |
| Texto explicativo | Esta dimensão diz respeito às variáveis referentes à gestão do banco de dados nacional a ser constituído futuramente mediante a aplicação da taxonomia a ser obtida por meio deste trabalho de pesquisa. |
| Fator Temático 1: Implementação e Manutenção | |
| Texto explicativo | Este fator temático busca compreender qual seria a melhor forma de se realizar a implementação e posterior manutenção do banco de dados nacional de falhas em dutos. |
| 20. Qual das opções abaixo você entende que seria a mais adequada para a implementação e posterior manutenção do banco de dados nacional de falha em dutos terrestres? | |
| Opções | Banco de dados implementado e mantido por instituição privada |
| | Banco de dados implementado e mantido por órgão regulador |
| Fator Temático 2: Publicidade/sigilo dos dados | |
| Texto explicativo | Este fator temático busca capturar se informações a serem coletadas futuramente através do banco de dados deverão ser mantidas em sigilo ou publicadas abertamente ao público em geral. |
| 21. Com relação à publicidade e ao sigilo dos dados a serem coletados, qual das opções abaixo seria a mais adequada na sua opinião? | |
| Opções | Dados específicos de cada evento de falha e respectivas estatísticas disponíveis em sua totalidade de forma gratuita ao público em geral. |
| | Dados específicos de cada evento de falha restritos ao grupo de empresas organizadoras do banco de dados (garantindo-se a confidencialidade da origem dos dados), porém com disponibilização de forma gratuita de um relatório contendo estatísticas de falha da malha dutoviária como um todo para o público em geral. |
| | Dados específicos de cada evento de falha e respectivas estatísticas restritos apenas aos membros do grupo de empresas organizadoras do banco de dados. |
| Fator Temático 3: Separação da coleta e tratamento de dados | |
| Texto explicativo | Este fator temático busca verificar se há necessidade de se elaborar formulários de coleta de dados específicos para cada tipo de duto (gasoduto / oleoduto) e posterior tratamento dos dados. |
| 22. Qual das opções abaixo seria a mais adequada no que se refere à coleta e posterior tratamento dos dados de falha em gasodutos e oleodutos? | |
| Opções | Aplicação de formulários de coleta específicos para cada tipo de duto (oleoduto/gasoduto), com posterior tratamento dos dados de forma separada (apresentação de estatísticas de falha para cada tipo de duto). |
| | Aplicação de formulários de coleta específicos para cada tipo de duto (oleoduto/gasoduto), porém com posterior tratamento dos dados de forma conjunta (apresentação de estatísticas de falha de forma conjunta). |
| | Aplicação de formulários de coleta único, com posterior tratamento dos dados de forma conjunta (apresentação de estatísticas de falha de forma conjunta para gasodutos/oleodutos). |
| Fator Temático 4: Critérios de reporte | |
| Texto explicativo | Este fator temático busca averiguar quais critérios devem ser atendidos para que um dado evento seja considerado como pertencente ao escopo do banco de dados de falha. |

| | |
|--|--|
| 23. Para GASODUTOS, qual tipo de critério de reporte seria o mais adequado para utilização no banco de dados de falha de dutos brasileiro? | |
| Opções | Eventos de vazamento (perda de contenção primária) cujo impacto financeiro atinja um valor mínimo (exemplo: R\$ 50 mil). |
| | Eventos de vazamento (perda de contenção primária) que atinjam um valor de volume mínimo liberado para o meio ambiente (exemplo: 1 m3) |
| | Qualquer evento que resulte em vazamento (perda de contenção primária), independente de suas consequências. |
| 24. Para OLEODUTOS, qual tipo de critério de reporte seria o mais adequado para utilização no banco de dados de falha de dutos brasileiro? | |
| Opções | Eventos de vazamento (perda de contenção primária) cujo impacto financeiro atinja um valor mínimo (exemplo: R\$ 50 mil). |
| | Eventos de vazamento (perda de contenção primária) que atinjam um valor de volume mínimo liberado para o meio ambiente (exemplo: 1 m3) |
| | Qualquer evento que resulte em vazamento (perda de contenção primária), independente de suas consequências. |
| 25. COMENTÁRIOS GERAIS (OPCIONAL) - Caso queira, faça as suas considerações finais a respeito da sua percepção ao responder o questionário. Contribuições adicionais são bem vindas. | |
| Opções | Sem opções (a ser voluntariamente preenchida pelo respondente) |



Seção 1 de 6

Questionário - Banco de Dados Nacional de Dutos Terrestres

Pesquisa Acadêmica - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O questionário a seguir refere-se a uma pesquisa acadêmica em desenvolvimento na Universidade Federal Fluminense - UFF pelo aluno Douglas Thiago da Silva Alves, sob orientação do Prof. Gilson Brito Alves Lima, a qual tem como um dos seus objetivos a definição de uma taxonomia de coleta adequada para o estabelecimento de um banco de dados de falhas em dutos de transporte no Brasil. Se aceitar participar, você responderá questões sobre o seu perfil profissional e perguntas objetivas sobre esse tema. Você deve gastar cerca de 15 a 25 minutos para finalizá-lo.

O benefício principal em fazer parte desta pesquisa é a possibilidade de contribuir para o aprimoramento do conhecimento científico relacionado ao gerenciamento de riscos e segurança inerentes à operação de dutos que compõem a malha dutoviária brasileira.

Sua participação ocorrerá de forma direta, respondendo o presente instrumento de pesquisa disponibilizado em modo virtual. Este termo tem por objetivo esclarecer que a sua participação é voluntária, e que não acarretará prejuízos, riscos e nem custos financeiros. Também não haverá remuneração financeira pela sua participação. Ressalta-se, ainda, que será garantida a confidencialidade e a acurácia das informações prestadas e a sua total privacidade como colaborador. Vale também ressaltar que o(a) participante é detentor(a) do direito de ser informado sobre os resultados da pesquisa.

Ao assinar o presente Termo de Livre Consentimento você autoriza sua participação voluntária na pesquisa e aceita que seus dados coletados sejam usados para fins científicos. Também declara que foi informado dos objetivos e dos procedimentos desta pesquisa de forma clara e detalhada. Ao marcar a opção "OK" da caixa de seleção abaixo você estará assinando virtualmente o Termo de Consentimento. Uma das vias permanece com o participante e a outra fica com o pesquisador. Para obter sua via desse termo, basta imprimir esta página.

Por fim, caso tenha interesse em receber os resultados finais da pesquisa (tese), por favor entre em contato com o pesquisador, por e-mail (douglasthiago@gmail.com) e assim que estiverem prontos serão encaminhados aos interessados.

Endereço de e-mail *

Endereço de e-mail válido

Este formulário coleta endereços de e-mail. [Alterar configurações](#)

Figura D.1 – Carta de apresentação do pesquisador no início do questionário de pesquisa no formato do *Google Forms*.

Fonte: O próprio autor

Assinatura do Termo de Livre Consentimento *

OK

Perfil Profissional

As perguntas abaixo numeradas entre 1 e 5 dizem respeito ao seu perfil profissional.

1. Atualmente você trabalha para qual tipo de instituição relacionada à atividade dutoviária? *
Caso esteja aposentado ou em busca de recolocação no mercado, indique a opção que corresponda ao tipo de instituição em que você teve maior tempo de experiência até então.

Empresa proprietária e/ou operadora de dutos.

Órgão regulador (exemplo: agências reguladoras, órgãos ambientais, etc).

Empresa fornecedora de equipamentos / prestação de serviços.

Empresa de consultoria.

Universidade / Centros de Pesquisa.

Institutos / associações.

Outros tipos de instituições.

Profissional autônomo.

...

2. Quanto tempo de experiência profissional você possui na atividade dutoviária? *

Entre 0 e 5 anos.

Entre 6 e 10 anos.

Entre 11 e 15 anos.

Entre 16 a 20 anos.

Mais de 20 anos.

Figura D.2 – Primeira página do questionário de pesquisa no formato do *Google Forms*.
Fonte: O próprio autor

APÊNDICE E – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

Através deste apêndice visa-se explicitar as respostas obtidas por meio da pesquisa de campo, referentes às Dimensões “Eventos”, “Malha dutoviária” e “Gestão”, bem como indicar a codificação para o pleno entendimento dos dados.

Primeiramente, as perguntas específicas e respectivas variáveis apresentadas na Tabela D.2 foram numeradas seguindo a relação apresentada na Tabela E.1 a seguir.

Tabela E.1 – Codificação das perguntas e respectivas variáveis do questionário de pesquisa.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensão de Análise: Eventos de Falha | | |
|---------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Fator Temático 1: Causas | | |
| Item | Tema | Código |
| Pergunta 6 | Corrosão (de forma geral) | 6.0 |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Corrosão Interna •Corrosão Externa •Corrosão sob tensão (SCC) | 6.1 6.2 6.3 |
| Pergunta 7 | Defeito de Material, Fabricação e Montagem (de forma geral) | 7.0 |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Defeito no tubo •Defeito na solda longitudinal •Defeito na solda circunferencial •Defeitos em curvas ("<i>winkles</i>"/"<i>buckles</i>") | 7.1 7.2 7.3 7.4 |
| Pergunta 8 | Falha de Equipamentos (de forma geral) | 8.0 |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Falha em juntas/flanges •Falha em válvulas •Malfuncionamento de equipamentos •Falha em equipamentos dinâmicos •Demais falhas de equipamentos | 8.1 8.2 8.3 8.4 8.5 |
| Pergunta 9 | Interferência Externa (de forma geral) | 9.0 |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Dano mecânico não intencional (falha imediata) •Dano mecânico não intencional (falha não imediata) •Dano intencional (vandalismo, etc) | 9.1 9.2 9.3 |
| Pergunta 10 | Falha Operacional (de forma geral) | 10.0 |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Procedimento operacional incorreto •Procedimento incorreto de manutenção/reparo | 10.1 10.2 |
| Pergunta 11 | Forças da Natureza (de forma geral) | 11.0 |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> •Condições extremas de calor ou frio (não previstas em projeto) •Ventos fortes •Ameaças hidrotécnicas (inundações, erosões, etc) •Ameaças geotécnicas (movimentação de solo) •Descargas elétricas (raios) | 11.1 11.2 11.3 11.4 11.5 |

| Fator Temático 2: Características do duto no local da falha | | |
|---|--|-------|
| Pergunta 12 | Características físicas/de projeto do duto no local e no momento da ocorrência da falha | |
| Variáveis | •Diâmetro do duto | 12.1 |
| | •Profundidade do duto no solo | 12.2 |
| | •Espessura da parede do duto | 12.3 |
| | •Fator de projeto | 12.4 |
| | •Tipo de tubo | 12.5 |
| | •Ano de construção / instalação | 12.6 |
| | •Pressão de projeto | 12.7 |
| | •Pressão do Teste Hidrostático | 12.8 |
| | •Tipo de revestimento externo | 12.9 |
| | •Tipo de revestimento interno (se houver) | 12.10 |
| | •Trecho aéreo ou trecho enterrado | 12.11 |
| | •Tipo de travessia | 12.12 |
| Variáveis operacionais no local e no momento da ocorrência da falha | | |
| Variáveis | •Produto transportado no momento do vazamento | 12.13 |
| | •Pressão Máxima de Operação | 12.14 |
| | •Pressão de Operação | 12.15 |
| | •Vazão no momento do vazamento | 12.16 |
| Dados temporais e localização geográfica do local de ocorrência da falha | | |
| Variáveis | •Coordenadas geográficas | 12.17 |
| | •Data do evento | 12.18 |
| | •Data e horário da detecção do vazamento | 12.19 |
| | •Data e horário estimados do início do vazamento | 12.20 |
| | •Data e horário da parada da operação do duto | 12.21 |
| | •Data e horário da parada do vazamento | 12.22 |
| | •Taxa de vazamento estimada antes da parada | 12.23 |
| Medidas de prevenção / mitigação de risco no local da ocorrência da falha | | |
| Variáveis | •Tipo de Proteção Catódica | 12.24 |
| | •Medidas de mitigação existentes no local | 12.25 |
| | •Registro se o trecho foi inspecionado anteriormente por PIGs | 12.26 |
| | •Registro se o trecho foi inspecionado por vigilância aérea | 12.27 |
| Dados referentes à detecção do vazamento | | |
| Variáveis | •Forma através da qual o evento foi inicialmente identificado | 12.28 |
| | •Tipo de sistema de detecção de vazamento presente | 12.29 |
| Fator Temático 3: Consequências | | |
| Pergunta 13 | Indique a relevância de registrar informações referentes aos modos de falha do duto relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | •Ruptura do duto (<i>Rupture</i>) | 13.1 |
| | •Furo (<i>leak</i>) | 13.2 |
| | •Trinca (<i>pinhole/crack</i>) | 13.3 |
| | •Registro se houve formação de cratera e suas dimensões | 13.4 |
| | •Dimensões do furo | 13.5 |
| | •Orientação do dano na seção transversal do duto | 13.6 |
| | •Tipo de reparo utilizado | 13.7 |
| | •Falha de outros equipamentos que não o tubo | 13.8 |
| Pergunta 14 | Indique a relevância de registrar informações referentes a eventuais impactos a pessoas e ao patrimônio relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | •Indicar se houve ignição do produto | 14.1 |
| | •Indicar se houve explosão | 14.2 |

| | | |
|--|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Indicar se houve incêndio • Número de fatalidades (se houver) • Número de feridos (se houver) • Danos a propriedades de terceiros (se houver) • Danos a outras instalações do operador/proprietário do duto • Raio de dano provocado pelo incêndio/explosão) • Densidade populacional da região afetada • Classe de locação / Classificação do uso do solo na região afetada | <p>14.3</p> <p>14.4</p> <p>14.5</p> <p>14.6</p> <p>14.7</p> <p>14.8</p> <p>14.9</p> <p>14.10</p> |
| Pergunta 15 | Indique a relevância de registrar informações referentes a eventuais impactos ao meio ambiente relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de produto vazado • Quantidade de produto recuperado (remediação) • Extensão da área de solo afetada • Tempo total gasto para limpeza do ambiente afetado • Registro se o produto vazado atingiu corpo d'água • Classificação do corpo d'água atingido | <p>15.1</p> <p>15.2</p> <p>15.3</p> <p>15.4</p> <p>15.5</p> <p>15.6</p> |
| Pergunta 16 | Indique a relevância de registrar informações referentes a eventuais impactos financeiros relacionadas a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Perda financeira associada a incêndio e explosão • Perda financeira associada a poluição ambiental • Perda financeira referente ao volume de produto perdido • Período total associado ao não fornecimento do produto | <p>16.1</p> <p>16.2</p> <p>16.3</p> <p>16.4</p> |
| Dimensão de Análise - Malha dutoviária | | |
| Fator Temático 1: Tipo de duto | | |
| Pergunta 17 | Indique a relevância de registrar falhas referentes aos tipos de duto de transporte relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Falhas em gasodutos • Falhas em oleodutos | <p>17.1</p> <p>17.2</p> |
| Fator Temático 2: Trechos de duto e instalações associadas | | |
| Pergunta 18 | Indique a relevância de registrar falhas referentes às seguintes trechos/instalações relacionados a seguir associadas aos dutos: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Trechos de duto extramuros • Estações de válvulas • Instalações pontuais intermediárias • Trechos intramuros nas extremidades do duto | <p>18.1</p> <p>18.2</p> <p>18.3</p> <p>18.4</p> |
| Fator Temático 3: Parâmetros associados à extensão da malha | | |
| Pergunta 19 | Indique a relevância de coletar informações relacionadas à evolução da malha dutoviária brasileira ao longo do tempo estratificadas pelos parâmetros relacionados a seguir: | |
| Variáveis | <ul style="list-style-type: none"> • Ano de construção / instalação • Diâmetro • Espessura da parede do duto • Pressão Máxima Operacional (PMOA) • Profundidade do trecho de duto no solo • Classe de locação / Uso do solo • Grau do material do tubo • Presença de proteção catódica • Tipo de produto transportado • Tipo de revestimento externo • Volume de produto total transportado por ano • Tipo de ferramenta de inspeção (PIG) empregada • Tipo de duto (gasoduto, oleoduto) | <p>19.1</p> <p>19.2</p> <p>19.3</p> <p>19.4</p> <p>19.5</p> <p>19.6</p> <p>19.7</p> <p>19.8</p> <p>19.9</p> <p>19.10</p> <p>19.11</p> <p>19.12</p> <p>19.13</p> |

| Dimensão de Análise - Gestão | | |
|---|--|----|
| Fator Temático 1: Implementação e Manutenção | | |
| Pergunta 20 | Qual das opções abaixo você entende que seria a mais adequada para a implementação e posterior manutenção do banco de dados nacional de falha em dutos terrestres? | 20 |
| Fator Temático 2: Publicidade/sigilo dos dados | | |
| Pergunta 21 | Com relação à publicidade e ao sigilo dos dados a serem coletados, qual das opções abaixo seria a mais adequada na sua opinião? | 21 |
| Fator Temático 3: Separação da coleta e tratamento de dados | | |
| Pergunta 22 | Qual das opções abaixo seria a mais adequada no que se refere à coleta e posterior tratamento dos dados de falha em gasodutos e oleodutos? | 22 |
| Fator Temático 4: Critérios de reporte | | |
| Pergunta 23 | Para GASODUTOS, qual tipo de critério de reporte seria o mais adequado para utilização no banco de dados de falha de dutos brasileiro? | 23 |
| Pergunta 24 | Para OLEODUTOS, qual tipo de critério de reporte seria o mais adequado para utilização no banco de dados de falha de dutos brasileiro? | 24 |

Conforme explicado no Capítulo 4, os itens referentes às duas primeiras dimensões (6.0 a 19.13) foram avaliados com base na escala tipo *Likert* proposta na Figura 21, enquanto que aqueles pertencentes à Dimensão “Gestão” (20 a 24) foram avaliados com base em alternativas excludentes.

A codificação das respostas utilizada para o reporte dos dados é apresentada na Tabela E.2.

Tabela E.2 – Codificação das respostas do questionário de pesquisa.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensões de Análise: “Eventos de Falha” e “Malha Dutoviária” | | |
|---|---|--------|
| Itens | Respostas possíveis | Código |
| 6.0 a 19.13 | • Muito pouco relevante | 1 |
| | • Pouco relevante | 2 |
| | • Moderadamente relevante | 3 |
| | • Muito relevante | 4 |
| | • Extremamente relevante | 5 |
| Dimensão de Análise: “Gestão” | | |
| Itens | Respostas possíveis | Código |
| 20 | • Banco de dados implementado e mantido por instituição privada | 1 |
| | • Banco de dados implementado e mantido por órgão regulador | 2 |
| 21 | • Dados específicos de cada evento de falha e respectivas estatísticas disponíveis em sua totalidade de forma gratuita ao público em geral. | 1 |
| | • Dados específicos de cada evento de falha restritos ao grupo de empresas organizadoras do banco de dados (garantindo-se a confidencialidade da origem dos dados), porém com disponibilização de forma gratuita de um relatório contendo estatísticas de falha da malha dutoviária como um todo para o público em geral. | 2 |
| | • Dados específicos de cada evento de falha e respectivas estatísticas restritos apenas aos membros do grupo de empresas organizadoras do banco de dados. | 3 |

| | | |
|---------|---|---|
| 22 | •Aplicação de formulários de coleta específicos para cada tipo de duto (oleoduto/gasoduto), com posterior tratamento dos dados de forma separada (apresentação de estatísticas de falha para cada tipo de duto). | 1 |
| | •Aplicação de formulários de coleta específicos para cada tipo de duto (oleoduto/gasoduto), porém com posterior tratamento dos dados de forma conjunta (apresentação de estatísticas de falha de forma conjunta). | 2 |
| | •Aplicação de formulários de coleta único, com posterior tratamento dos dados de forma conjunta (apresentação de estatísticas de falha de forma conjunta para gasodutos/oleodutos). | 3 |
| 23 e 24 | •Eventos de vazamento (perda de contenção primária) cujo impacto financeiro atinja um valor mínimo (exemplo: R\$ 50 mil). | 1 |
| | •Eventos de vazamento (perda de contenção primária) que atinjam um valor de volume mínimo liberado para o meio ambiente (exemplo: 1 m3) | 2 |
| | •Qualquer evento que resulte em vazamento (perda de contenção primária), independente de suas consequências. | 3 |

APÊNDICE F – ESTATÍSTICAS REFERENTES AOS RESULTADOS DA PESQUISA

As Tabelas F.1 a F.4 a seguir apresentam estatísticas elaboradas a partir dos resultados explicitados no apêndice anterior. Em função de se ter trabalhado para a maioria das perguntas (6.0 a 19.13) com uma escala tipo *Likert*, a qual é classificada como uma escala ordinal, optou-se pela adoção da moda e da mediana como medidas de tendência central, enquanto que a análise da dispersão dos dados foi baseada na frequência de ocorrência das respostas (variando de 1 a 5, conforme Tabela E.2) para cada pergunta.

As referidas informações são evidenciadas a seguir.

Tabela F.1 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Fator Temático “Causas”.

Fonte: O próprio autor.

| | Corrosão | | | | Defeito de material | | | | | Equipamentos | | | | | Int. Externa | | | | Operacional | | | Forças da natureza | | | | | | |
|------------|--|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|-------------|------|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Perguntas | 6.0 | 6.1 | 6.2 | 6.3 | 7.0 | 7.1 | 7.2 | 7.3 | 7.4 | 8.0 | 8.1 | 8.2 | 8.3 | 8.4 | 8.5 | 9.0 | 9.1 | 9.2 | 9.3 | 10.0 | 10.1 | 10.2 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 11.3 | 11.4 | 11.5 |
| Parâmetros | Medidas de tendência central e amplitude | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moda | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 |
| Mediana | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 |
| Mínimo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Máximo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | Frequência absoluta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13 | 21 | 1 | 1 | 6 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 9 | 6 | 4 | 6 | 7 | 9 | 11 | 3 | 20 | 25 | 0 | 2 | 4 | 1 | 7 | 5 | 6 | 8 | 43 | 56 | 8 | 2 | 21 |
| 3 | 4 | 14 | 12 | 27 | 23 | 49 | 33 | 23 | 36 | 37 | 41 | 36 | 30 | 55 | 75 | 5 | 16 | 27 | 6 | 34 | 34 | 25 | 40 | 63 | 57 | 31 | 17 | 48 |
| 4 | 42 | 56 | 57 | 52 | 80 | 68 | 67 | 70 | 75 | 74 | 68 | 74 | 65 | 65 | 49 | 33 | 53 | 61 | 27 | 70 | 64 | 64 | 79 | 29 | 29 | 70 | 49 | 65 |
| 5 | 129 | 104 | 106 | 94 | 73 | 53 | 72 | 81 | 60 | 61 | 59 | 59 | 82 | 37 | 27 | 142 | 109 | 88 | 146 | 69 | 77 | 85 | 51 | 32 | 17 | 70 | 111 | 40 |
| 1, 2 e 3 | 9 | 20 | 17 | 34 | 27 | 59 | 41 | 29 | 45 | 45 | 53 | 47 | 33 | 78 | 104 | 5 | 18 | 31 | 7 | 41 | 39 | 31 | 50 | 119 | 134 | 40 | 20 | 75 |
| 4 e 5 | 171 | 160 | 163 | 146 | 153 | 121 | 139 | 151 | 135 | 135 | 127 | 133 | 147 | 102 | 76 | 175 | 162 | 149 | 173 | 139 | 141 | 149 | 130 | 61 | 46 | 140 | 160 | 105 |
| | Frequência percentual | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2% | 2% | 2% | 2% | 1% | 1% | 1% | 1% | 2% | 1% | 2% | 0% | 0% | 2% | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 7% | 12% | 1% | 1% | 3% |
| 2 | 1% | 1% | 1% | 2% | 2% | 5% | 3% | 2% | 3% | 4% | 5% | 6% | 2% | 11% | 14% | 0% | 1% | 2% | 1% | 4% | 3% | 3% | 4% | 24% | 31% | 4% | 1% | 12% |
| 3 | 2% | 8% | 7% | 15% | 13% | 27% | 18% | 13% | 20% | 21% | 23% | 20% | 17% | 31% | 42% | 3% | 9% | 15% | 3% | 19% | 19% | 14% | 22% | 35% | 32% | 17% | 9% | 27% |
| 4 | 23% | 31% | 32% | 29% | 44% | 38% | 37% | 39% | 42% | 41% | 38% | 41% | 36% | 36% | 27% | 18% | 29% | 34% | 15% | 39% | 36% | 36% | 44% | 16% | 16% | 39% | 27% | 36% |
| 5 | 72% | 58% | 59% | 52% | 41% | 29% | 40% | 45% | 33% | 34% | 33% | 33% | 46% | 21% | 15% | 79% | 61% | 49% | 81% | 38% | 43% | 47% | 28% | 18% | 9% | 39% | 62% | 22% |
| 1, 2 e 3 | 5% | 11% | 9% | 19% | 15% | 33% | 23% | 16% | 25% | 25% | 29% | 26% | 18% | 43% | 58% | 3% | 10% | 17% | 4% | 23% | 22% | 17% | 28% | 66% | 74% | 22% | 11% | 42% |
| 4 e 5 | 95% | 89% | 91% | 81% | 85% | 67% | 77% | 84% | 75% | 75% | 71% | 74% | 82% | 57% | 42% | 97% | 90% | 83% | 96% | 77% | 78% | 83% | 72% | 34% | 26% | 78% | 89% | 58% |
| 1, 2 e 3 | 11% | | | | 22% | | | | | 33% | | | | | 8% | | | | 21% | | | 41% | | | | | | |
| 4 e 5 | 89% | | | | 78% | | | | | 67% | | | | | 92% | | | | 79% | | | 59% | | | | | | |

Tabela F.2 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Fator Temático “Características do Local”.

Fonte: O próprio autor.

| | Características do duto no local da falha | | | | | | | | | | | | Variáveis operacionais | | | | Dados temporais | | | | | | Medidas de prevenção | | | | | Detecção | |
|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| Perguntas | 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 12.9 | 12.10 | 12.11 | 12.12 | 12.13 | 12.14 | 12.15 | 12.16 | 12.17 | 12.18 | 12.19 | 12.20 | 12.21 | 12.22 | 12.23 | 12.24 | 12.25 | 12.26 | 12.27 | 12.28 | 12.29 |
| Parâmetros | Medidas de tendência central e amplitude | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moda | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| Mediana | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Mínimo | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Máximo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | Frequência absoluta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| 2 | 9 | 1 | 1 | 9 | 11 | 3 | 6 | 8 | 4 | 14 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 6 | 6 | 13 | 7 | 9 | 10 | 7 | 5 | 11 | 3 | 3 | 13 | 7 | 5 |
| 3 | 37 | 27 | 14 | 48 | 36 | 40 | 18 | 31 | 31 | 58 | 25 | 23 | 13 | 26 | 20 | 29 | 40 | 44 | 36 | 43 | 34 | 38 | 29 | 37 | 29 | 23 | 60 | 34 | 28 |
| 4 | 58 | 81 | 60 | 64 | 79 | 69 | 65 | 69 | 84 | 67 | 64 | 62 | 37 | 58 | 54 | 55 | 54 | 50 | 69 | 61 | 74 | 72 | 69 | 65 | 71 | 52 | 63 | 67 | 60 |
| 5 | 75 | 71 | 105 | 58 | 53 | 67 | 91 | 72 | 61 | 39 | 88 | 92 | 129 | 93 | 105 | 90 | 78 | 73 | 67 | 66 | 62 | 63 | 76 | 67 | 77 | 101 | 41 | 70 | 87 |
| 1, 2 e 3 | 47 | 28 | 15 | 58 | 48 | 44 | 24 | 39 | 35 | 74 | 28 | 26 | 14 | 29 | 21 | 35 | 48 | 57 | 44 | 53 | 44 | 45 | 35 | 48 | 32 | 27 | 76 | 43 | 33 |
| 4 e 5 | 133 | 152 | 165 | 122 | 132 | 136 | 156 | 141 | 145 | 106 | 152 | 154 | 166 | 151 | 159 | 145 | 132 | 123 | 136 | 127 | 136 | 135 | 145 | 132 | 148 | 153 | 104 | 137 | 147 |
| | Frequência percentual | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1% | 0% | 0% | 1% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% | 2% | 1% | 0% |
| 2 | 5% | 1% | 1% | 5% | 6% | 2% | 3% | 4% | 2% | 8% | 2% | 2% | 1% | 1% | 1% | 3% | 3% | 7% | 4% | 5% | 6% | 4% | 3% | 6% | 2% | 2% | 7% | 4% | 3% |
| 3 | 21% | 15% | 8% | 27% | 20% | 22% | 10% | 17% | 17% | 32% | 14% | 13% | 7% | 14% | 11% | 16% | 22% | 24% | 20% | 24% | 19% | 21% | 16% | 21% | 16% | 13% | 33% | 19% | 16% |
| 4 | 32% | 45% | 33% | 36% | 44% | 38% | 36% | 38% | 47% | 37% | 36% | 34% | 21% | 32% | 30% | 31% | 30% | 28% | 38% | 34% | 41% | 40% | 38% | 36% | 39% | 29% | 35% | 37% | 33% |
| 5 | 42% | 39% | 58% | 32% | 29% | 37% | 51% | 40% | 34% | 22% | 49% | 51% | 72% | 52% | 58% | 50% | 43% | 41% | 37% | 37% | 34% | 35% | 42% | 37% | 43% | 56% | 23% | 39% | 48% |
| 1, 2 e 3 | 26% | 16% | 8% | 32% | 27% | 24% | 13% | 22% | 19% | 41% | 16% | 14% | 8% | 16% | 12% | 19% | 27% | 32% | 24% | 29% | 24% | 25% | 19% | 27% | 18% | 15% | 42% | 24% | 18% |
| 4 e 5 | 74% | 84% | 92% | 68% | 73% | 76% | 87% | 78% | 81% | 59% | 84% | 86% | 92% | 84% | 88% | 81% | 73% | 68% | 76% | 71% | 76% | 75% | 81% | 73% | 82% | 85% | 58% | 76% | 82% |
| | Global | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1, 2 e 3 | 22% | | | | | | | | | | | | 14% | | | | 26% | | | | | | 25% | | | | | 21% | |
| 4 e 5 | 78% | | | | | | | | | | | | 86% | | | | 74% | | | | | | 75% | | | | | 79% | |

Tabela F.3 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Fator Temático “Consequências”.

Fonte: O próprio autor.

| | Modo de Falha | | | | | | | | Impacto a pessoas e ao patrimônio | | | | | | | | | | Impacto ao Meio Ambiente | | | | | Impacto Financeiro | | | | | | |
|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------------------------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|---|---|
| Perguntas | 13.1 | 13.2 | 13.3 | 13.4 | 13.5 | 13.6 | 13.7 | 13.8 | 14.1 | 14.2 | 14.3 | 14.4 | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 14.8 | 14.9 | 14.10 | 15.1 | 15.2 | 15.3 | 15.4 | 15.5 | 15.6 | 16.1 | 16.2 | 16.3 | 16.4 | | |
| Parâmetros | Medidas de tendência central e amplitude | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moda | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | | |
| Mediana | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | |
| Mínimo | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | | |
| Máximo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | Frequência absoluta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | 1 | | |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 12 | 5 | 7 | 8 | 12 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 9 | 4 | 14 | 5 | 5 | 4 | 4 | 19 | 11 | | |
| 3 | 3 | 1 | 5 | 30 | 16 | 23 | 38 | 33 | 7 | 8 | 8 | 4 | 5 | 18 | 22 | 17 | 18 | 20 | 8 | 37 | 21 | 48 | 15 | 24 | 46 | 37 | 66 | 50 | | |
| 4 | 29 | 45 | 39 | 84 | 63 | 62 | 72 | 69 | 40 | 35 | 36 | 24 | 25 | 56 | 62 | 49 | 47 | 55 | 39 | 60 | 56 | 71 | 29 | 34 | 77 | 72 | 58 | 62 | | |
| 5 | 147 | 133 | 135 | 52 | 95 | 86 | 59 | 61 | 132 | 137 | 136 | 151 | 147 | 102 | 93 | 113 | 111 | 103 | 133 | 71 | 97 | 44 | 129 | 115 | 53 | 67 | 33 | 56 | | |
| 1, 2 e 3 | 4 | 2 | 6 | 44 | 22 | 32 | 49 | 50 | 8 | 8 | 8 | 5 | 8 | 22 | 25 | 18 | 22 | 22 | 8 | 49 | 27 | 65 | 22 | 31 | 50 | 41 | 89 | 62 | | |
| 4 e 5 | 176 | 178 | 174 | 136 | 158 | 148 | 131 | 130 | 172 | 172 | 172 | 175 | 172 | 158 | 155 | 162 | 158 | 158 | 172 | 131 | 153 | 115 | 158 | 149 | 130 | 139 | 91 | 118 | | |
| | Frequência percentual | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 1% | 2% | 3% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 2% | 1% | 0% | 1% | 1% | 0% | 2% | 1% | 2% | 1% | 1% | 0% | 0% | 2% | 1% | | |
| 2 | 1% | 1% | 1% | 7% | 3% | 4% | 4% | 7% | 1% | 0% | 0% | 1% | 1% | 1% | 1% | 1% | 1% | 1% | 0% | 5% | 2% | 8% | 3% | 3% | 2% | 2% | 11% | 6% | | |
| 3 | 2% | 1% | 3% | 17% | 9% | 13% | 21% | 18% | 4% | 4% | 4% | 2% | 3% | 10% | 12% | 9% | 10% | 11% | 4% | 21% | 12% | 27% | 8% | 13% | 26% | 21% | 37% | 28% | | |
| 4 | 16% | 25% | 22% | 47% | 35% | 34% | 40% | 38% | 22% | 19% | 20% | 13% | 14% | 31% | 34% | 27% | 26% | 31% | 22% | 33% | 31% | 39% | 16% | 19% | 43% | 40% | 32% | 34% | | |
| 5 | 82% | 74% | 75% | 29% | 53% | 48% | 33% | 34% | 73% | 76% | 76% | 84% | 82% | 57% | 52% | 63% | 62% | 57% | 74% | 39% | 54% | 24% | 72% | 64% | 29% | 37% | 18% | 31% | | |
| 1, 2 e 3 | 2% | 1% | 3% | 24% | 12% | 18% | 27% | 28% | 4% | 4% | 4% | 3% | 4% | 12% | 14% | 10% | 12% | 12% | 4% | 27% | 15% | 36% | 12% | 17% | 28% | 23% | 49% | 34% | | |
| 4 e 5 | 98% | 99% | 97% | 76% | 88% | 82% | 73% | 72% | 96% | 96% | 96% | 97% | 96% | 88% | 86% | 90% | 88% | 88% | 96% | 73% | 85% | 64% | 88% | 83% | 72% | 77% | 51% | 66% | | |
| | Global | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1, 2 e 3 | 15% | | | | | | | | 8% | | | | | | | | | | 19% | | | | | 34% | | | | | | |
| 4 e 5 | 85% | | | | | | | | 92% | | | | | | | | | | 81% | | | | | 66% | | | | | | |

Tabela F.4 – Estatísticas obtidas a partir dos dados coletados – Dimensão “Malha Dutoviária”.

Fonte: O próprio autor.

| Perguntas | Tipo Duto | | Inst. Pontuais Associadas | | | | Extensão da Malha Dutoviária | | | | | | | | | | | | |
|------------|--|------|---------------------------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | 17.1 | 17.2 | 18.1 | 18.2 | 18.3 | 18.4 | 19.1 | 19.2 | 19.3 | 19.4 | 19.5 | 19.6 | 19.7 | 19.8 | 19.9 | 19.10 | 19.11 | 19.12 | 19.13 |
| Parâmetros | Medidas de tendência central e amplitude | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moda | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| Mediana | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| Mínimo | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Máximo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | Frequência absoluta | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 5 | 7 | 4 | 4 | 3 | 6 | 5 | 5 | 3 | 0 | 6 | 12 | 10 | 2 |
| 3 | 4 | 3 | 13 | 23 | 36 | 37 | 22 | 39 | 32 | 30 | 45 | 41 | 40 | 34 | 9 | 27 | 48 | 34 | 12 |
| 4 | 28 | 19 | 46 | 75 | 72 | 75 | 63 | 59 | 61 | 65 | 72 | 59 | 68 | 59 | 61 | 80 | 71 | 67 | 50 |
| 5 | 146 | 157 | 121 | 81 | 70 | 62 | 88 | 78 | 83 | 81 | 57 | 75 | 67 | 83 | 110 | 67 | 44 | 67 | 115 |
| 1, 2 e 3 | 6 | 4 | 13 | 24 | 38 | 43 | 29 | 43 | 36 | 34 | 51 | 46 | 45 | 38 | 9 | 33 | 65 | 46 | 15 |
| 4 e 5 | 174 | 176 | 167 | 156 | 142 | 137 | 151 | 137 | 144 | 146 | 129 | 134 | 135 | 142 | 171 | 147 | 115 | 134 | 165 |
| | Frequência percentual | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 3% | 1% | 1% |
| 2 | 1% | 1% | 0% | 1% | 1% | 3% | 4% | 2% | 2% | 2% | 3% | 3% | 3% | 2% | 0% | 3% | 7% | 6% | 1% |
| 3 | 2% | 2% | 7% | 13% | 20% | 21% | 12% | 22% | 18% | 17% | 25% | 23% | 22% | 19% | 5% | 15% | 27% | 19% | 7% |
| 4 | 16% | 11% | 26% | 42% | 40% | 42% | 35% | 33% | 34% | 36% | 40% | 33% | 38% | 33% | 34% | 44% | 39% | 37% | 28% |
| 5 | 81% | 87% | 67% | 45% | 39% | 34% | 49% | 43% | 46% | 45% | 32% | 42% | 37% | 46% | 61% | 37% | 24% | 37% | 64% |
| 1, 2 e 3 | 3% | 2% | 7% | 13% | 21% | 24% | 16% | 24% | 20% | 19% | 28% | 26% | 25% | 21% | 5% | 18% | 36% | 26% | 8% |
| 4 e 5 | 97% | 98% | 93% | 87% | 79% | 76% | 84% | 76% | 80% | 81% | 72% | 74% | 75% | 79% | 95% | 82% | 64% | 74% | 92% |
| | Global | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1, 2 e 3 | 3% | | 16% | | | | 21% | | | | | | | | | | | | |
| 4 e 5 | 97% | | 84% | | | | 79% | | | | | | | | | | | | |

APÊNDICE G – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS SOFTWARES

A Tabela G.1 a seguir apresenta a codificação adotada para as variáveis dependentes estudadas através dos testes citados no item 5.4 para as hipóteses 1 e 2. São evidenciadas as 8 categorias para o tipo de instituição à qual os respondentes pertencem (e respectivos códigos), bem como as categorias dos participantes por tempo de experiência na indústria dutoviária (variando de 1 a 5). Estas informações foram utilizadas no software PSPP e RStudio, cujos relatórios são explicitados a seguir.

Tabela G.1 – Codificação das categorias de respondentes utilizada nos testes.

Fonte: O próprio autor.

| Instituição a qual os participantes pertencem | | |
|---|--|--------|
| Item | Respostas possíveis | Código |
| 1 | • Empresa proprietária e/ou operadora de dutos. | 1 |
| | • Órgão regulador (exemplo: agências reguladoras, órgãos ambientais, etc). | 2 |
| | • Empresa fornecedora de equipamentos / prestação de serviços. | 3 |
| | • Empresa de consultoria. | 4 |
| | • Universidade / Centros de Pesquisa. | 5 |
| | • Institutos / associações. | 6 |
| | • Outros tipos de instituições. | 7 |
| | • Profissional autônomo. | 8 |
| Tempo de experiência dos participantes | | |
| Item | Respostas possíveis | Código |
| 2 | • Entre 0 e 5 anos. | 1 |
| | • Entre 6 e 10 anos. | 2 |
| | • Entre 11 e 15 anos. | 3 |
| | • Entre 16 a 20 anos. | 4 |
| | • Mais de 20 anos. | 5 |

Adicionalmente, também são apresentados neste apêndice as saídas do referido software referente ao estudo da hipótese 3. Ressalta-se apenas que, dado que o coeficiente de correlação de Spearman equivale ao coeficiente de correlação de Pearson aplicado a dados ordenados, utilizou-se o algoritmo da ferramenta referente ao segundo coeficiente, porém tendo como dados de entrada os postos das variáveis (os quais são evidenciados nas Tabelas G.2 e G.3).

Assim sendo, os relatórios fazem menção nominalmente ao coeficiente de Pearson, porém de fato correspondem ao coeficiente de Spearman para a análise em questão.

Tabela G.2 – Frequência de ocorrência das variáveis na literatura e respectivos postos.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensão | Fator temático | Código da Variável | Valor da Variável | Posto (Geral) | Posto (Específico) | |
|----------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------|--------------------|---|
| Eventos | Causas | 6.0 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 6.1 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 6.2 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 6.3 | 75% | 40 | 16 | |
| | | 7.0 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 7.1 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 7.2 | 88% | 22 | 10.5 | |
| | | 7.3 | 88% | 22 | 10.5 | |
| | | 7.4 | 75% | 40 | 16 | |
| | | 8.0 | 63% | 54.5 | 21.5 | |
| | | 8.1 | 75% | 40 | 16 | |
| | | 8.2 | 63% | 54.5 | 21.5 | |
| | | 8.3 | 50% | 64.5 | 24.5 | |
| | | 8.4 | 38% | 77 | 27 | |
| | | 8.5 | 50% | 64.5 | 24.5 | |
| | | 9.0 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 9.1 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 9.2 | 100% | 7 | 4.5 | |
| | | 9.3 | 63% | 54.5 | 21.5 | |
| | | 10.0 | 75% | 40 | 16 | |
| | | 10.1 | 63% | 54.5 | 21.5 | |
| | | 10.2 | 75% | 40 | 16 | |
| | | 11.0 | 88% | 22 | 10.5 | |
| | | 11.1 | 38% | 77 | 27 | |
| | | 11.2 | 38% | 77 | 27 | |
| | | 11.3 | 75% | 40 | 16 | |
| | | 11.4 | 88% | 22 | 10.5 | |
| | 11.5 | 75% | 40 | 16 | | |
| | | Características do Local | 12.1 | 88% | 22 | 6 |
| | | | 12.2 | 88% | 22 | 6 |
| | 12.3 | | 88% | 22 | 6 | |
| | 12.4 | | 13% | 100.5 | 27.5 | |
| | 12.5 | | 75% | 40 | 12 | |
| | 12.6 | | 88% | 22 | 6 | |

| Dimensão | Fator temático | Código da Variável | Valor da Variável | Posto (Geral) | Posto (Específico) | |
|----------|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------------|------|
| Eventos | Características do Local | 12.7 | 13% | 100.5 | 27.5 | |
| | | 12.8 | 50% | 64.5 | 16.5 | |
| | | 12.9 | 75% | 40 | 12 | |
| | | 12.10 | 50% | 64.5 | 16.5 | |
| | | 12.11 | 50% | 64.5 | 16.5 | |
| | | 12.12 | 25% | 90.5 | 24 | |
| | | 12.13 | 100% | 7 | 1.5 | |
| | | 12.14 | 75% | 40 | 12 | |
| | | 12.15 | 88% | 22 | 6 | |
| | | 12.16 | 25% | 90.5 | 24 | |
| | | 12.17 | 75% | 40 | 12 | |
| | | 12.18 | 100% | 7 | 1.5 | |
| | | 12.19 | 75% | 40 | 12 | |
| | | 12.20 | 38% | 77 | 20.5 | |
| | | 12.21 | 38% | 77 | 20.5 | |
| | | 12.22 | 25% | 90.5 | 24 | |
| | | 12.23 | 13% | 100.5 | 27.5 | |
| | | 12.24 | 38% | 77 | 20.5 | |
| | | 12.25 | 50% | 64.5 | 16.5 | |
| | | 12.26 | 88% | 22 | 6 | |
| | 12.27 | 13% | 100.5 | 27.5 | | |
| | 12.28 | 88% | 22 | 6 | | |
| | 12.29 | 38% | 77 | 20.5 | | |
| | | Consequências | 13.1 | 88% | 22 | 4.5 |
| | | | 13.2 | 88% | 22 | 4.5 |
| | | | 13.3 | 63% | 54.5 | 12.5 |
| | | | 13.4 | 13% | 100.5 | 28 |
| | | | 13.5 | 63% | 54.5 | 12.5 |
| | | | 13.6 | 38% | 77 | 20 |
| | | | 13.7 | 38% | 77 | 20 |
| | 13.8 | | 50% | 64.5 | 15.5 | |
| | 14.1 | | 88% | 22 | 4.5 | |
| | 14.2 | | 75% | 40 | 9.5 | |
| | 14.3 | 100% | 7 | 1 | | |
| | 14.4 | 88% | 22 | 4.5 | | |
| | 14.5 | 88% | 22 | 4.5 | | |
| | 14.6 | 75% | 40 | 9.5 | | |

| Dimensão | Fator temático | Código da Variável | Valor da Variável | Posto (Geral) | Posto (Específico) |
|------------------|----------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| Eventos | Consequências | 14.7 | 25% | 90.5 | 25 |
| | | 14.8 | 25% | 90.5 | 25 |
| | | 14.9 | 38% | 77 | 20 |
| | | 14.10 | 75% | 40 | 9.5 |
| | | 15.1 | 88% | 22 | 4.5 |
| | | 15.2 | 50% | 64.5 | 15.5 |
| | | 15.3 | 38% | 77 | 20 |
| | | 15.4 | 25% | 90.5 | 25 |
| | | 15.5 | 50% | 64.5 | 15.5 |
| | | 15.6 | 50% | 64.5 | 15.5 |
| | | 16.1 | 38% | 77 | 20 |
| | | 16.2 | 25% | 90.5 | 25 |
| | | 16.3 | 25% | 90.5 | 25 |
| | | 16.4 | 75% | 40 | 9.5 |
| Malha dutoviária | | 17.1 | 63% | 54.5 | 7.5 |
| | | 17.2 | 75% | 40 | 4 |
| | | 18.1 | 100% | 7 | 1.5 |
| | | 18.2 | 63% | 54.5 | 7.5 |
| | | 18.3 | 63% | 54.5 | 7.5 |
| | | 18.4 | 25% | 90.5 | 14.5 |
| | | 19.1 | 75% | 40 | 4 |
| | | 19.2 | 75% | 40 | 4 |
| | | 19.3 | 25% | 90.5 | 14.5 |
| | | 19.4 | 13% | 100.5 | 18 |
| | | 19.5 | 13% | 100.5 | 18 |
| | | 19.6 | 38% | 77 | 11 |
| | | 19.7 | 13% | 100.5 | 18 |
| | | 19.8 | 25% | 90.5 | 14.5 |
| 19.9 | 63% | 54.5 | 7.5 | | |
| 19.10 | 25% | 90.5 | 14.5 | | |
| 19.11 | 38% | 77 | 11 | | |
| 19.12 | 38% | 77 | 11 | | |
| 19.13 | 100% | 7 | 1.5 | | |

Tabela G.3 – Moda das respostas dos participantes e respectivos postos.

Fonte: O próprio autor.

| Dimensão | Fator temático | Código da Variável | Valor da Variável | Posto (Geral) | Posto (Específico) | |
|----------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------|--------------------|------|
| Eventos | Causas | 6.0 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 6.1 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 6.2 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 6.3 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 7.0 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 7.1 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 7.2 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 7.3 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 7.4 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 8.0 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 8.1 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 8.2 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 8.3 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 8.4 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 8.5 | 3 | 102.5 | 27 | |
| | | 9.0 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 9.1 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 9.2 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 9.3 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 10.0 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 10.1 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 10.2 | 5 | 33.5 | 7.5 | |
| | | 11.0 | 4 | 83.5 | 20 | |
| | | 11.1 | 3 | 102.5 | 27 | |
| | 11.2 | 3 | 102.5 | 27 | | |
| | 11.3 | 4 | 83.5 | 20 | | |
| | 11.4 | 5 | 33.5 | 7.5 | | |
| | 11.5 | 4 | 83.5 | 20 | | |
| | | Características do Local | 12.1 | 5 | 33.5 | 10 |
| | | | 12.2 | 4 | 83.5 | 24.5 |
| | | | 12.3 | 5 | 33.5 | 10 |
| | 12.4 | | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | 12.5 | | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | 12.6 | | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | 12.7 | | 5 | 33.5 | 10 | |

| Dimensão | Fator temático | Código da Variável | Valor da Variável | Posto (Geral) | Posto (Específico) | |
|----------|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------------|------|
| Eventos | Características do Local | 12.8 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.9 | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | | 12.10 | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | | 12.11 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.12 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.13 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.14 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.15 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.16 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.17 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.18 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.19 | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | | 12.20 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.21 | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | | 12.22 | 4 | 83.5 | 24.5 | |
| | | 12.23 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.24 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.25 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | | 12.26 | 5 | 33.5 | 10 | |
| | 12.27 | 4 | 83.5 | 24.5 | | |
| | 12.28 | 5 | 33.5 | 10 | | |
| | 12.29 | 5 | 33.5 | 10 | | |
| | | Consequências | 13.1 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | | 13.2 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | | 13.3 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | | 13.4 | 4 | 83.5 | 24 |
| | | | 13.5 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | | 13.6 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | | 13.7 | 4 | 83.5 | 24 |
| | 13.8 | | 4 | 83.5 | 24 | |
| | 14.1 | | 5 | 33.5 | 10.5 | |
| | 14.2 | | 5 | 33.5 | 10.5 | |
| | 14.3 | 5 | 33.5 | 10.5 | | |
| | 14.4 | 5 | 33.5 | 10.5 | | |
| | 14.5 | 5 | 33.5 | 10.5 | | |
| | 14.6 | 5 | 33.5 | 10.5 | | |
| | 14.7 | 5 | 33.5 | 10.5 | | |

| Dimensão | Fator temático | Código da Variável | Valor da Variável | Posto (Geral) | Posto (Específico) |
|----------|----------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| Eventos | Consequências | 14.8 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 14.9 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 14.10 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 15.1 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 15.2 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 15.3 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 15.4 | 4 | 83.5 | 24 |
| | | 15.5 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 15.6 | 5 | 33.5 | 10.5 |
| | | 16.1 | 4 | 83.5 | 24 |
| | | 16.2 | 4 | 83.5 | 24 |
| | | 16.3 | 3 | 102.5 | 28 |
| | | 16.4 | 4 | 83.5 | 24 |
| | | Malha dutoviária | | 17.1 | 5 |
| 17.2 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 18.1 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 18.2 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 18.3 | 4 | | | 83.5 | 16.5 |
| 18.4 | 4 | | | 83.5 | 16.5 |
| 19.1 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 19.2 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 19.3 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 19.4 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 19.5 | 4 | | | 83.5 | 16.5 |
| 19.6 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 19.7 | 4 | | | 83.5 | 16.5 |
| 19.8 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 19.9 | 5 | | | 33.5 | 7 |
| 19.10 | 4 | 83.5 | 16.5 | | |
| 19.11 | 4 | 83.5 | 16.5 | | |
| 19.12 | 5 | 33.5 | 7 | | |
| 19.13 | 5 | 33.5 | 7 | | |

NPAR TEST

/KRUSKAL-WALLIS = Var6.0 Var6.1 Var6.2 Var6.3 Var7.0
 Var7.1 Var7.2 Var7.3 Var7.4 Var8.0 Var8.1 Var8.2 Var8.3 Var8.4
 Var8.5 Var9.0 Var9.1 Var9.2 Var9.3 Var10.0 Var10.1 Var10.2
 Var11.0 Var11.1 Var11.2 Var11.3 Var11.4 Var11.5 BY Experiencia
 (1, 5)

Ranks

| | | N | Mean Rank |
|--------|-------|-----|-----------|
| Var6.0 | 1,00 | 25 | 83,26 |
| | 2,00 | 22 | 96,57 |
| | 3,00 | 35 | 101,34 |
| | 4,00 | 29 | 81,88 |
| | 5,00 | 69 | 89,31 |
| | Total | 180 | |
| Var6.1 | 1,00 | 25 | 71,26 |
| | 2,00 | 22 | 81,32 |
| | 3,00 | 35 | 93,50 |
| | 4,00 | 29 | 94,16 |
| | 5,00 | 69 | 97,34 |
| | Total | 180 | |
| Var6.2 | 1,00 | 25 | 69,66 |
| | 2,00 | 22 | 85,18 |
| | 3,00 | 35 | 95,06 |
| | 4,00 | 29 | 80,26 |
| | 5,00 | 69 | 101,74 |
| | Total | 180 | |
| Var6.3 | 1,00 | 25 | 82,38 |
| | 2,00 | 22 | 96,02 |
| | 3,00 | 35 | 89,70 |
| | 4,00 | 29 | 83,86 |
| | 5,00 | 69 | 94,88 |
| | Total | 180 | |
| Var7.0 | 1,00 | 25 | 93,98 |
| | 2,00 | 22 | 103,41 |
| | 3,00 | 35 | 86,33 |
| | 4,00 | 29 | 93,83 |
| | 5,00 | 69 | 85,84 |
| | Total | 180 | |
| Var7.1 | 1,00 | 25 | 85,80 |
| | 2,00 | 22 | 102,11 |
| | 3,00 | 35 | 85,73 |
| | 4,00 | 29 | 85,90 |
| | 5,00 | 69 | 92,86 |
| | Total | 180 | |
| Var7.2 | 1,00 | 25 | 77,68 |
| | 2,00 | 22 | 98,89 |
| | 3,00 | 35 | 81,89 |
| | 4,00 | 29 | 84,50 |
| | 5,00 | 69 | 99,36 |
| | Total | 180 | |
| Var7.3 | 1,00 | 25 | 88,42 |
| | 2,00 | 22 | 100,14 |
| | 3,00 | 35 | 98,46 |
| | 4,00 | 29 | 93,50 |
| | 5,00 | 69 | 82,88 |
| | Total | 180 | |
| Var7.4 | 1,00 | 25 | 88,22 |
| | 2,00 | 22 | 102,09 |
| | 3,00 | 35 | 89,09 |
| | 4,00 | 29 | 77,67 |
| | 5,00 | 69 | 93,74 |
| | Total | 180 | |
| Var8.0 | 1,00 | 25 | 88,56 |

| | N | Mean Rank | |
|---------|-------|-----------|--------|
| | 2,00 | 22 | 88,39 |
| | 3,00 | 35 | 93,97 |
| | 4,00 | 29 | 93,53 |
| | 5,00 | 69 | 88,84 |
| | Total | 180 | |
| Var8.1 | 1,00 | 25 | 96,92 |
| | 2,00 | 22 | 108,93 |
| | 3,00 | 35 | 85,29 |
| | 4,00 | 29 | 84,29 |
| | 5,00 | 69 | 87,55 |
| | Total | 180 | |
| Var8.2 | 1,00 | 25 | 84,58 |
| | 2,00 | 22 | 95,66 |
| | 3,00 | 35 | 99,99 |
| | 4,00 | 29 | 92,95 |
| | 5,00 | 69 | 85,16 |
| | Total | 180 | |
| Var8.3 | 1,00 | 25 | 76,04 |
| | 2,00 | 22 | 95,09 |
| | 3,00 | 35 | 91,46 |
| | 4,00 | 29 | 96,57 |
| | 5,00 | 69 | 91,24 |
| | Total | 180 | |
| Var8.4 | 1,00 | 25 | 100,14 |
| | 2,00 | 22 | 86,59 |
| | 3,00 | 35 | 96,53 |
| | 4,00 | 29 | 87,71 |
| | 5,00 | 69 | 86,37 |
| | Total | 180 | |
| Var8.5 | 1,00 | 25 | 92,36 |
| | 2,00 | 22 | 100,36 |
| | 3,00 | 35 | 87,09 |
| | 4,00 | 29 | 92,55 |
| | 5,00 | 69 | 87,55 |
| | Total | 180 | |
| Var9.0 | 1,00 | 25 | 77,24 |
| | 2,00 | 22 | 88,75 |
| | 3,00 | 35 | 88,96 |
| | 4,00 | 29 | 87,07 |
| | 5,00 | 69 | 98,09 |
| | Total | 180 | |
| Var9.1 | 1,00 | 25 | 71,52 |
| | 2,00 | 22 | 88,16 |
| | 3,00 | 35 | 88,07 |
| | 4,00 | 29 | 83,33 |
| | 5,00 | 69 | 102,37 |
| | Total | 180 | |
| Var9.2 | 1,00 | 25 | 66,32 |
| | 2,00 | 22 | 93,93 |
| | 3,00 | 35 | 94,84 |
| | 4,00 | 29 | 80,69 |
| | 5,00 | 69 | 100,09 |
| | Total | 180 | |
| Var9.3 | 1,00 | 25 | 86,74 |
| | 2,00 | 22 | 87,09 |
| | 3,00 | 35 | 92,67 |
| | 4,00 | 29 | 88,47 |
| | 5,00 | 69 | 92,70 |
| | Total | 180 | |
| Var10.0 | 1,00 | 25 | 93,78 |
| | 2,00 | 22 | 102,43 |
| | 3,00 | 35 | 84,80 |
| | 4,00 | 29 | 80,52 |
| | 5,00 | 69 | 92,59 |
| | Total | 180 | |
| Var10.1 | 1,00 | 25 | 94,76 |
| | 2,00 | 22 | 99,09 |
| | 3,00 | 35 | 85,14 |

| | | N | Mean Rank |
|---------|-------|-----|-----------|
| | 4,00 | 29 | 81,69 |
| | 5,00 | 69 | 92,64 |
| | Total | 180 | |
| Var10.2 | 1,00 | 25 | 89,74 |
| | 2,00 | 22 | 102,77 |
| | 3,00 | 35 | 86,50 |
| | 4,00 | 29 | 85,62 |
| | 5,00 | 69 | 90,94 |
| | Total | 180 | |
| Var11.0 | 1,00 | 25 | 91,80 |
| | 2,00 | 22 | 105,77 |
| | 3,00 | 35 | 73,74 |
| | 4,00 | 29 | 83,52 |
| | 5,00 | 69 | 96,59 |
| | Total | 180 | |
| Var11.1 | 1,00 | 25 | 106,58 |
| | 2,00 | 22 | 96,75 |
| | 3,00 | 35 | 81,81 |
| | 4,00 | 29 | 89,69 |
| | 5,00 | 69 | 87,43 |
| | Total | 180 | |
| Var11.2 | 1,00 | 25 | 103,88 |
| | 2,00 | 22 | 111,70 |
| | 3,00 | 35 | 83,19 |
| | 4,00 | 29 | 85,71 |
| | 5,00 | 69 | 84,62 |
| | Total | 180 | |
| Var11.3 | 1,00 | 25 | 96,66 |
| | 2,00 | 22 | 101,64 |
| | 3,00 | 35 | 88,51 |
| | 4,00 | 29 | 81,28 |
| | 5,00 | 69 | 89,60 |
| | Total | 180 | |
| Var11.4 | 1,00 | 25 | 85,84 |
| | 2,00 | 22 | 90,77 |
| | 3,00 | 35 | 88,41 |
| | 4,00 | 29 | 85,72 |
| | 5,00 | 69 | 95,17 |
| | Total | 180 | |
| Var11.5 | 1,00 | 25 | 90,54 |
| | 2,00 | 22 | 97,02 |
| | 3,00 | 35 | 91,59 |
| | 4,00 | 29 | 91,72 |
| | 5,00 | 69 | 87,34 |
| | Total | 180 | |

Testes estatísticos

| | Var6.0 | Var6.1 | Var6.2 | Var6.3 | Var7.0 | Var7.1 | Var7.2 | Var7.3 | Var7.4 | Var8.0 | Var8.1 | Var8.2 | Var8.3 | Var8.4 |
|--------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Chi-quadrado | 5,05 | 7,13 | 11,56 | 2,19 | 2,79 | 2,17 | 6,17 | 3,75 | 3,61 | ,45 | 4,58 | 2,80 | 2,95 | 2,15 |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,282 | ,129 | ,021 | ,700 | ,593 | ,704 | ,187 | ,441 | ,461 | ,978 | ,333 | ,591 | ,567 | ,708 |
| | Var8.5 | Var9.0 | Var9.1 | Var9.2 | Var9.3 | Var10.0 | Var10.1 | Var10.2 | Var11.0 | Var11.1 | Var11.2 | Var11.3 | Var11.4 | |
| Chi-quadrado | 1,37 | 6,49 | 10,07 | 10,81 | ,98 | 3,24 | 2,39 | 2,00 | 7,93 | 4,20 | 7,63 | 2,66 | 1,42 | |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| Asymp. Sig. | ,849 | ,165 | ,039 | ,029 | ,913 | ,518 | ,664 | ,736 | ,094 | ,380 | ,106 | ,616 | ,842 | |
| | Var11.5 | | | | | | | | | | | | | |
| Chi-quadrado | ,68 | | | | | | | | | | | | | |
| df | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| Asymp. Sig. | ,953 | | | | | | | | | | | | | |

NPAR TEST

/KRUSKAL-WALLIS = Var13.1 Var13.2 Var13.3 Var13.4
 Var13.5 Var13.6 Var13.7 Var13.8 Var14.1 Var14.2 Var14.3
 Var14.4 Var14.5 Var14.6 Var14.7 Var14.8 Var14.9 Var14.10
 Var15.1 Var15.2 Var15.3 Var15.4 Var15.5 Var15.6 Var16.1
 Var16.2 Var16.3 Var16.4 BY Experiencia (1, 5)

Ranks

| | N | Mean Rank |
|---------|-------|-----------|
| Var13.1 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var13.2 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var13.3 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var13.4 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var13.5 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var13.6 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var13.7 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var13.8 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var14.1 | 1,00 | 25 |
| | 2,00 | 22 |
| | 3,00 | 35 |
| | 4,00 | 29 |
| | 5,00 | 69 |
| | Total | 180 |
| Var14.2 | 1,00 | 25 |

| | N | Mean Rank |
|----------|-------|-----------|
| | 2,00 | 87,57 |
| | 3,00 | 80,67 |
| | 4,00 | 96,43 |
| | 5,00 | 92,68 |
| | Total | 180 |
| Var14.3 | 1,00 | 90,10 |
| | 2,00 | 89,05 |
| | 3,00 | 78,67 |
| | 4,00 | 96,91 |
| | 5,00 | 94,41 |
| | Total | 180 |
| Var14.4 | 1,00 | 94,50 |
| | 2,00 | 80,50 |
| | 3,00 | 82,10 |
| | 4,00 | 98,40 |
| | 5,00 | 93,18 |
| | Total | 180 |
| Var14.5 | 1,00 | 96,68 |
| | 2,00 | 78,27 |
| | 3,00 | 83,90 |
| | 4,00 | 100,40 |
| | 5,00 | 91,35 |
| | Total | 180 |
| Var14.6 | 1,00 | 85,46 |
| | 2,00 | 84,95 |
| | 3,00 | 88,64 |
| | 4,00 | 92,41 |
| | 5,00 | 94,23 |
| | Total | 180 |
| Var14.7 | 1,00 | 95,12 |
| | 2,00 | 81,93 |
| | 3,00 | 87,61 |
| | 4,00 | 92,00 |
| | 5,00 | 92,39 |
| | Total | 180 |
| Var14.8 | 1,00 | 83,08 |
| | 2,00 | 86,36 |
| | 3,00 | 92,46 |
| | 4,00 | 89,03 |
| | 5,00 | 94,13 |
| | Total | 180 |
| Var14.9 | 1,00 | 92,66 |
| | 2,00 | 80,61 |
| | 3,00 | 88,47 |
| | 4,00 | 93,57 |
| | 5,00 | 92,61 |
| | Total | 180 |
| Var14.10 | 1,00 | 86,58 |
| | 2,00 | 87,50 |
| | 3,00 | 92,04 |
| | 4,00 | 85,43 |
| | 5,00 | 94,22 |
| | Total | 180 |
| Var15.1 | 1,00 | 92,42 |
| | 2,00 | 86,64 |
| | 3,00 | 88,09 |
| | 4,00 | 92,43 |
| | 5,00 | 91,45 |
| | Total | 180 |
| Var15.2 | 1,00 | 102,50 |
| | 2,00 | 86,18 |
| | 3,00 | 85,89 |
| | 4,00 | 92,02 |
| | 5,00 | 89,23 |
| | Total | 180 |
| Var15.3 | 1,00 | 90,66 |
| | 2,00 | 91,41 |
| | 3,00 | 88,99 |

| | N | Mean Rank | |
|---------|-------|-----------|--------|
| | 4,00 | 29 | 113,52 |
| | 5,00 | 69 | 81,25 |
| | Total | 180 | |
| Var15.4 | 1,00 | 25 | 94,18 |
| | 2,00 | 22 | 88,30 |
| | 3,00 | 35 | 98,66 |
| | 4,00 | 29 | 93,84 |
| | 5,00 | 69 | 84,33 |
| | Total | 180 | |
| Var15.5 | 1,00 | 25 | 102,48 |
| | 2,00 | 22 | 88,41 |
| | 3,00 | 35 | 82,03 |
| | 4,00 | 29 | 87,64 |
| | 5,00 | 69 | 92,33 |
| | Total | 180 | |
| Var15.6 | 1,00 | 25 | 109,92 |
| | 2,00 | 22 | 91,30 |
| | 3,00 | 35 | 74,69 |
| | 4,00 | 29 | 85,05 |
| | 5,00 | 69 | 93,52 |
| | Total | 180 | |
| Var16.1 | 1,00 | 25 | 82,18 |
| | 2,00 | 22 | 98,82 |
| | 3,00 | 35 | 85,16 |
| | 4,00 | 29 | 89,10 |
| | 5,00 | 69 | 94,16 |
| | Total | 180 | |
| Var16.2 | 1,00 | 25 | 88,24 |
| | 2,00 | 22 | 99,86 |
| | 3,00 | 35 | 87,00 |
| | 4,00 | 29 | 88,12 |
| | 5,00 | 69 | 91,11 |
| | Total | 180 | |
| Var16.3 | 1,00 | 25 | 77,68 |
| | 2,00 | 22 | 94,34 |
| | 3,00 | 35 | 84,37 |
| | 4,00 | 29 | 98,83 |
| | 5,00 | 69 | 93,53 |
| | Total | 180 | |
| Var16.4 | 1,00 | 25 | 88,52 |
| | 2,00 | 22 | 98,30 |
| | 3,00 | 35 | 91,91 |
| | 4,00 | 29 | 97,34 |
| | 5,00 | 69 | 85,14 |
| | Total | 180 | |

Testes estatísticos

| | Var13.1 | Var13.2 | Var13.3 | Var13.4 | Var13.5 | Var13.6 | Var13.7 | Var13.8 | Var14.1 | Var14.2 | Var14.3 | Var14.4 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Chi-quadrado | 4,78 | 9,12 | 9,72 | ,87 | 5,42 | 4,88 | 5,44 | 5,44 | 2,73 | 3,48 | 4,73 | 6,67 |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,310 | ,058 | ,045 | ,929 | ,247 | ,300 | ,245 | ,245 | ,604 | ,481 | ,316 | ,154 |
| | Var14.5 | Var14.6 | Var14.7 | Var14.8 | Var14.9 | Var14.10 | Var15.1 | Var15.2 | Var15.3 | Var15.4 | Var15.5 | Var15.6 |
| Chi-quadrado | 7,05 | 1,17 | 1,24 | 1,44 | 1,48 | 1,11 | ,50 | 2,04 | 9,70 | 2,33 | 3,91 | 9,93 |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,133 | ,883 | ,872 | ,837 | ,831 | ,892 | ,974 | ,729 | ,046 | ,675 | ,418 | ,042 |
| | Var16.1 | Var16.2 | Var16.3 | Var16.4 | | | | | | | | |
| Chi-quadrado | 2,19 | 1,13 | 3,40 | 1,97 | | | | | | | | |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | |
| Asymp. Sig. | ,701 | ,890 | ,494 | ,742 | | | | | | | | |

NPAR TEST

/KRUSKAL-WALLIS = Var12.1 Var12.2 Var12.3 Var12.4
 Var12.5 Var12.6 Var12.7 Var12.8 Var12.9 Var12.10 Var12.11
 Var12.12 Var12.13 Var12.14 Var12.15 Var12.16 Var12.17 Var12.18
 Var12.19 Var12.20 Var12.21 Var12.22 Var12.23 Var12.24 Var12.25
 Var12.26 Var12.27 Var12.28 Var12.29 BY Experiencia (1, 5)

Ranks

| | | N | Mean Rank |
|----------|-------|-----|-----------|
| Var12.1 | 1,00 | 25 | 87,14 |
| | 2,00 | 22 | 103,27 |
| | 3,00 | 35 | 89,31 |
| | 4,00 | 29 | 81,66 |
| | 5,00 | 69 | 91,96 |
| | Total | 180 | |
| Var12.2 | 1,00 | 25 | 79,08 |
| | 2,00 | 22 | 95,18 |
| | 3,00 | 35 | 97,80 |
| | 4,00 | 29 | 81,76 |
| | 5,00 | 69 | 93,12 |
| | Total | 180 | |
| Var12.3 | 1,00 | 25 | 88,74 |
| | 2,00 | 22 | 94,64 |
| | 3,00 | 35 | 93,97 |
| | 4,00 | 29 | 85,62 |
| | 5,00 | 69 | 90,11 |
| | Total | 180 | |
| Var12.4 | 1,00 | 25 | 85,68 |
| | 2,00 | 22 | 105,68 |
| | 3,00 | 35 | 91,09 |
| | 4,00 | 29 | 83,95 |
| | 5,00 | 69 | 89,86 |
| | Total | 180 | |
| Var12.5 | 1,00 | 25 | 83,48 |
| | 2,00 | 22 | 107,55 |
| | 3,00 | 35 | 89,46 |
| | 4,00 | 29 | 91,66 |
| | 5,00 | 69 | 87,65 |
| | Total | 180 | |
| Var12.6 | 1,00 | 25 | 87,14 |
| | 2,00 | 22 | 94,07 |
| | 3,00 | 35 | 91,29 |
| | 4,00 | 29 | 95,40 |
| | 5,00 | 69 | 88,12 |
| | Total | 180 | |
| Var12.7 | 1,00 | 25 | 76,50 |
| | 2,00 | 22 | 94,45 |
| | 3,00 | 35 | 89,11 |
| | 4,00 | 29 | 110,62 |
| | 5,00 | 69 | 86,56 |
| | Total | 180 | |
| Var12.8 | 1,00 | 25 | 76,14 |
| | 2,00 | 22 | 97,45 |
| | 3,00 | 35 | 83,64 |
| | 4,00 | 29 | 107,76 |
| | 5,00 | 69 | 89,71 |
| | Total | 180 | |
| Var12.9 | 1,00 | 25 | 89,80 |
| | 2,00 | 22 | 101,14 |
| | 3,00 | 35 | 89,86 |
| | 4,00 | 29 | 78,02 |
| | 5,00 | 69 | 92,93 |
| | Total | 180 | |
| Var12.10 | 1,00 | 25 | 102,84 |

| | N | Mean Rank | |
|----------|-------|-----------|--------|
| | 2,00 | 22 | 101,36 |
| | 3,00 | 35 | 88,23 |
| | 4,00 | 29 | 90,29 |
| | 5,00 | 69 | 83,80 |
| | Total | 180 | |
| Var12.11 | 1,00 | 25 | 82,52 |
| | 2,00 | 22 | 108,86 |
| | 3,00 | 35 | 89,01 |
| | 4,00 | 29 | 92,10 |
| | 5,00 | 69 | 87,62 |
| | Total | 180 | |
| Var12.12 | 1,00 | 25 | 100,30 |
| | 2,00 | 22 | 108,07 |
| | 3,00 | 35 | 83,83 |
| | 4,00 | 29 | 84,24 |
| | 5,00 | 69 | 87,36 |
| | Total | 180 | |
| Var12.13 | 1,00 | 25 | 84,44 |
| | 2,00 | 22 | 77,14 |
| | 3,00 | 35 | 97,03 |
| | 4,00 | 29 | 97,10 |
| | 5,00 | 69 | 90,87 |
| | Total | 180 | |
| Var12.14 | 1,00 | 25 | 72,58 |
| | 2,00 | 22 | 86,07 |
| | 3,00 | 35 | 84,01 |
| | 4,00 | 29 | 107,67 |
| | 5,00 | 69 | 94,48 |
| | Total | 180 | |
| Var12.15 | 1,00 | 25 | 61,88 |
| | 2,00 | 22 | 97,41 |
| | 3,00 | 35 | 90,61 |
| | 4,00 | 29 | 96,57 |
| | 5,00 | 69 | 96,06 |
| | Total | 180 | |
| Var12.16 | 1,00 | 25 | 89,40 |
| | 2,00 | 22 | 92,14 |
| | 3,00 | 35 | 89,69 |
| | 4,00 | 29 | 101,60 |
| | 5,00 | 69 | 86,12 |
| | Total | 180 | |
| Var12.17 | 1,00 | 25 | 77,06 |
| | 2,00 | 22 | 102,95 |
| | 3,00 | 35 | 94,70 |
| | 4,00 | 29 | 91,22 |
| | 5,00 | 69 | 88,96 |
| | Total | 180 | |
| Var12.18 | 1,00 | 25 | 82,24 |
| | 2,00 | 22 | 106,20 |
| | 3,00 | 35 | 95,56 |
| | 4,00 | 29 | 96,76 |
| | 5,00 | 69 | 83,29 |
| | Total | 180 | |
| Var12.19 | 1,00 | 25 | 74,94 |
| | 2,00 | 22 | 115,11 |
| | 3,00 | 35 | 84,03 |
| | 4,00 | 29 | 103,31 |
| | 5,00 | 69 | 86,19 |
| | Total | 180 | |
| Var12.20 | 1,00 | 25 | 71,86 |
| | 2,00 | 22 | 125,45 |
| | 3,00 | 35 | 74,51 |
| | 4,00 | 29 | 110,17 |
| | 5,00 | 69 | 85,95 |
| | Total | 180 | |
| Var12.21 | 1,00 | 25 | 76,38 |
| | 2,00 | 22 | 122,32 |
| | 3,00 | 35 | 76,13 |

| | N | Mean Rank | |
|----------|-------|-----------|--------|
| | 4,00 | 29 | 98,60 |
| | 5,00 | 69 | 89,36 |
| | Total | 180 | |
| Var12.22 | 1,00 | 25 | 78,70 |
| | 2,00 | 22 | 127,52 |
| | 3,00 | 35 | 76,57 |
| | 4,00 | 29 | 96,84 |
| | 5,00 | 69 | 87,37 |
| | Total | 180 | |
| Var12.23 | 1,00 | 25 | 73,68 |
| | 2,00 | 22 | 119,43 |
| | 3,00 | 35 | 86,93 |
| | 4,00 | 29 | 89,05 |
| | 5,00 | 69 | 89,79 |
| | Total | 180 | |
| Var12.24 | 1,00 | 25 | 88,32 |
| | 2,00 | 22 | 113,05 |
| | 3,00 | 35 | 83,40 |
| | 4,00 | 29 | 71,90 |
| | 5,00 | 69 | 95,52 |
| | Total | 180 | |
| Var12.25 | 1,00 | 25 | 87,60 |
| | 2,00 | 22 | 110,55 |
| | 3,00 | 35 | 83,37 |
| | 4,00 | 29 | 78,34 |
| | 5,00 | 69 | 93,88 |
| | Total | 180 | |
| Var12.26 | 1,00 | 25 | 76,08 |
| | 2,00 | 22 | 107,43 |
| | 3,00 | 35 | 75,20 |
| | 4,00 | 29 | 92,21 |
| | 5,00 | 69 | 97,37 |
| | Total | 180 | |
| Var12.27 | 1,00 | 25 | 93,34 |
| | 2,00 | 22 | 108,05 |
| | 3,00 | 35 | 74,40 |
| | 4,00 | 29 | 87,72 |
| | 5,00 | 69 | 93,21 |
| | Total | 180 | |
| Var12.28 | 1,00 | 25 | 76,46 |
| | 2,00 | 22 | 104,36 |
| | 3,00 | 35 | 88,80 |
| | 4,00 | 29 | 75,50 |
| | 5,00 | 69 | 98,33 |
| | Total | 180 | |
| Var12.29 | 1,00 | 25 | 87,04 |
| | 2,00 | 22 | 106,27 |
| | 3,00 | 35 | 83,53 |
| | 4,00 | 29 | 80,76 |
| | 5,00 | 69 | 94,36 |
| | Total | 180 | |

Testes estatísticos

| | Var12.1 | Var12.2 | Var12.3 | Var12.4 | Var12.5 | Var12.6 | Var12.7 | Var12.8 | Var12.9 | Var12.10 | Var12.11 | Var12.12 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Chi-quadrado | 2,64 | 3,62 | ,76 | 2,83 | 3,45 | ,70 | 8,11 | 6,97 | 3,21 | 3,94 | 4,29 | 5,62 |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,620 | ,460 | ,944 | ,587 | ,485 | ,952 | ,087 | ,138 | ,523 | ,414 | ,368 | ,229 |
| | Var12.13 | Var12.14 | Var12.15 | Var12.16 | Var12.17 | Var12.18 | Var12.19 | Var12.20 | Var12.21 | Var12.22 | Var12.23 | |
| Chi-quadrado | 4,50 | 8,73 | 11,78 | 2,19 | 3,65 | 5,24 | 11,20 | 23,44 | 15,22 | 17,62 | 11,09 | |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| Asymp. Sig. | ,342 | ,068 | ,019 | ,701 | ,456 | ,264 | ,024 | ,000 | ,004 | ,001 | ,026 | |
| | Var12.24 | Var12.25 | Var12.26 | Var12.27 | Var12.28 | Var12.29 | | | | | | |
| Chi-quadrado | 10,25 | 6,84 | 10,65 | 6,81 | 8,35 | 4,90 | | | | | | |

| | Var12.24 | Var12.25 | Var12.26 | Var12.27 | Var12.28 | Var12.29 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,036 | ,144 | ,031 | ,147 | ,080 | ,298 |

NPAR TEST

/KRUSKAL-WALLIS = Var17.1 Var17.2 Var18.1 Var18.2
 Var18.3 Var18.4 Var19.1 Var19.2 Var19.3 Var19.4 Var19.5
 Var19.6 Var19.7 Var19.8 Var19.9 Var19.10 Var19.11 Var19.12
 Var19.13 BY Experiencia (1, 5)

Ranks

| | | N | Mean Rank |
|---------|-------|-----|-----------|
| Var17.1 | 1,00 | 25 | 74,14 |
| | 2,00 | 22 | 91,68 |
| | 3,00 | 35 | 89,64 |
| | 4,00 | 29 | 98,50 |
| | 5,00 | 69 | 93,12 |
| | Total | 180 | |
| Var17.2 | 1,00 | 25 | 72,88 |
| | 2,00 | 22 | 98,00 |
| | 3,00 | 35 | 89,11 |
| | 4,00 | 29 | 89,86 |
| | 5,00 | 69 | 95,46 |
| | Total | 180 | |
| Var18.1 | 1,00 | 25 | 78,74 |
| | 2,00 | 22 | 95,89 |
| | 3,00 | 35 | 99,23 |
| | 4,00 | 29 | 92,05 |
| | 5,00 | 69 | 87,96 |
| | Total | 180 | |
| Var18.2 | 1,00 | 25 | 77,96 |
| | 2,00 | 22 | 87,23 |
| | 3,00 | 35 | 97,91 |
| | 4,00 | 29 | 88,52 |
| | 5,00 | 69 | 93,16 |
| | Total | 180 | |
| Var18.3 | 1,00 | 25 | 82,90 |
| | 2,00 | 22 | 84,70 |
| | 3,00 | 35 | 90,56 |
| | 4,00 | 29 | 87,81 |
| | 5,00 | 69 | 96,20 |
| | Total | 180 | |
| Var18.4 | 1,00 | 25 | 91,22 |
| | 2,00 | 22 | 82,93 |
| | 3,00 | 35 | 78,57 |
| | 4,00 | 29 | 97,03 |
| | 5,00 | 69 | 95,96 |
| | Total | 180 | |
| Var19.1 | 1,00 | 25 | 75,50 |
| | 2,00 | 22 | 107,11 |
| | 3,00 | 35 | 93,46 |
| | 4,00 | 29 | 89,62 |
| | 5,00 | 69 | 89,51 |
| | Total | 180 | |
| Var19.2 | 1,00 | 25 | 70,94 |
| | 2,00 | 22 | 98,70 |
| | 3,00 | 35 | 90,31 |
| | 4,00 | 29 | 91,81 |
| | 5,00 | 69 | 94,51 |
| | Total | 180 | |
| Var19.3 | 1,00 | 25 | 78,88 |
| | 2,00 | 22 | 99,11 |
| | 3,00 | 35 | 87,44 |
| | 4,00 | 29 | 101,29 |
| | 5,00 | 69 | 88,98 |
| | Total | 180 | |
| Var19.4 | 1,00 | 25 | 83,12 |
| | 2,00 | 22 | 96,02 |
| | 3,00 | 35 | 83,36 |

| | N | Mean Rank | |
|----------|-------|-----------|--------|
| | 4,00 | 29 | 94,81 |
| | 5,00 | 69 | 93,22 |
| | Total | 180 | |
| Var19.5 | 1,00 | 25 | 80,90 |
| | 2,00 | 22 | 94,73 |
| | 3,00 | 35 | 95,86 |
| | 4,00 | 29 | 86,26 |
| | 5,00 | 69 | 91,70 |
| | Total | 180 | |
| Var19.6 | 1,00 | 25 | 79,84 |
| | 2,00 | 22 | 104,18 |
| | 3,00 | 35 | 90,54 |
| | 4,00 | 29 | 85,69 |
| | 5,00 | 69 | 92,00 |
| | Total | 180 | |
| Var19.7 | 1,00 | 25 | 83,28 |
| | 2,00 | 22 | 105,89 |
| | 3,00 | 35 | 84,13 |
| | 4,00 | 29 | 99,98 |
| | 5,00 | 69 | 87,46 |
| | Total | 180 | |
| Var19.8 | 1,00 | 25 | 82,40 |
| | 2,00 | 22 | 111,25 |
| | 3,00 | 35 | 84,61 |
| | 4,00 | 29 | 83,07 |
| | 5,00 | 69 | 92,93 |
| | Total | 180 | |
| Var19.9 | 1,00 | 25 | 94,72 |
| | 2,00 | 22 | 85,05 |
| | 3,00 | 35 | 92,74 |
| | 4,00 | 29 | 83,02 |
| | 5,00 | 69 | 92,72 |
| | Total | 180 | |
| Var19.10 | 1,00 | 25 | 87,66 |
| | 2,00 | 22 | 113,59 |
| | 3,00 | 35 | 82,00 |
| | 4,00 | 29 | 82,38 |
| | 5,00 | 69 | 91,89 |
| | Total | 180 | |
| Var19.11 | 1,00 | 25 | 103,92 |
| | 2,00 | 22 | 105,68 |
| | 3,00 | 35 | 84,90 |
| | 4,00 | 29 | 91,05 |
| | 5,00 | 69 | 83,41 |
| | Total | 180 | |
| Var19.12 | 1,00 | 25 | 81,94 |
| | 2,00 | 22 | 110,95 |
| | 3,00 | 35 | 85,06 |
| | 4,00 | 29 | 86,69 |
| | 5,00 | 69 | 91,44 |
| | Total | 180 | |
| Var19.13 | 1,00 | 25 | 92,06 |
| | 2,00 | 22 | 110,34 |
| | 3,00 | 35 | 83,66 |
| | 4,00 | 29 | 81,03 |
| | 5,00 | 69 | 91,06 |
| | Total | 180 | |

Testes estatísticos

| | Var17.1 | Var17.2 | Var18.1 | Var18.2 | Var18.3 | Var18.4 | Var19.1 | Var19.2 | Var19.3 | Var19.4 | Var19.5 | Var19.6 |
|--------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Chi-quadrado | 7,23 | 11,84 | 3,95 | 2,95 | 1,96 | 4,00 | 5,31 | 5,15 | 3,81 | 2,09 | 1,79 | 3,26 |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,124 | ,019 | ,413 | ,566 | ,742 | ,405 | ,257 | ,272 | ,432 | ,719 | ,774 | ,516 |
| | Var19.7 | Var19.8 | Var19.9 | Var19.10 | Var19.11 | Var19.12 | Var19.13 | | | | | |
| Chi-quadrado | 4,66 | 6,14 | 1,63 | 7,09 | 5,76 | 5,20 | 6,66 | | | | | |

| | Var19.7 | Var19.8 | Var19.9 | Var19.10 | Var19.11 | Var19.12 | Var19.13 |
|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,324 | ,189 | ,804 | ,131 | ,218 | ,268 | ,155 |

NPART TEST

/KRUSKAL-WALLIS = Var20 Var21 Var22 Var23 Var24 BY
Experiencia (1, 5)

Ranks

| | | N | Mean Rank |
|-------|-------|-----|-----------|
| Var20 | 1,00 | 25 | 82,90 |
| | 2,00 | 22 | 89,77 |
| | 3,00 | 35 | 99,36 |
| | 4,00 | 29 | 91,47 |
| | 5,00 | 69 | 88,59 |
| | Total | 180 | |
| Var21 | 1,00 | 25 | 100,36 |
| | 2,00 | 22 | 96,93 |
| | 3,00 | 35 | 92,63 |
| | 4,00 | 29 | 77,81 |
| | 5,00 | 69 | 89,13 |
| | Total | 180 | |
| Var22 | 1,00 | 25 | 91,46 |
| | 2,00 | 22 | 80,14 |
| | 3,00 | 35 | 90,04 |
| | 4,00 | 29 | 90,22 |
| | 5,00 | 69 | 93,80 |
| | Total | 180 | |
| Var23 | 1,00 | 25 | 84,54 |
| | 2,00 | 22 | 101,50 |
| | 3,00 | 35 | 81,56 |
| | 4,00 | 29 | 97,10 |
| | 5,00 | 69 | 90,91 |
| | Total | 180 | |
| Var24 | 1,00 | 25 | 79,22 |
| | 2,00 | 22 | 104,41 |
| | 3,00 | 35 | 83,64 |
| | 4,00 | 29 | 97,64 |
| | 5,00 | 69 | 90,63 |
| | Total | 180 | |

Testes estatísticos

| | Var20 | Var21 | Var22 | Var23 | Var24 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Chi-quadrado | 2,40 | 3,79 | 1,61 | 4,19 | 6,10 |
| df | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Asymp. Sig. | ,662 | ,435 | ,807 | ,381 | ,192 |

NPART TEST

/KRUSKAL-WALLIS = Var20 Var21 Var22 Var23 Var24 BY
 Instituicao (1, 12)

Ranks

| | | N | Mean Rank |
|-------|-------|-----|-----------|
| Var20 | 1,00 | 109 | 96,90 |
| | 2,00 | 13 | 74,04 |
| | 3,00 | 12 | 100,00 |
| | 4,00 | 22 | 73,41 |
| | 5,00 | 10 | 86,50 |
| | 6,00 | 3 | 62,50 |
| | 7,00 | 4 | 77,50 |
| | 8,00 | 7 | 83,93 |
| | Total | 180 | |
| Var21 | 1,00 | 109 | 97,95 |
| | 2,00 | 13 | 87,31 |
| | 3,00 | 12 | 56,00 |
| | 4,00 | 22 | 88,68 |
| | 5,00 | 10 | 81,10 |
| | 6,00 | 3 | 108,00 |
| | 7,00 | 4 | 88,50 |
| | 8,00 | 7 | 52,29 |
| | Total | 180 | |
| Var22 | 1,00 | 109 | 92,37 |
| | 2,00 | 13 | 76,04 |
| | 3,00 | 12 | 83,83 |
| | 4,00 | 22 | 83,59 |
| | 5,00 | 10 | 80,10 |
| | 6,00 | 3 | 94,50 |
| | 7,00 | 4 | 96,50 |
| | 8,00 | 7 | 131,07 |
| | Total | 180 | |
| Var23 | 1,00 | 109 | 88,18 |
| | 2,00 | 13 | 106,50 |
| | 3,00 | 12 | 81,88 |
| | 4,00 | 22 | 84,82 |
| | 5,00 | 10 | 102,60 |
| | 6,00 | 3 | 91,33 |
| | 7,00 | 4 | 98,38 |
| | 8,00 | 7 | 107,43 |
| | Total | 180 | |
| Var24 | 1,00 | 109 | 88,02 |
| | 2,00 | 13 | 104,12 |
| | 3,00 | 12 | 79,00 |
| | 4,00 | 22 | 87,36 |
| | 5,00 | 10 | 100,10 |
| | 6,00 | 3 | 88,50 |
| | 7,00 | 4 | 117,50 |
| | 8,00 | 7 | 105,07 |
| | Total | 180 | |

Testes estatísticos

| | Var20 | Var21 | Var22 | Var23 | Var24 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Chi-quadrado | 10,18 | 14,89 | 8,93 | 5,07 | 5,90 |
| df | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Asymp. Sig. | ,179 | ,037 | ,257 | ,651 | ,552 |

Resultados do teste de Dunn – Software RStudio

DTVar62 = dunn_test(Var6.2 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|--------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var6.2 | 1 | 2 | 25 | 22 | 1.166 | 0.244 | 1.000 | ns |
| 2 | Var6.2 | 1 | 3 | 25 | 35 | 2.130 | 0.033 | 0.332 | ns |
| 3 | Var6.2 | 1 | 4 | 25 | 29 | 0.853 | 0.394 | 1.000 | ns |
| 4 | Var6.2 | 1 | 5 | 25 | 69 | 3.018 | 0.003 | 0.025 | * |
| 5 | Var6.2 | 2 | 3 | 22 | 35 | 0.797 | 0.425 | 1.000 | ns |
| 6 | Var6.2 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.382 | 0.702 | 1.000 | ns |
| 7 | Var6.2 | 2 | 5 | 22 | 69 | 1.485 | 0.138 | 1.000 | ns |
| 8 | Var6.2 | 3 | 4 | 35 | 29 | -1.294 | 0.196 | 1.000 | ns |
| 9 | Var6.2 | 3 | 5 | 35 | 69 | 0.707 | 0.479 | 1.000 | ns |
| 10 | Var6.2 | 4 | 5 | 29 | 69 | 2.132 | 0.033 | 0.330 | ns |

DTVar91 = dunn_test(Var9.1 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|--------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var9.1 | 1 | 2 | 25 | 22 | 1.260 | 0.208 | 1.000 | ns |
| 2 | Var9.1 | 1 | 3 | 25 | 35 | 1.399 | 0.162 | 1.000 | ns |
| 3 | Var9.1 | 1 | 4 | 25 | 29 | 0.958 | 0.338 | 1.000 | ns |
| 4 | Var9.1 | 1 | 5 | 25 | 69 | 2.925 | 0.003 | 0.034 | * |
| 5 | Var9.1 | 2 | 3 | 22 | 35 | -0.007 | 0.994 | 1.000 | ns |
| 6 | Var9.1 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.378 | 0.705 | 1.000 | ns |
| 7 | Var9.1 | 2 | 5 | 22 | 69 | 1.285 | 0.199 | 1.000 | ns |
| 8 | Var9.1 | 3 | 4 | 35 | 29 | -0.418 | 0.676 | 1.000 | ns |
| 9 | Var9.1 | 3 | 5 | 35 | 69 | 1.525 | 0.127 | 1.000 | ns |
| 10 | Var9.1 | 4 | 5 | 29 | 69 | 1.905 | 0.057 | 0.568 | ns |

DTVar92 = dunn_test(Var9.2 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|--------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var9.2 | 1 | 2 | 25 | 22 | 1.977 | 0.048 | 0.481 | ns |
| 2 | Var9.2 | 1 | 3 | 25 | 35 | 2.280 | 0.023 | 0.226 | ns |
| 3 | Var9.2 | 1 | 4 | 25 | 29 | 1.102 | 0.270 | 1.000 | ns |
| 4 | Var9.2 | 1 | 5 | 25 | 69 | 3.027 | 0.002 | 0.025 | * |
| 5 | Var9.2 | 2 | 3 | 22 | 35 | 0.070 | 0.944 | 1.000 | ns |
| 6 | Var9.2 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.980 | 0.327 | 1.000 | ns |
| 7 | Var9.2 | 2 | 5 | 22 | 69 | 0.526 | 0.599 | 1.000 | ns |
| 8 | Var9.2 | 3 | 4 | 35 | 29 | -1.180 | 0.238 | 1.000 | ns |
| 9 | Var9.2 | 3 | 5 | 35 | 69 | 0.529 | 0.597 | 1.000 | ns |
| 10 | Var9.2 | 4 | 5 | 29 | 69 | 1.834 | 0.067 | 0.666 | ns |

Resultados do teste de Dunn – Software RStudio

DTVar133 = dunn_test(Var13.3 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|---------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var13.3 | 1 | 2 | 25 | 22 | 2.646 | 0.008 | 0.082 | ns |
| 2 | Var13.3 | 1 | 3 | 25 | 35 | 0.691 | 0.489 | 1.000 | ns |
| 3 | Var13.3 | 1 | 4 | 25 | 29 | 1.822 | 0.069 | 0.685 | ns |
| 4 | Var13.3 | 1 | 5 | 25 | 69 | 2.146 | 0.032 | 0.319 | ns |
| 5 | Var13.3 | 2 | 3 | 22 | 35 | -2.177 | 0.029 | 0.295 | ns |
| 6 | Var13.3 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.977 | 0.328 | 1.000 | ns |
| 7 | Var13.3 | 2 | 5 | 22 | 69 | -1.113 | 0.266 | 1.000 | ns |
| 8 | Var13.3 | 3 | 4 | 35 | 29 | 1.259 | 0.208 | 1.000 | ns |
| 9 | Var13.3 | 3 | 5 | 35 | 69 | 1.542 | 0.123 | 1.000 | ns |
| 10 | Var13.3 | 4 | 5 | 29 | 69 | 0.017 | 0.986 | 1.000 | ns |

DTVar153 = dunn_test(Var15.3 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|---------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var15.3 | 1 | 2 | 25 | 22 | 0.055 | 0.956 | 1.000 | ns |
| 2 | Var15.3 | 1 | 3 | 25 | 35 | -0.136 | 0.892 | 1.000 | ns |
| 3 | Var15.3 | 1 | 4 | 25 | 29 | 1.784 | 0.074 | 0.744 | ns |
| 4 | Var15.3 | 1 | 5 | 25 | 69 | -0.859 | 0.390 | 1.000 | ns |
| 5 | Var15.3 | 2 | 3 | 22 | 35 | -0.190 | 0.850 | 1.000 | ns |
| 6 | Var15.3 | 2 | 4 | 22 | 29 | 1.666 | 0.096 | 0.958 | ns |
| 7 | Var15.3 | 2 | 5 | 22 | 69 | -0.884 | 0.377 | 1.000 | ns |
| 8 | Var15.3 | 3 | 4 | 35 | 29 | 2.081 | 0.037 | 0.374 | ns |
| 9 | Var15.3 | 3 | 5 | 35 | 69 | -0.794 | 0.427 | 1.000 | ns |
| 10 | Var15.3 | 4 | 5 | 29 | 69 | -3.106 | 0.002 | 0.019 | * |

DTVar156 = dunn_test(Var15.6 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|---------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var15.6 | 1 | 2 | 25 | 22 | -1.431 | 0.152 | 1.000 | ns |
| 2 | Var15.6 | 1 | 3 | 25 | 35 | -3.022 | 0.003 | 0.025 | * |
| 3 | Var15.6 | 1 | 4 | 25 | 29 | -2.047 | 0.041 | 0.407 | ns |
| 4 | Var15.6 | 1 | 5 | 25 | 69 | -1.578 | 0.115 | 1.000 | ns |
| 5 | Var15.6 | 2 | 3 | 22 | 35 | -1.371 | 0.170 | 1.000 | ns |
| 6 | Var15.6 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.496 | 0.620 | 1.000 | ns |
| 7 | Var15.6 | 2 | 5 | 22 | 69 | 0.204 | 0.838 | 1.000 | ns |
| 8 | Var15.6 | 3 | 4 | 35 | 29 | 0.927 | 0.354 | 1.000 | ns |
| 9 | Var15.6 | 3 | 5 | 35 | 69 | 2.039 | 0.041 | 0.415 | ns |
| 10 | Var15.6 | 4 | 5 | 29 | 69 | 0.860 | 0.390 | 1.000 | ns |

Resultados do teste de Dunn – Software RStudio

DTVar1215 = dunn_test(Var12.15 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.15 | 1 | 2 | 25 | 22 | 2.653 | 0.008 | 0.080 | ns |
| 2 | Var12.15 | 1 | 3 | 25 | 35 | 2.395 | 0.017 | 0.166 | ns |
| 3 | Var12.15 | 1 | 4 | 25 | 29 | 2.774 | 0.006 | 0.055 | ns |
| 4 | Var12.15 | 1 | 5 | 25 | 69 | 3.196 | 0.001 | 0.014 | * |
| 5 | Var12.15 | 2 | 3 | 22 | 35 | -0.545 | 0.586 | 1.000 | ns |
| 6 | Var12.15 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.065 | 0.948 | 1.000 | ns |
| 7 | Var12.15 | 2 | 5 | 22 | 69 | -0.120 | 0.904 | 1.000 | ns |
| 8 | Var12.15 | 3 | 4 | 35 | 29 | 0.518 | 0.605 | 1.000 | ns |
| 9 | Var12.15 | 3 | 5 | 35 | 69 | 0.573 | 0.567 | 1.000 | ns |
| 10 | Var12.15 | 4 | 5 | 29 | 69 | -0.050 | 0.960 | 1.000 | ns |

DTVar1219 = dunn_test(Var12.19 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.19 | 1 | 2 | 25 | 22 | 2.805 | 0.005 | 0.050 | ns |
| 2 | Var12.19 | 1 | 3 | 25 | 35 | 0.708 | 0.479 | 1.000 | ns |
| 3 | Var12.19 | 1 | 4 | 25 | 29 | 2.122 | 0.034 | 0.339 | ns |
| 4 | Var12.19 | 1 | 5 | 25 | 69 | 0.984 | 0.325 | 1.000 | ns |
| 5 | Var12.19 | 2 | 3 | 22 | 35 | -2.332 | 0.020 | 0.197 | ns |
| 6 | Var12.19 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.852 | 0.394 | 1.000 | ns |
| 7 | Var12.19 | 2 | 5 | 22 | 69 | -2.411 | 0.016 | 0.159 | ns |
| 8 | Var12.19 | 3 | 4 | 35 | 29 | 1.567 | 0.117 | 1.000 | ns |
| 9 | Var12.19 | 3 | 5 | 35 | 69 | 0.212 | 0.832 | 1.000 | ns |
| 10 | Var12.19 | 4 | 5 | 29 | 69 | -1.579 | 0.114 | 1.000 | ns |

DTVar1220 = dunn_test(Var12.20 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.20 | 1 | 2 | 25 | 22 | 3.713 | 0.000 | 0.002 | ** |
| 2 | Var12.20 | 1 | 3 | 25 | 35 | 0.205 | 0.837 | 1.000 | ns |
| 3 | Var12.20 | 1 | 4 | 25 | 29 | 2.843 | 0.004 | 0.045 | * |
| 4 | Var12.20 | 1 | 5 | 25 | 69 | 1.222 | 0.222 | 1.000 | ns |
| 5 | Var12.20 | 2 | 3 | 22 | 35 | -3.792 | 0.000 | 0.001 | ** |
| 6 | Var12.20 | 2 | 4 | 22 | 29 | -1.095 | 0.274 | 1.000 | ns |
| 7 | Var12.20 | 2 | 5 | 22 | 69 | -3.268 | 0.001 | 0.011 | * |
| 8 | Var12.20 | 3 | 4 | 35 | 29 | 2.876 | 0.004 | 0.040 | * |
| 9 | Var12.20 | 3 | 5 | 35 | 69 | 1.116 | 0.264 | 1.000 | ns |
| 10 | Var12.20 | 4 | 5 | 29 | 69 | -2.217 | 0.027 | 0.266 | ns |

Resultados do teste de Dunn – Software RStudio

DTVar1221 = dunn_test(Var12.21 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.21 | 1 | 2 | 25 | 22 | 3.210 | 0.001 | 0.013 | * |
| 2 | Var12.21 | 1 | 3 | 25 | 35 | -0.020 | 0.984 | 1.000 | ns |
| 3 | Var12.21 | 1 | 4 | 25 | 29 | 1.663 | 0.096 | 0.962 | ns |
| 4 | Var12.21 | 1 | 5 | 25 | 69 | 1.135 | 0.256 | 1.000 | ns |
| 5 | Var12.21 | 2 | 3 | 22 | 35 | -3.468 | 0.001 | 0.005 | ** |
| 6 | Var12.21 | 2 | 4 | 22 | 29 | -1.713 | 0.087 | 0.867 | ns |
| 7 | Var12.21 | 2 | 5 | 22 | 69 | -2.750 | 0.006 | 0.060 | ns |
| 8 | Var12.21 | 3 | 4 | 35 | 29 | 1.828 | 0.068 | 0.675 | ns |
| 9 | Var12.21 | 3 | 5 | 35 | 69 | 1.302 | 0.193 | 1.000 | ns |
| 10 | Var12.21 | 4 | 5 | 29 | 69 | -0.854 | 0.393 | 1.000 | ns |

DTVar1222 = dunn_test(Var12.22 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.22 | 1 | 2 | 25 | 22 | 3.410 | 0.001 | 0.007 | ** |
| 2 | Var12.22 | 1 | 3 | 25 | 35 | -0.166 | 0.868 | 1.000 | ns |
| 3 | Var12.22 | 1 | 4 | 25 | 29 | 1.357 | 0.175 | 1.000 | ns |
| 4 | Var12.22 | 1 | 5 | 25 | 69 | 0.758 | 0.448 | 1.000 | ns |
| 5 | Var12.22 | 2 | 3 | 22 | 35 | -3.823 | 0.000 | 0.001 | ** |
| 6 | Var12.22 | 2 | 4 | 22 | 29 | -2.215 | 0.027 | 0.267 | ns |
| 7 | Var12.22 | 2 | 5 | 22 | 69 | -3.348 | 0.001 | 0.008 | ** |
| 8 | Var12.22 | 3 | 4 | 35 | 29 | 1.648 | 0.099 | 0.993 | ns |
| 9 | Var12.22 | 3 | 5 | 35 | 69 | 1.062 | 0.288 | 1.000 | ns |
| 10 | Var12.22 | 4 | 5 | 29 | 69 | -0.874 | 0.382 | 1.000 | ns |

DTVar1223 = dunn_test(Var12.23 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.23 | 1 | 2 | 25 | 22 | 3.231 | 0.001 | 0.012 | * |
| 2 | Var12.23 | 1 | 3 | 25 | 35 | 1.044 | 0.296 | 1.000 | ns |
| 3 | Var12.23 | 1 | 4 | 25 | 29 | 1.163 | 0.245 | 1.000 | ns |
| 4 | Var12.23 | 1 | 5 | 25 | 69 | 1.425 | 0.154 | 1.000 | ns |
| 5 | Var12.23 | 2 | 3 | 22 | 35 | -2.466 | 0.014 | 0.137 | ns |
| 6 | Var12.23 | 2 | 4 | 22 | 29 | -2.218 | 0.027 | 0.265 | ns |
| 7 | Var12.23 | 2 | 5 | 22 | 69 | -2.499 | 0.012 | 0.124 | ns |
| 8 | Var12.23 | 3 | 4 | 35 | 29 | 0.175 | 0.861 | 1.000 | ns |
| 9 | Var12.23 | 3 | 5 | 35 | 69 | 0.285 | 0.776 | 1.000 | ns |
| 10 | Var12.23 | 4 | 5 | 29 | 69 | 0.069 | 0.945 | 1.000 | ns |

Resultados do teste de Dunn – Software RStudio

DTVar1224 = dunn_test(Var12.24 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.24 | 1 | 2 | 25 | 22 | 1.718 | 0.086 | 0.857 | ns |
| 2 | Var12.24 | 1 | 3 | 25 | 35 | -0.382 | 0.703 | 1.000 | ns |
| 3 | Var12.24 | 1 | 4 | 25 | 29 | -1.223 | 0.222 | 1.000 | ns |
| 4 | Var12.24 | 1 | 5 | 25 | 69 | 0.627 | 0.531 | 1.000 | ns |
| 5 | Var12.24 | 2 | 3 | 22 | 35 | -2.214 | 0.027 | 0.269 | ns |
| 6 | Var12.24 | 2 | 4 | 22 | 29 | -2.957 | 0.003 | 0.031 | * |
| 7 | Var12.24 | 2 | 5 | 22 | 69 | -1.454 | 0.146 | 1.000 | ns |
| 8 | Var12.24 | 3 | 4 | 35 | 29 | -0.931 | 0.352 | 1.000 | ns |
| 9 | Var12.24 | 3 | 5 | 35 | 69 | 1.187 | 0.235 | 1.000 | ns |
| 10 | Var12.24 | 4 | 5 | 29 | 69 | 2.169 | 0.030 | 0.301 | ns |

DTVar1226 = dunn_test(Var12.26 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|----------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var12.26 | 1 | 2 | 25 | 22 | 2.305 | 0.021 | 0.211 | ns |
| 2 | Var12.26 | 1 | 3 | 25 | 35 | -0.072 | 0.942 | 1.000 | ns |
| 3 | Var12.26 | 1 | 4 | 25 | 29 | 1.270 | 0.204 | 1.000 | ns |
| 4 | Var12.26 | 1 | 5 | 25 | 69 | 1.960 | 0.050 | 0.500 | ns |
| 5 | Var12.26 | 2 | 3 | 22 | 35 | -2.546 | 0.011 | 0.109 | ns |
| 6 | Var12.26 | 2 | 4 | 22 | 29 | -1.158 | 0.247 | 1.000 | ns |
| 7 | Var12.26 | 2 | 5 | 22 | 69 | -0.883 | 0.377 | 1.000 | ns |
| 8 | Var12.26 | 3 | 4 | 35 | 29 | 1.456 | 0.145 | 1.000 | ns |
| 9 | Var12.26 | 3 | 5 | 35 | 69 | 2.296 | 0.022 | 0.217 | ns |
| 10 | Var12.26 | 4 | 5 | 29 | 69 | 0.501 | 0.616 | 1.000 | ns |

DTVar172 = dunn_test(Var17.2 ~ Experiencia, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|---------|--------|--------|----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var17.2 | 1 | 2 | 25 | 22 | 2.848 | 0.004 | 0.044 | * |
| 2 | Var17.2 | 1 | 3 | 25 | 35 | 2.055 | 0.040 | 0.399 | ns |
| 3 | Var17.2 | 1 | 4 | 25 | 29 | 2.062 | 0.039 | 0.392 | ns |
| 4 | Var17.2 | 1 | 5 | 25 | 69 | 3.207 | 0.001 | 0.013 | * |
| 5 | Var17.2 | 2 | 3 | 22 | 35 | -1.082 | 0.279 | 1.000 | ns |
| 6 | Var17.2 | 2 | 4 | 22 | 29 | -0.954 | 0.340 | 1.000 | ns |
| 7 | Var17.2 | 2 | 5 | 22 | 69 | -0.343 | 0.731 | 1.000 | ns |
| 8 | Var17.2 | 3 | 4 | 35 | 29 | 0.099 | 0.921 | 1.000 | ns |
| 9 | Var17.2 | 3 | 5 | 35 | 69 | 1.014 | 0.311 | 1.000 | ns |
| 10 | Var17.2 | 4 | 5 | 29 | 69 | 0.839 | 0.401 | 1.000 | ns |

Resultados do teste de Dunn – Software RStudio

DTVar21 = dunn_test(Var21 ~ instituicao, data = Dados, p.adjust.method = "bonferroni")

| | .y. | group1 | group2 | n1 | n2 | statistic | p | p.adj | p.adj.signif |
|----|-------|--------|--------|-----|----|-----------|-------|-------|--------------|
| 1 | Var21 | 1 | 2 | 109 | 13 | -0.776 | 0.438 | 1.000 | ns |
| 2 | Var21 | 1 | 3 | 109 | 12 | -2.949 | 0.003 | 0.089 | ns |
| 3 | Var21 | 1 | 4 | 109 | 22 | -0.848 | 0.396 | 1.000 | ns |
| 4 | Var21 | 1 | 5 | 109 | 10 | -1.090 | 0.276 | 1.000 | ns |
| 5 | Var21 | 1 | 6 | 109 | 3 | 0.367 | 0.714 | 1.000 | ns |
| 6 | Var21 | 1 | 7 | 109 | 4 | -0.397 | 0.691 | 1.000 | ns |
| 7 | Var21 | 1 | 8 | 109 | 7 | -2.504 | 0.012 | 0.344 | ns |
| 8 | Var21 | 2 | 3 | 13 | 12 | -1.672 | 0.095 | 1.000 | ns |
| 9 | Var21 | 2 | 4 | 13 | 22 | 0.084 | 0.933 | 1.000 | ns |
| 10 | Var21 | 2 | 5 | 13 | 10 | -0.316 | 0.752 | 1.000 | ns |
| 11 | Var21 | 2 | 6 | 13 | 3 | 0.691 | 0.490 | 1.000 | ns |
| 12 | Var21 | 2 | 7 | 13 | 4 | 0.045 | 0.964 | 1.000 | ns |
| 13 | Var21 | 2 | 8 | 13 | 7 | -1.597 | 0.110 | 1.000 | ns |
| 14 | Var21 | 3 | 4 | 12 | 22 | 1.947 | 0.052 | 1.000 | ns |
| 15 | Var21 | 3 | 5 | 12 | 10 | 1.253 | 0.210 | 1.000 | ns |
| 16 | Var21 | 3 | 6 | 12 | 3 | 1.722 | 0.085 | 1.000 | ns |
| 17 | Var21 | 3 | 7 | 12 | 4 | 1.203 | 0.229 | 1.000 | ns |
| 18 | Var21 | 3 | 8 | 12 | 7 | -0.167 | 0.867 | 1.000 | ns |
| 19 | Var21 | 4 | 5 | 22 | 10 | -0.425 | 0.671 | 1.000 | ns |
| 20 | Var21 | 4 | 6 | 22 | 3 | 0.671 | 0.502 | 1.000 | ns |
| 21 | Var21 | 4 | 7 | 22 | 4 | -0.007 | 0.994 | 1.000 | ns |
| 22 | Var21 | 4 | 8 | 22 | 7 | -1.793 | 0.073 | 1.000 | ns |
| 23 | Var21 | 5 | 6 | 10 | 3 | 0.874 | 0.382 | 1.000 | ns |
| 24 | Var21 | 5 | 7 | 10 | 4 | 0.267 | 0.789 | 1.000 | ns |
| 25 | Var21 | 5 | 8 | 10 | 7 | -1.250 | 0.211 | 1.000 | ns |
| 26 | Var21 | 6 | 7 | 3 | 4 | -0.546 | 0.585 | 1.000 | ns |
| 27 | Var21 | 6 | 8 | 3 | 7 | -1.726 | 0.084 | 1.000 | ns |
| 28 | Var21 | 7 | 8 | 4 | 7 | -1.235 | 0.217 | 1.000 | ns |

CORRELATION

/VARIABLES = MODA LITERATURA
 /PRINT = TWOTAIL NOSIG.

Correlations

| | | MODA | LITERATURA |
|------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| MODA | Pearson Correlation | 1,000 | ,271 ^a |
| | Sig. (2-tailed) | | ,005 |
| | N | 104 | 104 |
| LITERATURA | Pearson Correlation | ,271 ^a | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | ,005 | |
| | N | 104 | 104 |

a. Significant at .05 level

CORRELATION

/VARIABLES = MODA_CAUSA LITERATURA_CAUSA
 /PRINT = TWOTAIL NOSIG.

Correlations

| | | MODA_CAUSA | LITERATURA_CAUSA |
|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| MODA_CAUSA | Pearson Correlation | 1,000 | ,501 ^a |
| | Sig. (2-tailed) | | ,007 |
| | N | 28 | 28 |
| LITERATURA_CAUSA | Pearson Correlation | ,501 ^a | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | ,007 | |
| | N | 28 | 28 |

a. Significant at .05 level

CORRELATION

/VARIABLES = MODA_LOCAL LITERATURA_LOCAL
 /PRINT = TWOTAIL NOSIG.

Correlations

| | | MODA_LOCAL | LITERATURA_LOCAL |
|------------------|---------------------|------------|------------------|
| MODA_LOCAL | Pearson Correlation | 1,000 | ,123 |
| | Sig. (2-tailed) | | ,525 |
| | N | 29 | 29 |
| LITERATURA_LOCAL | Pearson Correlation | ,123 | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | ,525 | |
| | N | 29 | 29 |

CORRELATION

/VARIABLES = MODA_CONSEQUENCIA LITERATURA_CONSEQUENCIA
 /PRINT = TWOTAIL NOSIG.

Correlations

| | | MODA_CONSEQUENCIA | LITERATURA_CONSEQUENCIA |
|-------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| MODA_CONSEQUENCIA | Pearson Correlation | 1,000 | ,524 ^a |
| | Sig. (2-tailed) | | ,004 |
| | N | 28 | 28 |
| LITERATURA_CONSEQUENCIA | Pearson Correlation | ,524 ^a | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | ,004 | |
| | N | 28 | 28 |

a. Significant at .05 level

CORRELATION

/VARIABLES = MODA_MALHA LITERATURA_MALHA
 /PRINT = TWOTAIL NOSIG.

Correlations

| | | MODA_MALHA | LITERATURA_MALHA |
|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| MODA_MALHA | Pearson Correlation | 1,000 | ,493 ^a |
| | Sig. (2-tailed) | | ,032 |
| | N | 19 | 19 |
| LITERATURA_MALHA | Pearson Correlation | ,493 ^a | 1,000 |
| | Sig. (2-tailed) | ,032 | |
| | N | 19 | 19 |

a. Significant at .05 level

APÊNDICE H – FORMULÁRIOS PARA COLETA DE DADOS

Neste apêndice são apresentados os formulários de coleta de dados de eventos e da malha dutoviária brasileira para serem utilizados futuramente como suporte para implementação do banco de dados nacional de falha em dutos.

BANCO DE DADOS NACIONAL DE FALHAS DE DUTOS

INFORMAÇÕES SOBRE O EVENTO

| | | | |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1. NOME DA OPERADORA | 2. NOME DA PESSOA PARA CONTATO | 3. TELEFONE PARA CONTATO | |
| | | | |
| 4. NÚMERO DO EVENTO | 5. NOME DO DUTO | 6. TIPO DE DUTO | 7. DATA DO REPORTE |
| | | | |

8. DESCRIÇÃO SUCINTA DO EVENTO

| |
|--|
| |
|--|

9. CAUSA DO EVENTO

Selecione causa

Ação de Terceiros Corrosão Defeitos de Material, Fabricação e Montagem
 Forças da Natureza Operações Incorretas Falha de Equipamentos

Em caso de Ação de Terceiros

| | | |
|---|---------------|----------------------|
| <input checked="" type="radio"/> Dano Não Intencional | Tipo de falha | <input type="text"/> |
| <input type="radio"/> Dano Intencional | Atividade | <input type="text"/> |

Em caso de Corrosão

| | |
|------------------|----------------------|
| Tipo de corrosão | <input type="text"/> |
|------------------|----------------------|

Em caso de Defeito de Material, Fabricação e Montagem

| | |
|-----------------|----------------------|
| Tipo de defeito | <input type="text"/> |
|-----------------|----------------------|

Em caso de Forças da Natureza

| | |
|---------------|----------------------|
| Tipo de causa | <input type="text"/> |
|---------------|----------------------|

Em caso de Operações Incorretas

| | |
|----------------------|----------------------|
| Tipo de procedimento | <input type="text"/> |
|----------------------|----------------------|

Em caso de Falha de Equipamentos

| | |
|---------------------|----------------------|
| Tipo de equipamento | <input type="text"/> |
|---------------------|----------------------|

BANCO DE DADOS NACIONAL DE FALHAS DE DUTOS

INFORMAÇÕES SOBRE O EVENTO

10. CARACTERÍSTICAS DO DUTO NO LOCAL E NO MOMENTO DO EVENTO

Características Físicas / Projeto

| | | | |
|------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| 10.1 Espessura da parede [mm] | <input type="text"/> | 10.2 Trecho aéreo ou enterrado? | <input type="text"/> |
| 10.3 Diâmetro do duto [polegada] | <input type="text"/> | 10.4 Tipo de tubo | <input type="text"/> |
| 10.5 Profundidade do trecho [m] | <input type="text"/> | 10.6 Ano de Construção / Instalação | <input type="text"/> |
| 10.7 Grau do material do tubo | <input type="text"/> | 10.8 Pressão Teste Hidrostático [bar] | <input type="text"/> |
| 10.9 Fator de projeto | <input type="text"/> | 10.10 Pressão de projeto [bar] | <input type="text"/> |
| 10.11 Há revestimento interno? | <input type="text"/> | 10.12 Tipo de Travessia | <input type="text"/> |
| 10.13 Tipo de Revestimento Externo | <input type="text"/> | | |

Variáveis operacionais

| | | | |
|----------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| 10.14 Produto transportado | <input type="text"/> | 10.15 Pressão de Operação [bar] | <input type="text"/> |
| 10.16 PMOA [bar] | <input type="text"/> | 10.17 Vazão [m3/h] | <input type="text"/> |

Dados temporais e localização geográfica

| | | | |
|---|---------------------------|---------|----------------------|
| 10.18 Data do Evento | <input type="text"/> | | |
| 10.19 Coordenadas geográficas: | LAT <input type="text"/> | LONG | <input type="text"/> |
| 10.20 Data e horário da detecção do vazamento | Data <input type="text"/> | Horário | <input type="text"/> |
| 10.21 Data e horário da parada da operação do duto | Data <input type="text"/> | Horário | <input type="text"/> |
| 10.22 Data e horário da parada do vazamento | Data <input type="text"/> | Horário | <input type="text"/> |
| 10.23 Taxa de vazamento estimada antes da parada [m3/s] | <input type="text"/> | | |

Medidas de prevenção / mitigação de risco

| | | | | |
|---|-------------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|
| 10.24 O trecho foi inspecionado anteriormente por PIGs? | <input type="text"/> | | | |
| Em caso positivo, selecione o(s) tipo(s): | <input type="checkbox"/> Geométrico | <input type="checkbox"/> MFL (Fluxo Magnético) | <input type="checkbox"/> Ultrassônico | <input type="checkbox"/> EMAT |
| 10.25 Tipo de Proteção catódica | <input type="text"/> | | | |
| 10.26 Medidas de proteção presentes no local | <input type="text"/> | | | |
| 10.27 O trecho foi inspecionado por vigilância aérea? | <input type="text"/> | | | |

Detecção

| | |
|---|----------------------|
| 10.28 Forma através da qual o vazamento foi detectado | <input type="text"/> |
| 10.29 Tipo de sistema de detecção presente no trecho | <input type="text"/> |

Obs.1: Apenas os dados em preto são obrigatórios de serem preenchidos.

Obs.2: O preenchimento dos dados em cinza é opcional.

BANCO DE DADOS NACIONAL DE FALHAS DE DUTOS

INFORMAÇÕES SOBRE O EVENTO

11. CONSEQUÊNCIAS

Modo de falha

11.1 Tipo de ocorrência

Dimensões do furo / trinca

Área do dano [mm²]

Comprimento do dano [mm]

Largura do dano [mm]

11.2 Orientação do dano na seção transversal do duto

Orientação



Orientação do dano

11.3 Houve formação de cratera no solo?

Dimensões da cratera

Profundidade [m]

Comprimento da cratera [m]

Largura da cratera [m]

11.4 Tipo de reparo utilizado

Impactos para pessoas / patrimônio

11.5 Houve ignição do produto vazado?

11.6 Ocorreu explosão?

11.8 Houve fatalidades?

Número de fatalidades (se houver)

11.9 Houve feridos?

Numero de feridos (se houver)

11.10 Houve danos a propriedade de terceiros?

11.11 Houve danos a outras instalações do operador?

11.12 Raio de dano estimado resultante do incêndio / explosão [m]

11.13 Densidade populacional da região afetada [habitantes/km²]

11.14 Classe de locação

11.15 Classificação do uso do solo

Impactos ambientais

11.16 Quantidade total de produto vazado

11.17 Quantidade total de produto recuperado (remediação)

11.18 Extensão da área total de solo impactada [m²]

11.19 Tempo total gasto para limpeza do ambiente impactado

11.20 O produto vazado atingiu algum corpo d'água?

11.21 Classificação do corpo d'água atingido

11.22 O corpo d'água atingido é utilizado para captação de água potável para consumo humano?

Impactos financeiros

11.23 Estimativa da perda financeira associada ao incêndio / explosão [R\$]

11.24 Estimativa da perda financeira associada à poluição ambiental [R\$]

11.25 Período total de parada da operação

Obs.1: Apenas os dados em preto são obrigatórios de serem preenchidos.

Obs.2: O preenchimento dos dados em cinza é opcional.

BANCO DE DADOS NACIONAL DE FALHAS DE DUTOS

INFORMAÇÕES SOBRE A MALHA DUTOVIÁRIA

1. NOME DA OPERADORA

2. NOME DA PESSOA PARA CONTATO

3. TELEFONE PARA CONTATO

4. DADOS SOBRE A MALHA

4.1 Tipo de Duto

4.2 Ano de referência

Selecione o tipo de produto

Petróleo Cru

Claros (incluindo GLP)

Escuros

Outro (Citar abaixo)

Etanol

Gás Natural

CO2

EXTENSÃO TOTAL - TRECHOS EXTRAMUROS

4.3 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

Extensão total (km)

EXTENSÃO SEGREGADA POR ANO DE CONSTRUÇÃO - TRECHOS EXTRAMUROS

4.4 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| Classe - Ano de Construção | 1951 - 1960 | 1961 - 1970 | 1971 - 1980 | 1981 - 1990 |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Extensão total (km) | | | | |
| Classe - Ano de Construção | 1991 - 2000 | 2001 - 2010 | 2011 - 2020 | 2021 - 2030 |
| Extensão total (km) | | | | |

EXTENSÃO SEGREGADA POR DIÂMETRO - TRECHOS EXTRAMUROS

4.5 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | | | | | | | |
|---------------------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Diâmetro | ≤ 4 in | 6 in | 8 in | 10 in | 12 in | 14 in | 16 in | 18 in |
| Extensão total (km) | | | | | | | | |
| Diâmetro | 20 in | 22 in | 24 in | 26 in | 28 in | 30 in | 32 in | 34 in |
| Extensão total (km) | | | | | | | | |
| Diâmetro | 36 in | 38 in | 40 in | 42 in | 44 in | 46 in | 48 in | 50 in |
| Extensão total (km) | | | | | | | | |
| Diâmetro | 52 in | 54 in | 56 in | ≥ 58 in | | | | |
| Extensão total (km) | | | | | | | | |

EXTENSÃO SEGREGADA POR ESPESSURA - TRECHOS EXTRAMUROS

4.6 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | | | |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Classe - Espessura | ≤ 5 mm | Entre 5 e 10 mm | Entre 10 e 15 mm | Entre 15 e 20 mm |
| Extensão total (km) | | | | |
| Classe - Espessura | Entre 20 e 25 mm | Entre 25 e 30 mm | ≥ 30 mm | |
| Extensão total (km) | | | | |

EXTENSÃO SEGREGADA POR PMOA - TRECHOS EXTRAMUROS (APENAS PARA GASODUTOS)

4.7 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | | | |
|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Classe - PMOA | ≤ 20 bar | Entre 20 e 40 bar | Entre 40 e 60 bar | Entre 60 e 80 bar |
| Extensão total (km) | | | | |
| Classe - PMOA | Entre 80 e 100 bar | > 100 bar | | |
| Extensão total (km) | | | | |

EXTENSÃO SEGREGADA POR PROFUNDIDADE NO SOLO - TRECHOS EXTRAMUROS

4.8 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Classe - Profundidade | ≤ 0,5 metros | Entre 0,5 e 1,0 metro | Entre 1,0 e 1,5 metros | Entre 1,5 e 2,0 metros |
| Extensão total (km) | | | | |
| Classe - Profundidade | Entre 2,0 e 2,5 metros | Entre 2,5 e 3,0 metros | > 3,0 metros | |
| Extensão total (km) | | | | |

EXTENSÃO SEGREGADA POR CLASSE DE LOCAÇÃO / USO DO SOLO - TRECHOS EXTRAMUROS

4.9 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | | | |
|---------------------|------------|-----------------|-------------|----------|
| Classe de locação | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 |
| Extensão total (km) | | | | |
| Uso do solo | Área Rural | Área Industrial | Área Urbana | |
| Extensão total (km) | | | | |

EXTENSÃO SEGREGADA POR GRAU DO MATERIAL - TRECHOS EXTRAMUROS

4.10 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | | | | | | | |
|---------------------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Grau do material | Grau A | Grau B | X42 | X46 | X52 | X56 | X60 | X65 |
| Extensão total (km) | | | | | | | | |
| Grau do material | X70 | X80 | | | | | | |
| Extensão total (km) | | | | | | | | |

EXTENSÃO SEGREGADA POR PRESENÇA DE PROTEÇÃO CATÓDICA - TRECHOS EXTRAMUROS

4.11 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | |
|--|---------------------|----------------------|
| Trechos protegidos por proteção catódica | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| Trechos desprotegidos | Extensão total (km) | <input type="text"/> |

EXTENSÃO SEGREGADA POR TIPO DE REVESTIMENTO EXTERNO - TRECHOS EXTRAMUROS

4.12 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | |
|-------------|---------------------|----------------------|
| Asfalto | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| Coal tar | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| Betume | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| Polietileno | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| Epoxy | Extensão total (km) | <input type="text"/> |

EXTENSÃO SEGREGADA POR TIPO DE FERRAMENTA DE INSPEÇÃO POR PIG - TRECHOS EXTRAMUROS

4.13 Inserir a extensão total da malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

| | | |
|--------------|---------------------|----------------------|
| Geométrico | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| MFL | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| Ultrassônico | Extensão total (km) | <input type="text"/> |
| EMAT | Extensão total (km) | <input type="text"/> |

VOLUME TOTAL TRANSPORTADO

4.14 Inserir o volume total transportado pela malha, no ano de referência, para o tipo de duto e para o produto transportado selecionados acima

Volume total (m3)

Obs.1: Apenas os dados em preto são obrigatórios de serem preenchidos.

Obs.2: O preenchimento dos dados em cinza é opcional.

APÊNDICE I – CONTROLES PARA GESTÃO DE RISCOS NA OPERAÇÃO DE DUTOS TERRESTRES

Tabela I.1 – Controles propostos pelo UKOPA (2014) para gestão de riscos na operação de dutos terrestres.

Fonte: UKOPA (2014).

| Controle | Indicador | Propósito | Tipo de indicador |
|-----------------------------|--|--|-------------------|
| Documentação | 1.1 Percentual do número de desenhos técnicos chave (principais) checados dentro dos últimos 5 anos. | Demonstrar que os registros estão sendo monitorados / acompanhados. | Proativo |
| | 1.2 Número de desenhos técnicos chave (principais) não disponíveis ou que precisam ser atualizados. | Utilizar análise de tendência para comparar o status atual com anos anteriores. | Reativo |
| | 1.3 Número de projetos que não foram atualizados no repositório de documentos em função de comissionamentos ou modificações que tenham sido feitas nos três últimos meses. | Confirmar que o repositório de documentos foi atualizado. | Proativo |
| Liderança | 2.1 Número de visitas / auditorias realizadas pela liderança (diretores/executivos) às instalações operacionais conforme programado. | Confirmar se a liderança está familiarizada com os assuntos e preocupações da força de trabalho. | Proativo |
| | 2.2 Percentual de auditorias do sistema de gestão e das medidas de controle de risco realizadas conforme planejado. | Confirmar se as auditorias estão sendo realizadas. | Proativo |
| | 2.3 Número de recomendações resultantes das auditorias / investigações que não foram concluídas no prazo. | Confirmar se os planos de ação estão sendo implementados conforme planejado. | Proativo |
| Competências e treinamentos | 3.1 Número de empregados ou terceiros cujo "Plano de Competência" não foi revisto dentro de um período determinado. | Utilizado para confirmar se o processo de revisão das competências é efetivo. | Proativo |
| | 3.2 Percentual de treinamentos completados conforme planejado. | Confirmar se o programa de treinamentos está sendo realizado. | Proativo |
| | 3.3 Percentual de auditorias realizadas para garantir que os empregados ou terceiros conhecem os procedimentos estabelecidos nos padrões/normas da empresa. | Confirmar se o processo de auditorias está sendo realizado. | Proativo |
| | 3.4 Número de incidentes ocorridos os quais a falta de competência foi identificada como causa raiz. | Utilizar análise de tendência para avaliar se o processo de gestão de competências é efetivo. | Reativo |
| | 3.5 Número de auditorias nas quais foram identificadas questões relacionadas a competências e treinamentos. | Utilizar análise de tendência para avaliar se o processo de gestão de competências é efetivo. | Proativo |
| Gestão de mudanças | 4.1 Número de modificações completadas durante os últimos 12 meses e que seguiram os procedimentos de gestão de mudança. | Utilizar análise de tendência para identificar se o processo está capturando todas as modificações realizadas. | Proativo |
| | 4.2 Número de incidentes ocorridos nos quais a falha no processo gestão da mudança foi identificada como causa raiz. | Utilizar análise de tendência para identificar se o processo está capturando todas as modificações realizadas. | Reativo |

| Controle | Indicador | Propósito | Tipo de indicador |
|-----------------|---|--|-------------------|
| Integridade | 5.1 Percentual das inspeções de integridade de equipamentos realizadas em relação ao planejado. | Confirmar se as inspeções estão sendo realizadas conforme planejado. | Proativo |
| | 5.2 Percentual das inspeções por PIG instrumentado (ILI <i>inspection</i>) e demais inspeções de integridade do duto realizadas em relação ao planejado. | Confirmar se as inspeções estão sendo realizadas conforme planejado. | Proativo |
| | 5.3 Número de defeitos identificados no duto por PIG Instrumentado (ILI <i>Inspection</i>) ou no revestimento por inspeções diversas. | Utilizar análise de tendência para avaliar se o processo de gestão de integridade é efetivo. | Proativo |
| | 5.4 Percentual de manutenções realizadas em sistemas de monitoramento da qualidade dos produtos transportados (líquido ou gasoso) em relação ao planejado. | Confirmar se os equipamentos de monitoramento da qualidade dos produtos estão funcionando corretamente. | Proativo |
| | 5.5 Número de eventos em que o produto não atingiu a especificação requerida. | Garantir que a qualidade dos produtos transportados está adequada e não causará corrosão inesperada no duto. | Reativo |
| | 5.6 Percentual dos sistemas de proteção catódica monitorados conforme planejado. | Confirmar se os sistemas de proteção catódica estão funcionando adequadamente. | Proativo |
| | 5.7 Percentual das inspeções de proteção catódica (CIPS, DCVG) realizadas conforme planejado. | Confirmar se os sistemas de proteção catódica são efetivos. | Proativo |
| | 5.8 Extensão (em quilômetros) de duto não protegido por proteção catódica por mais de 6 meses. | Identificar pontos vulneráveis na malha de dutos. | Reativo |
| | 5.9 Percentual das inspeções de presença de corrosão realizadas em trechos aéreos conforme planejado. | Confirmar se os trechos aéreos são inspecionados conforme planejado. | Proativo |
| | 5.10 Número de defeitos que resultaram em perda de contenção primária ou de reparos requeridos na parede do duto causados por corrosão (interna ou externa). | Utilizar análise de tendência para avaliar se o processo de gestão de integridade é efetivo. | Reativo |
| | 5.11 Número de ciclos de pressão monitorados abaixo do permitido (tolerância) durante um determinado período de tempo. | Avaliar se os registros estão abaixo dos ciclos de pressão permitidos (fadiga). | Proativo |
| | 5.12 Número de ciclos de pressão monitorados acima do permitido (tolerância) durante um determinado período de tempo. | Avaliar se o número de ciclos de pressão acima do permitido implica em redução da vida à fadiga do duto. | Reativo |
| Gestão da Faixa | 6.1 Percentual das inspeções de faixa conforme programado (inspeções por andarilhos, inspeções de cruzamentos de rios/estradas, inspeções de encostas, etc). | Monitorar o progresso das inspeções. | Proativo |
| | 6.2 Número de desvios encontrados durante as inspeções de faixa (ex.: novas construções nas proximidades das faixas, pontos de redução de profundidade do duto, erosões etc). | Utilizar análise de tendência para avaliar se o processo de gestão de faixa é efetivo. | Reativo |
| | 6.3 Número de desvios que não foram tratados ou cujas análises de risco não foram realizadas dentro dos 12 meses após sua identificação. | Utilizar análise de tendência para avaliar se o processo de gestão de faixa é efetivo. | Reativo |

| Controle | Indicador | Propósito | Tipo de indicador |
|---------------------------------|---|--|-------------------|
| Gestão de Interferência Externa | 7.1 Percentual de contatos realizados com as partes interessadas (<i>stakeholders</i>) chave dentro dos últimos 12 meses (prefeituras, comunidades, órgãos reguladores, etc). | Confirmar que o programa de conscientização das partes interessadas é efetivo. | Proativo |
| | 7.2 Percentual de marcos demarcatórios das faixas de dutos inspecionados conforme planejado. | Avaliar se a sinalização das faixas de dutos está adequada. | Proativo |
| | 7.3 Número de dias necessários para o operador responder a uma consulta de terceira parte (reportar tempo médio e o evento que demandou o maior tempo de resposta). | Confirmar se o processo de resposta é eficiente. | Proativo |
| | 7.4 Percentual da extensão de dutos submetidos a vigilância aérea e/ou terrestre conforme planejado | Confirmar se a vigilância da faixa está sendo realizada conforme o planejamento. | Proativo |
| | 7.5 Número de interferências de terceiros não previstas na faixa ou em suas proximidades encontradas em um dado período. | Utilizar análise de tendência para identificar se o processo de resposta a consultas de terceira parte é efetivo. | Reativo |
| | 7.6 Número de incidentes que provocaram danos na parede do duto (sulcos, mossas, perda de contenção) ou no seu revestimento. | Utilizar análise de tendência para identificar se o processo de resposta a consultas de terceira parte é efetivo. | Reativo |
| Manutenção de equipamentos | 8.1 Percentual do plano de manutenção realizado conforme planejado. | Confirmar se o plano de manutenção foi realizado conforme planejamento. | Proativo |
| | 8.2 Percentual de dispositivos de proteção (ex.: PSVs) e Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS) testados conforme planejado. | Confirmar se os testes de dispositivos de proteção foram realizados conforme programado. | Proativo |
| | 8.3 Número de falhas ou defeitos encontrados e que estejam fora do escopo do plano normal de manutenção. | Utilizar análise de tendência para determinar a efetividade da política de manutenção. | Reativo |
| | 8.4 Número de dispositivos de proteção e/ou Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS) que falharam quando testados ou na demanda. | Utilizar análise de tendência para determinar a efetividade da política de manutenção de dispositivos de proteção. | Reativo |
| | 8.5 Número de falhas / defeitos que não foram mantidos no prazo. | Monitorar a completude do processo de correção de defeitos / falhas. | Proativo |
| Procedimentos Operacionais | 9.1 Número de procedimentos operacionais não revisados dentro dos últimos 5 anos ou atualizados em função de uma mudança do processo. | Confirmar se os procedimentos operacionais estão atualizados. | Proativo |
| | 9.2 Número de incidentes ocorridos nos quais procedimentos inadequados ou desatualizados foram identificados como causa raiz. | Utilizar análise de tendência para identificar se o processo de atualização e revisão de procedimentos é efetivo. | Reativo |
| | 9.3 Número de vezes que o tempo de resposta do operador a um alarme excedeu o tempo máximo previsto em norma (ou por padrão do operador). | Determinar a efetividade do processo de gestão de alarmes. | Proativo |
| | 9.4 Número de incidentes ocorridos nos quais o tratamento de alarmes foi identificado como causa raiz. | Utilizar análise de tendência para identificar se o processo de gestão de alarmes é efetivo. | Reativo |

| Controle | Indicador | Propósito | Tipo de indicador |
|---|--|--|-------------------|
| Resposta à Emergência | 10.1 Número de procedimentos de emergência testados nos últimos três anos ou dentro do período estabelecido pela política da empresa. | Determinar se o programa de teste de procedimentos de emergência está sendo seguido. | Proativo |
| | 10.2 Confirmação se os recursos (materiais/equipamentos) necessários para a resposta à emergência foram checados nos últimos 5 anos ou no período estabelecido pela empresa. | Determinar se os equipamentos e materiais estarão disponíveis em caso de emergência. | Proativo |
| Sistema de Detecção de Vazamentos ¹⁰ | 11.1 Percentual de Sistemas de Detecção de Vazamentos testados conforme planejado. | Confirmar se os testes de sistemas de detecção foram realizados conforme programado. | Proativo |
| | 11.2 Número de Sistemas de Detecção de Vazamentos que falharam quando testados ou na demanda. | Utilizar análise de tendência para determinar a efetividade da política de manutenção de dispositivos de detecção. | Reativo |
| | 11.3 Percentual de eventos detectáveis de perda de contenção primária que foram de fato detectados nos últimos 5 anos. | Determinar a efetividade dos sistemas de detecção de vazamentos. | Reativo |

¹⁰ A barreira “Sistema de Detecção de Vazamentos” e respectivos indicadores foram propostos de forma complementar ao que fora proposto pelo UKOPA (2014).

Tabela I.2 – Barreiras de prevenção propostas para cada ameaça do Bowtie.

Fonte: O próprio autor.

| Ameaça | Barreira | Indicadores | Tema | Ameaças específicas às quais a barreira é aplicável |
|---|-----------------------|----------------|--|--|
| Corrosão | Gestão de Integridade | 5.2 e 5.3 | Inspeções com PIG Instrumentado (ILI <i>inspections</i>) | Corrosão Interna, Corrosão Externa e SCC |
| | | 5.4 e 5.5 | Qualidade do produto transportado | Corrosão Interna |
| | | 5.6, 5.7 e 5.8 | Proteção catódica | Corrosão Externa |
| | | 5.9 | Inspeção de trechos aéreos | Corrosão Externa |
| | | 5.10 | Eventos de perda de contenção primária devido à corrosão | Corrosão Interna, Corrosão Externa e SCC |
| | Manutenção preventiva | 8.1, 8.3 e 8.5 | Plano de manutenção | Corrosão Interna, Corrosão Externa e SCC |
| Defeitos de Material, Fabricação e Montagem | Gestão de Integridade | 5.2 e 5.3 | Inspeções com PIG Instrumentado (ILI <i>inspections</i>) | Defeitos no Tubo, na Solda Circunferencial, na Solda Longitudinal e em Curvas |
| | Manutenção preventiva | 8.1, 8.3 e 8.5 | Plano de manutenção | Defeitos no Tubo, na Solda Circunferencial, na Solda Longitudinal e em Curvas |
| Falha de Equipamentos | Gestão de Integridade | 5.1 | Inspeção de integridade de equipamentos | Juntas e Flanges, Válvulas, Equipamentos de Alívio / Controle / Intertravamento e Equip. Dinâmicos |
| | | 5.9 | Inspeção de trechos aéreos | Juntas e Flanges, Válvulas |
| | | 5.11 e 5.12 | Fadiga | Juntas e Flanges |
| | Manutenção preventiva | 8.1, 8.3 e 8.5 | Plano de manutenção | Válvulas, Equipamentos de Alívio / Controle / Intertravamento e Equipamentos Dinâmicos |
| | | 8.2 e 8.4 | Teste de dispositivos de proteção (ex.: PSVs) e Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS) | Equipamentos de Alívio / Controle / Intertravamento |

| Ameaça | Barreira | Indicadores | Tema | Ameaças específicas às quais a barreira é aplicável |
|-----------------------|---------------------------------|----------------|---|--|
| Interferência Externa | Gestão de Integridade | 5.2 e 5.3 | Inspeções com PIG Instrumentado (ILI <i>inspections</i>) | Dano Intencional (derivação clandestina), Dano Não Intencional (Falha Não Imediata). |
| | Manutenção preventiva | 8.1, 8.3 e 8.5 | Plano de manutenção | Dano Intencional (derivação clandestina), Dano Não Intencional (Falha Não Imediata). |
| | Gestão de Interferência Externa | 7.1 e 7.3 | Programa de conscientização de <i>stakeholders</i> | Danos Intencionais e Danos Não Intencionais |
| | | 7.2 | Inspeção de marcos demarcatórios da faixa | Danos Não Intencionais |
| | | 7.4 | Vigilância aérea / terrestre da faixa | Danos Intencionais e Danos Não Intencionais |
| | | 7.5 e 7.6 | Eventos indesejados devido à interferência externa | Danos Intencionais e Danos Não Intencionais |
| Operações incorretas | Procedimentos Operacionais | 9.1 | Revisão/atualização de procedimentos | Falha por procedimento de manutenção / reparo e Falha por procedimento operacional |
| | | 9.2 | Eventos de perda de contenção primária devido à procedimentos inadequados | Falha por procedimento de manutenção / reparo e Falha por procedimento operacional |
| | | 9.3 e 9.4 | Gestão de Alarmes | Falha por procedimento operacional |
| Forças da Natureza | Gestão da Faixa | 6.1 | Inspeções da faixa de dutos | Ameaças Geotécnicas, Ameaças Hidrotécnicas e Descargas Elétricas |
| | | 6.2 e 6.3 | Identificação e tratamento de desvios encontrados durante as inspeções da faixa | Ameaças Geotécnicas, Ameaças Hidrotécnicas e Descargas Elétricas |

Tabela I.3 – Barreiras de mitigação propostas para cada consequência do Bowtie.

Fonte: O próprio autor.

| Consequência | Barreira | Indicadores | Tema | Consequências específicas às quais a barreira é aplicável |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------|---|---|
| Impactos a Pessoas / Patrimônio | Sistema de Detecção de Vazamentos | 11.1 e 11.2 | Teste do Sistema de Detecção de Vazamento | Fatalidades, Feridos e Danos Patrimoniais |
| | | 11.3 | Efetividade do Sistema de Detecção de Vazamento | Fatalidades, Feridos e Danos Patrimoniais |
| | Resposta à Emergência | 10.1 | Teste de procedimentos de emergência | Fatalidades, Feridos e Danos Patrimoniais |
| | | 10.2 | Disponibilidade de recursos para combate à emergência | Fatalidades, Feridos e Danos Patrimoniais |
| Impactos ao Meio Ambiente | Sistema de Detecção de Vazamentos | 11.1 e 11.2 | Teste do Sistema de Detecção de Vazamento | Poluição do solo e Poluição de corpos d'água |
| | | 11.3 | Efetividade do Sistema de Detecção de Vazamento | Poluição do solo e Poluição de corpos d'água |
| | Resposta à Emergência | 10.1 | Teste de procedimentos de emergência | Poluição do solo e Poluição de corpos d'água |
| | | 10.2 | Disponibilidade de recursos para combate à emergência | Poluição do solo e Poluição de corpos d'água |

APÊNDICE J – HISTÓRICO DE FALHAS - OLEODUTOS

A Tabela J.1 a seguir evidencia os dados brutos de falha que foram coletados junto à TRANSPETRO, os quais são referentes ao período de 1978 a 2008 e à malha de oleodutos situada no Estado de São Paulo. Por sua vez, os dados específicos que caracterizam a referida malha são apresentados na Tabela J.2.

Tabela J.1 – Histórico de falhas da malha São Paulo de oleodutos.

Fonte: Empresa brasileira operadora de dutos terrestres.

| Evento # | Ano | Tipo de Produto Vazado | Categoria de causa | | | | | | Causa específica |
|----------|------|------------------------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | | | Corrosão | Defeito de Material, Fabric. e Montagem | Falha de Equipamentos | Interferência Externa | Operação Incorreta | Forças da Natureza | |
| 1 | 1978 | Claros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 2 | 1978 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 3 | 1978 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 4 | 1978 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 5 | 1979 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 6 | 1979 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 7 | 1979 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 8 | 1979 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 9 | 1980 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 10 | 1980 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 11 | 1981 | Escuros | | X | | | | | - |
| 12 | 1981 | Escuros | | | | | | X | Ameaças hidrotécnicas |
| 13 | 1982 | Claros | | | | | | X | Ameaças geotécnicas |

| Evento # | Ano | Tipo de Produto Vazado | Categoria de causa | | | | | | Causa específica |
|----------|------|------------------------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | | | Corrosão | Defeito de Material, Fabric. e Montagem | Falha de Equipamentos | Interferência Externa | Operação Incorreta | Forças da Natureza | |
| 14 | 1982 | Claros | | | | | | X | Ameaças geotécnicas |
| 15 | 1982 | Claros | | | | | | X | Ameaças geotécnicas |
| 16 | 1982 | Escuros | | | | | | X | Ameaças geotécnicas |
| 17 | 1982 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 18 | 1983 | Claros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 19 | 1983 | Petróleo | | | | X | | | Dano não intencional |
| 20 | 1983 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 21 | 1983 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 22 | 1984 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 23 | 1984 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 24 | 1985 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 25 | 1985 | Escuros | | | X | | | | Falha em juntas/flanges |
| 26 | 1985 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 27 | 1986 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 28 | 1986 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 29 | 1986 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 30 | 1987 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 31 | 1987 | Escuros | | | X | | | | Válvulas |
| 32 | 1987 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 33 | 1987 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |

| Evento # | Ano | Tipo de Produto Vazado | Categoria de causa | | | | | | Causa específica |
|----------|------|------------------------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | | | Corrosão | Defeito de Material, Fabric. e Montagem | Falha de Equipamentos | Interferência Externa | Operação Incorreta | Forças da Natureza | |
| 34 | 1987 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 35 | 1987 | Escuros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 36 | 1988 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 37 | 1988 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 38 | 1988 | Petróleo | | | | | | X | Ameaças geotécnicas |
| 39 | 1988 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 40 | 1989 | Petróleo | | | | X | | | Dano não intencional |
| 41 | 1990 | Escuros | | X | | | | | - |
| 42 | 1990 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 43 | 1991 | Escuros | | | X | | | | Falha em juntas/flanges |
| 44 | 1991 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 45 | 1992 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 46 | 1994 | Petróleo | X | | | | | | Corrosão interna |
| 47 | 1994 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 48 | 1994 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 49 | 1994 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 50 | 1994 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 51 | 1995 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 52 | 1995 | Petróleo | | | X | | | | Válvulas |
| 53 | 1995 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |

| Evento # | Ano | Tipo de Produto Vazado | Categoria de causa | | | | | | Causa específica |
|----------|------|------------------------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | | | Corrosão | Defeito de Material, Fabric. e Montagem | Falha de Equipamentos | Interferência Externa | Operação Incorreta | Forças da Natureza | |
| 54 | 1995 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 55 | 1995 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 56 | 1996 | Escuros | | | X | | | | Falha em juntas/flanges |
| 57 | 1996 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 58 | 1996 | Claros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 59 | 1996 | Petróleo | | | X | | | | Válvulas |
| 60 | 1998 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 61 | 1998 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 62 | 1998 | Petróleo | | | | X | | | Dano não intencional |
| 63 | 1999 | Claros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 64 | 1999 | Claros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 65 | 1999 | Escuros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 66 | 2000 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 67 | 2000 | Claros | | | X | | | | Falha em juntas/flanges |
| 68 | 2000 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 69 | 2000 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 70 | 2001 | Claros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 71 | 2001 | Claros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 72 | 2001 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |
| 73 | 2001 | Escuros | X | | | | | | Corrosão externa |

| Evento # | Ano | Tipo de Produto Vazado | Categoria de causa | | | | | | Causa específica |
|----------|------|------------------------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|
| | | | Corrosão | Defeito de Material, Fabric. e Montagem | Falha de Equipamentos | Interferência Externa | Operação Incorreta | Forças da Natureza | |
| 74 | 2001 | Petróleo | X | | | | | | Corrosão interna |
| 75 | 2001 | Claros | | | | X | | | Dano não intencional |
| 76 | 2004 | Petróleo | X | | | | | | Corrosão interna |
| 77 | 2007 | Escuros | | X | | | | | Defeito na solda circunferencial |

Tabela J.2 – Dados referentes aos dutos da malha São Paulo utilizados para cálculo da exposição.

Fonte: ANTT (2021).

| Duto # | Origem | Destino | Tipo de Produto Transportado | Ano de Início de Operação | Extensão (km) | Diâmetro (polegadas) |
|--------|----------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|
| 1 | Barueri (SP) | São Caetano do Sul (SP) | Claros | 1975 | 50 | 14 |
| 2 | | | Escuros | 1975 | 50 | 14 |
| 3 | Cubatão (SP) | RECAP (SP) | Petróleo | 1954 | 34 | 12 |
| 4 | Cubatão (SP) | RPBC (SP) | Petróleo | 1993 | 4 | 24 |
| 5 | Cubatão (SP) | São Caetano do Sul (SP) | Claros | 1952 | 38 | 18 |
| 6 | | | Claros | 1989 | 46 | 14 |
| 7 | | | Claros | 1972 | 37 | 10 |
| 8 | | | Escuros | 1980 | 38 | 18 |
| 9 | Guararema (SP) | Lorena (SP) | Claros | 1990 | 98 | 16 |
| 10 | Guararema (SP) | REPLAN (SP) | Claros | 1991 | 153 | 18 |
| 11 | | | Petróleo | 1977 | 153 | 30 |
| 12 | Guararema (SP) | REVAP (SP) | Petróleo | 1979 | 35 | 34 |
| 13 | Guarulhos (SP) | Aeroporto Guarulhos (SP) | Claros | 1985 | 8 | 6 |
| 14 | | | Claros | 1996 | 8 | 10 |
| 15 | RECAP (SP) | São Caetano do Sul (SP) | Claros | 1951 | 10 | 8 |
| 16 | | | Claros | 1978 | 10 | 16 |
| 17 | | | Claros | 1988 | 9 | 16 |
| 18 | | | Escuros | 1951 | 10 | 10 |
| 19 | RECAP (SP) | Suzano (SP) | Claros | 1988 | 29 | 16 |
| 20 | REPLAN (SP) | Barueri (SP) | Claros | 1972 | 99 | 10 |
| 21 | | | Claros | 1972 | 99 | 14 |
| 22 | | | Escuros | 1974 | 99 | 16 |

| | | | | | | |
|----|-------------------------|-------------------------|----------|------|-----|---------|
| 23 | REPLAN (SP) | Brasília (DF) | Claros | 1996 | 964 | 20 / 12 |
| 24 | REVAP (SP) | São Caetano do Sul (SP) | Claros | 1978 | 120 | 22 |
| 25 | | | Escuros | 1978 | 120 | 24 |
| 26 | REVAP (SP) | Suzano (SP) | Claros | 1988 | 67 | 16 |
| 27 | Ribeirão Preto (SP) | Pool (SP) | Claros | 1997 | 9 | 10 |
| 28 | | | Claros | 1997 | 9 | 6 |
| 29 | RPBC (SP) | Cubatão (SP) | Claros | 1993 | 2 | 14 |
| 30 | | | Claros | 1993 | 2 | 14 |
| 31 | | | Claros | 1993 | 2 | 18 |
| 32 | | | Escuros | 1993 | 2 | 18 |
| 33 | | | Escuros | 1993 | 2 | 18 |
| 34 | | | Claros | 1993 | 2 | 10 |
| 35 | Santos (SP) | Cubatão (SP) | Claros | 1988 | 10 | 14 |
| 36 | | | Claros | 1988 | 10 | 14 |
| 37 | | | Claros | 1988 | 10 | 18 |
| 38 | | | Claros | 1951 | 11 | 10 |
| 39 | | | Escuros | 1951 | 10 | 18 |
| 40 | Santos (SP) | Ultragaz (SP) | Claros | 1996 | 2 | 10 |
| 41 | São Caetano do Sul (SP) | Cia SP (SP) | Claros | 1951 | 2 | 6 |
| 42 | São Caetano do Sul (SP) | Pool (SP) | Claros | 1997 | 8 | 8 / 6 |
| 43 | | | Claros | 1997 | 8 | 8 / 6 |
| 44 | | | Claros | 1951 | 8 | 10 |
| 45 | | | Escuros | 1983 | 3 | 10 |
| 47 | São Caetano do Sul (SP) | PQU (SP) | Claros | 1978 | 9 | 22 |
| 48 | São Sebastião (SP) | Guararema (SP) | Petróleo | 1979 | 83 | 42 / 38 |
| 49 | São Sebastião (SP) | REPLAN (SP) | Claros | 1973 | 235 | 24 |

| | | | | | | |
|----|--------------------|----------------|----------|------|-----|----|
| 50 | São Sebastião (SP) | Cubatão (SP) | Petróleo | 1968 | 121 | 24 |
| 51 | Suzano (SP) | Guarulhos (SP) | Claros | 1988 | 29 | 16 |

A Tabela J.3 apresenta os dados de número de eventos e exposição considerados para cálculo da taxa de falha pontual, taxa de falha média considerando intervalo de 5 anos, e da taxa média acumulada ao longo de todo o período de análise (1978 a 2008).

Tabela J.3 – Dados referentes aos formulários de coleta - CONCAWE e UKOPA.

Fonte: O próprio autor.

| Ano | Taxa anual pontual | | | Taxa média móvel - 5 anos | | | Taxa média acumulada | | |
|------|--------------------|----------------|---------------------|---------------------------|----------------|---------------------|----------------------|----------------|---------------------|
| | Número de eventos | Exposição (km) | Taxa (1.000 km.ano) | Número de eventos | Exposição (km) | Taxa (1.000 km.ano) | Número de eventos | Exposição (km) | Taxa (1.000 km.ano) |
| 1978 | 4 | 1.325 | 3.02 | 4 | 1.325 | 3.02 | 4 | 1.325 | 3.02 |
| 1979 | 4 | 1.444 | 2.77 | 8 | 2.769 | 2.89 | 8 | 2.769 | 2.89 |
| 1980 | 2 | 1.482 | 1.35 | 10 | 4.251 | 2.35 | 10 | 4.251 | 2.35 |
| 1981 | 2 | 1.482 | 1.35 | 12 | 5.733 | 2.09 | 12 | 5.733 | 2.09 |
| 1982 | 5 | 1.482 | 3.37 | 17 | 7.215 | 2.36 | 17 | 7.215 | 2.36 |
| 1983 | 4 | 1.485 | 2.69 | 17 | 7.375 | 2.31 | 21 | 8.700 | 2.41 |
| 1984 | 2 | 1.485 | 1.35 | 15 | 7.416 | 2.02 | 23 | 10.185 | 2.26 |
| 1985 | 3 | 1.493 | 2.01 | 16 | 7.427 | 2.15 | 26 | 11.678 | 2.23 |
| 1986 | 3 | 1.493 | 2.01 | 17 | 7.438 | 2.29 | 29 | 13.171 | 2.20 |
| 1987 | 6 | 1.493 | 4.02 | 18 | 7.449 | 2.42 | 35 | 14.664 | 2.39 |
| 1988 | 4 | 1.657 | 2.41 | 18 | 7.621 | 2.36 | 39 | 16.321 | 2.39 |
| 1989 | 1 | 1.703 | 0.59 | 17 | 7.839 | 2.17 | 40 | 18.024 | 2.22 |
| 1990 | 2 | 1.801 | 1.11 | 16 | 8.147 | 1.96 | 42 | 19.825 | 2.12 |
| 1991 | 2 | 1.954 | 1.02 | 15 | 8.608 | 1.74 | 44 | 21.779 | 2.02 |
| 1992 | 1 | 1.954 | 0.51 | 10 | 9.069 | 1.10 | 45 | 23.733 | 1.90 |
| 1993 | 0 | 1.970 | 0.00 | 6 | 9.382 | 0.64 | 45 | 25.703 | 1.75 |
| 1994 | 5 | 1.970 | 2.54 | 10 | 9.649 | 1.04 | 50 | 27.673 | 1.81 |
| 1995 | 5 | 1.970 | 2.54 | 13 | 9.818 | 1.32 | 55 | 29.643 | 1.86 |

| | | | | | | | | | |
|------|---|-------|------|----|--------|------|----|--------|------|
| 1996 | 4 | 2.945 | 1.36 | 15 | 10.809 | 1.39 | 59 | 32.588 | 1.81 |
| 1997 | 0 | 2.979 | 0.00 | 14 | 11.834 | 1.18 | 59 | 35.567 | 1.66 |
| 1998 | 3 | 2.979 | 1.01 | 17 | 12.843 | 1.32 | 62 | 38.546 | 1.61 |
| 1999 | 3 | 2.979 | 1.01 | 15 | 13.852 | 1.08 | 65 | 41.525 | 1.57 |
| 2000 | 4 | 2.979 | 1.34 | 14 | 14.861 | 0.94 | 69 | 44.504 | 1.55 |
| 2001 | 6 | 2.979 | 2.01 | 16 | 14.895 | 1.07 | 75 | 47.483 | 1.58 |
| 2002 | 0 | 2.979 | 0.00 | 16 | 14.895 | 1.07 | 75 | 50.462 | 1.49 |
| 2003 | 0 | 2.979 | 0.00 | 13 | 14.895 | 0.87 | 75 | 53.441 | 1.40 |
| 2004 | 1 | 2.979 | 0.34 | 11 | 14.895 | 0.74 | 76 | 56.420 | 1.35 |
| 2005 | 0 | 2.979 | 0.00 | 7 | 14.895 | 0.47 | 76 | 59.399 | 1.28 |
| 2006 | 0 | 2.979 | 0.00 | 1 | 14.895 | 0.07 | 76 | 62.378 | 1.22 |
| 2007 | 1 | 2.979 | 0.34 | 2 | 14.895 | 0.13 | 77 | 65.357 | 1.18 |
| 2008 | 0 | 2.979 | 0.00 | 2 | 14.895 | 0.13 | 77 | 68.336 | 1.13 |

No que tange ao cálculo dos intervalos de confiança para a taxa média móvel da malha dutoviária brasileira referente ao ano de 2008, foram adotadas as premissas estabelecidas por dois *benchmarks* (EGIG e UKOPA), os quais estabelecem que os números de incidentes ao longo do tempo seguem uma distribuição de Poisson por serem considerados eventos discretos, aleatórios e independentes entre si.

Segundo o exposto por EGIG (2018), os limites dos intervalos de confiança, respeitando-se as premissas acima, podem ser calculados por meio das equações 8 e 9 abaixo, as quais estabelecem relação entre as distribuições de Poisson e qui-quadrado (Stuart *et al.*, 1994):

$$Y_I = \frac{\left(\chi^2_{2Y, \frac{\alpha}{2}}\right)}{2} \quad (8)$$

$$Y_S = \frac{\left[\chi^2_{2(Y+1), \left(1-\frac{\alpha}{2}\right)}\right]}{2} \quad (9)$$

Em que:

- Y Número observado de eventos em um dado ano;
- Y_I Limite inferior do intervalo de confiança;
- Y_S Limite superior do intervalo de confiança;
- X²_{v,α} Valor da distribuição qui-quadrado à direita considerando a probabilidade α e v graus de liberdade.

A Tabela J.4 mostra os valores de Y, Y_I e Y_S, bem como a exposição e as respectivas taxas de falha calculadas mediante a aplicação das equações acima e considerando α = 0.05 (95% de confiança).

Tabela J.4 – Intervalos de confiança calculados para a taxa de falha em 2008.

Fonte: O próprio autor.

| Número de eventos | Exposição (km) | Parâmetros | Valores (1000 km.ano) |
|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Y = 2 | 14.895 | Taxa de falha | 0.13 |
| Y _I = 0.24 | | Limite inferior | 0.02 |
| Y _S = 7.22 | | Limite superior | 0.49 |