

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MÁRIO BATISTA GOMES

**PROPOSTA DE UM *ROADMAP* PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS EM PROJETOS
DE PERFURAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL**

João Pessoa

2016

MÁRIO BATISTA GOMES

**PROPOSTA DE UM *ROADMAP* PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS EM PROJETOS
DE PERFURAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Doutor Márcio Botelho da
Fonseca Lima

João Pessoa

2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

G633p Gomes, Mário Batista
Proposta de um *roadmap* para avaliação de riscos em projetos de perfuração direcional horizontal / Mário Batista Gomes. – 2017.
101 f. : il.

Orientador: Márcio Botelho da Fonseca Lima.
Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba. Centro de Tecnologia, 2016.

Bibliografia: f. 98-101.

1. Perfuração horizontal direcional. 2. Lógica fuzzy. 3. Análise de riscos.
I. Título.

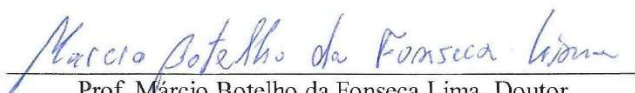
CDU: 621

PROPOSTA DE UM *ROADMAP* PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS EM PROJETOS DE PERFURAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL

MÁRIO BATISTA GOMES

Esta Dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

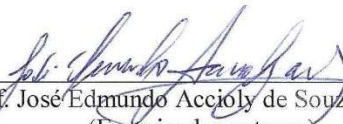
João Pessoa, 31 de agosto de 2016.



Prof. Márcio Botelho da Fonseca Lima, Doutor
(Orientador)
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Ricardo Moreira da Silva, Doutor
(Examinador interno)
Universidade Federal da Paraíba



Prof. José Edmundo Accioly de Souza, Doutor
(Examinador externo)
Universidade Federal de Alagoas

RESUMO

A relevância da análise e gerenciamento de riscos em projetos de perfuração direcional horizontal está sedimentada nos trabalhos desenvolvidos com base na captação de conhecimento tácito de especialistas e na experiência de construtores com o objetivo de modelar esse conhecimento, proveniente de premissas conceituais, num modelo matemático capaz de replicar com eficiência as estruturas conceituais da opinião de *experts*. Os dados históricos dos modos de falha que se apresentam nos projetos HDD (Perfuração horizontal direcional) permitem agregar um conjunto simples de técnicas qualitativas, para gerenciar e antecipar a ocorrência de danos que impliquem em perdas financeiras, econômicas, sociais, de segurança, produtividade ou qualidade. Essas técnicas são de fácil implementação e dispensam a necessidade de mão de obra especializada para validação dos resultados. Os dados históricos de falhas ocorridas em projetos anteriores podem fornecer os elementos básicos para a modelagem do conhecimento através de uma ferramenta de aprendizagem. Para efeito quantitativo, a ferramenta utilizada neste trabalho foi o Sistema de Inferência Fuzzy (SIF). As variáveis que indicam os modos de falha foram extraídas da base de dados de conhecimento existente na literatura e aplicada sobre um conjunto de 40 projetos. A aplicação das ferramentas qualitativas representou uma redução significativa de acidentes na organização pesquisada. O modelo SIF (sistema de inferência fuzzy) proposto é capaz de prever com base na opinião especializada os riscos de um determinado projeto tomando por base 05 variáveis principais. O resultado da inferência do modelo quantitativo implica na quantificação do risco global de determinado projeto, numa escala de 1 a 10. A interface proposta simplifica a operação de quantificação, fornecendo de forma ágil o risco global do projeto de interesse tomando por base a indicação conceitual do risco presente em 05 variáveis de entrada. O risco calculado permite inferir sobre os riscos associados ao projeto, facilitando o processo decisório de gestores e construtores.

Palavras-chave: Perfuração horizontal direcional. Lógica *fuzzy*. Análise de riscos.

ABSTRACT

The relevance of the analysis and risk management in horizontal directional drilling projects are sedimented in the work developed based on tacit knowledge capture experts and builders of experience in order to model this knowledge from conceptual premises, a mathematical model capable to replicate efficiently the conceptual frameworks of the opinion of experts. Historical data of the failure modes that appear in HDD (Horizontal Directional Drilling) projects, allow us to add a simple set of qualitative techniques to manage and anticipate the occurrence of damage that result in financial, economic and social losses, security, productivity or quality. These techniques are easy to implement and eliminate the need for skilled labor to validate the results. The failures of historical data in prior projects, can provide the basic elements for modeling knowledge through a learning tool. For quantitative effect, the tool used was the Fuzzy Inference System (FIS). The variables that indicate the failure modes are taken from the existing knowledge database in the literature and applied to a set of 40 projects. The application of qualitative tools represented a significant reduction of accidents in the research organization. The SIF model (fuzzy inference system) proposed is able to predict based on expert opinion the risk of a project building on 05 key variables. The result of the inference of the quantitative model involves the quantification of the overall risk of a given project, on a scale of 1 to 10. The proposed interface simplifies quantification operation, providing agile the overall risk of the interest of project building on the conceptual indication 05 this risk input variables. The calculated risk be inferred about the risks associated with the project, facilitating the decision-making process of managers and builders.

Keywords: Horizontal directional drilling. Fuzzy logic. Risk analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de Gestão Riscos	19
Figura 2 - Evolução do recorde mundial de produção na plataforma continental.....	26
Figura 3 - Localização e profundidade da camada pré-sal	27
Figura 4 - Perfuração do furo piloto na tecnologia HDD	30
Figura 5 - Processo de alargamento e lançamento da tubulação final.....	32
Figura 6 - Transtornos causados por valas em vias urbanas.....	33
Figura 7 - Interrupção do fluxo da via e recomposição.....	33
Figura 8 - Obra da COMGÁS utilizando MND em vias urbanas	35
Figura 9 - Equipamento de Perfuração Direcional	36
Figura 10 - Planejamento de atividades ao longo do tempo.....	39
Figura 11 - Projeto de Engenharia – Perfuração Direcional Horizontal.....	40
Figura 12 - Matriz de Probabilidade e Impacto.....	43
Figura 13 – Exemplo de uma Estrutura Analítica de Riscos (EAR).	43
Figura 14 - Fluxograma para gerenciamento de riscos.....	44
Figura 15 - Forças que influenciam na cultura de segurança	45
Figura 16 - Pirâmide de Frank Bird.....	47
Figura 17 – Enfoque moderno do conceito de falha humana.....	47
Figura 18 - Modelo Causal de Perdas.....	48
Figura 19 - Ciclo PDCA no contexto de um SST	49
Figura 20 - Processo de Gestão de Riscos.....	52
Figura 21 – Simbologia das Comportas AAF (Análise por Árvore de Falhas	60
Figura 22 – Simbologia dos Eventos AAE (Análise por Árvore de Eventos)	60
Figura 23 - Exemplo de uma árvore de falha para um evento de falta de água	61
Figura 24 - Operações Básicas dos Conjuntos Fuzzy.....	66
Figura 25 - Exemplo de variável linguística Idade.....	68
Figura 26 - Blocos funcionais do SIF (Sistema de Inferência Fuzzy).....	69
Figura 27 - Sistema de Inferência Fuzzy.	71
Figura 28 – Formulário de Diagnóstico Preliminar.....	77
Figura 29 – Avaliação qualitativa de 40 projetos divididos em 4 grupos de 10.....	78
Figura 30 – Técnicas para Avaliação Qualitativa do Risco.....	79
Figura 31 – Subdivisão da pontuação de auditoria de blocos de projetos.....	80

Figura 32 – Critérios para Medição de Desempenho	80
Figura 33 - Escala de Probabilidade (Impacto) de três níveis	82
Figura 34 – Estrutura Analítica de Riscos em Projetos HDD	86
Figura 35 – Níveis de pontuação para aferição de desempenho.....	88
Figura 36 – Radar de Indicadores com os Índices de Conformidade.....	90
Figura 37 – Modelagem de variáveis de entrada, base de regras e saída do SIF Mamdani	91
Figura 38 – Modelagem das variáveis de entrada e saída do modelo	92
Figura 39 – Base de regras fuzzy.....	93
Figura 40 – Interface para Cálculo de Riscos em Projetos de Perfuração Direcional.....	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Função de Pertinência Triangular	64
Gráfico 2 - Função de Pertinência Trapezoidal	64
Gráfico 3 - Função de Pertinência Gaussiana.....	65
Gráfico 4 - Função de Pertinência Sigmóide.....	65
Gráfico 5 - Função Singleton.....	65
Gráfico 6 - Diagramas das Operações Básicas Fuzzy	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histograma comparativo de custos com combustível MD x MND	37
Tabela 2 - Histograma comparativo de custos com mão-de-obra MD x MND	38
Tabela 3 - Histograma comparativo de custos com equipamentos MD x MND.....	38
Tabela 4 - Estrutura mínima de uma APR.....	54
Tabela 5 - Estrutura mínima de uma tabela HAZOP.....	56
Tabela 6 - Estrutura mínima de um formulário FMEA	57
Tabela 7 - Estrutura mínima de um formulário E se...? (<i>What If</i>)	58
Tabela 8 - Exemplo de uma lista de verificação de um automóvel.....	59
Tabela 9 – Formulário para Análise de Riscos em Projetos HDD	82
Tabela 10 – Ferramentas qualitativas e seus critérios de aplicação	87
Tabela 11 – Apuração dos resultados da auditoria de campo por grupo	89
Tabela 12 – Projetos avaliados pelos experts e sua respectiva pontuação de risco global.....	94

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Apresentação do tema e problema de pesquisa	13
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	Justificativa	18
1.4	Delimitação do Trabalho	22
1.5	Estrutura do Trabalho	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1	Tecnologia de Perfuração Direcional	24
2.1.1	Perfuração Direcional Horizontal (Tecnologia HDD)	28
2.1.2	Métodos e Equipamentos da Tecnologia HDD	30
2.1.3	Construção de dutos através de abertura de valas (Método Destrutivo)	32
2.1.4	Construção de dutos através de método não destrutivo (MND)	34
2.1.5	Comparativo de custos na implantação de dutos (MD x MND)	37
2.2	Planejamento e Gerenciamento de Riscos em Projetos	39
2.2.1	Incerteza e Risco nos Projetos	41
2.2.2	Gerenciamento de Riscos	42
2.2.3	Comportamento e Cultura de Segurança	44
2.2.4	Prevencionismo e Conceitos de Segurança do Trabalho	45
2.2.5	Teorias de Análise de Acidentes	46
2.2.6	Sistemas de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho	48
2.3	Paradigmas e Técnicas de Análise de Risco	49
2.3.1	Técnicas de Análise de Riscos	51
2.4	Lógica fuzzy	62
2.4.1	Teoria de Conjuntos <i>Fuzzy</i>	63
2.4.2	Operações Básicas com Conjuntos <i>Fuzzy</i>	66
2.4.3	Variáveis Linguísticas	68
2.4.4	Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i> (SIF) ou <i>Fuzzy Inference System</i> (FIS)	68
2.4.5	Trabalhos Relacionados	71
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	74
3.1	Classificação da Pesquisa	74

3.2	Caracterização da Empresa Pesquisada	75
3.3	Diagnóstico Preliminar, Análise e Coleta de Dados	76
3.4	Procedimentos para Avaliação Qualitativa	78
3.5	Procedimentos para Análise Quantitativa	81
3.6	Fluxograma de Fases da Pesquisa	84
4	RESULTADOS.....	85
4.1	Fatores e Variáveis de Risco	85
4.2	Avaliação Qualitativa – Radar de Indicadores	86
4.3	Análise Quantitativa – Sistema de Inferência Fuzzy	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
5.1	Conclusões	96
5.2	Trabalhos Futuros	97
5.3	Limitações.....	97
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo introdutório contempla uma abordagem resumida sobre o tema e o problema de pesquisa, esboçando os objetivos, a justificativa e a relevância do tema proposto, suas restrições e delimitações, e a estrutura global do trabalho com suas respectivas etapas.

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

Passada a segunda guerra mundial, um esforço de industrialização resultou na disseminação de linhas de produção contínuas, gerando uma demanda crescente da sociedade por produtos e processos industriais. O avanço da automação desencadeou um custo elevado para correção de falhas, em especial, devido a interrupções na produção que frustraram expectativas de consumo. Essa geração é marcada por uma pressão social decorrente do aumento das exigências de qualidade, segurança e desempenho dos produtos (SIQUEIRA, 2009).

Segundo essas premissas, Siqueira (2009) pontua que as falhas nesses sistemas geram perturbações de ordem financeira e social que acabam repercutindo na consciência da população em geral, no sentido de exigir garantias de preservação do meio ambiente e dos processos industriais.

A Engenharia tem como premissa avançar nos seus desafios, especialmente aqueles que priorizam aspectos de segurança, produtividade e qualidade durante a execução do serviço ou produto, no intuito de atingir a melhor relação custo-benefício. Neste sentido, surge o MND – Método Não Destrutivo, desenvolvido para o lançamento e construção de obras lineares subterrâneas como tubulações para distribuição ou produção de água, óleo, gás e lançamento de cabos de telefonia e dados, principalmente em áreas urbanas densamente povoadas e com relevos geográficos de difícil transposição, tais como massas e cursos de água, rodovias e ferrovias (ABRATT, 2014).

O método convencional de execução de obras desse porte relacionava-se com o uso de valas a céu aberto ou MD - Método Destrutivo. Esta forma executiva é bastante impactante de diversos pontos de vista, principalmente nos aspectos ligados à segurança. Para ilustrar essa concepção, Gawryszewski, Mantovanini e Liung (1998) relatam que 8,2% dos acidentes ocorridos no setor de Construção Civil no ano de 1995 no Estado de São Paulo referem-se a soterramentos.

A preocupação é tão relevante, em virtude do histórico de graves acidentes ocorridos, que o Governo, através da Norma Regulamentadora NR-18 do MTPS (Ministério do Trabalho e Previdência Social), dedica o capítulo 6 aos aspectos e recomendações de segurança nas escavações e serviços análogos. Outro elemento bastante relevante quando se executam obras com valas a céu aberto é a percepção da Gestão Pública. Essas obras dificultam a mobilidade urbana, enfeiam a cidade, complicam o trânsito ou danificam bens públicos sem a recomposição posterior adequada (GAWRYSZEWSKI; MANTOVANINI; LIUNG, 1998).

A Perfuração Direcional Horizontal (PDH), acrônimo na língua inglesa para *Horizontal Directional Drilling* (HDD), corresponde a um Método Não Destrutivo (MND) de construção destinado à instalação, reparação e reforma de tubulações, dutos e cabos subterrâneos, utilizando técnicas que reduzem ou eliminam a necessidade de escavações (ABRATT, 2014).

Os métodos não destrutivos têm sido empregados em obras de infraestrutura para lançamento de dutos subterrâneos por apresentarem as seguintes vantagens:

Os Métodos não Destrutivos (MND) podem reduzir os danos ambientais e os custos sociais e, ao mesmo tempo, representam uma alternativa econômica para os métodos de instalação, reforma e reparo com vala a céu aberto. Vêm sendo vistas cada vez mais como uma atividade de aplicação geral do que como uma especialidade, e muitas empresas de instalação de redes têm uma tendência a aplicar os Métodos Não Destrutivos (MND) sempre que possível, em função dos custos e dos aspectos ambientais e sociais (ABRATT, 2014, p.3).

A perfuração direcional está pautada numa técnica de mínima intervenção do ambiente de trabalho em obras urbanas e rurais com resultados superiores em termos de qualidade e sustentabilidade, quando comparada a técnicas mais tradicionais, como a vala a céu aberto (DEZOTTI, 2008). Enquadra-se num método não destrutivo (MND) porque não demanda a abertura de trincheiras (valas) extensas para lançamento da tubulação, pois seu espaço de trabalho restringe-se aos pontos de entrada e saída da coluna de perfuração, transpondo obstáculos (rodovias, rios) e preservando áreas ambientalmente sensíveis (ABRATT, 2014).

A despeito das vantagens apresentadas, as atividades de perfuração envolvem um conjunto representativo de variáveis de diversas áreas (geotécnica, civil, eletrônica, química e mecânica), que necessitam ser rigorosamente controladas para se evitar acidentes ou incidentes que coloquem em risco a qualidade técnica, a segurança dos trabalhadores, da comunidade circunvizinha e do meio ambiente (ROCHA *et al.*, 2011).

Segundo Cardella (2011), com a utilização de técnicas de análise de riscos é possível prever ou mitigar resultados indesejáveis nestas atividades de forma a garantir a integridade física das pessoas, a preservação do meio ambiente, do patrimônio empresarial e institucional das áreas de construção. É possível estabelecer mecanismos de proteção e avaliação de possíveis danos para exercer de forma planejada um maior controle das atividades por meio da determinação de parâmetros que garantam que as variáveis críticas estejam dentro dos limites de tolerância previamente estipulados (SMITH, 2011). Essa caracterização e detalhamento constituem os pilares para prover meios seguros de intervenção no ambiente natural e antrópico (CARDELLA, 2011).

De acordo com a *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration* (PHMSA, 2002-2009), os acidentes de origem tecnológica (corrosão, falha de soldagem, erro na escavação, equipamento, desastres naturais e erros de operação) são em sua maioria previsíveis. Ainda segundo a PHMSA (2002-2009), a construção, operação e manutenção de dutos para transporte de petróleo e seus derivados é permeada de situações de riscos, podendo gerar danos irreparáveis à vida e ao meio ambiente. Conforme relata Murray (2001), a indústria petrolífera tem investido sistematicamente no desenvolvimento de técnicas de detecção de riscos, devido à complexidade destes fenômenos e as implicações econômico-financeiras de sua ocorrência para o setor.

Casos de vazamentos, corrosão, colisão com outras interferências, contaminação, dentre outros riscos em projetos de tubulações podem ser definidos como eventos indesejáveis que afetam direta ou indiretamente a segurança, a saúde dos trabalhadores, da população circunvizinha e o meio ambiente, gerando perdas humanas e de capital que alteram o equilíbrio econômico-financeiro das indústrias ou governos (PHMSA, 2002-2009).

A confiabilidade nas atividades de construção e montagem de tubulações pode ser elencada como uma medida de eficiência quando se almeja o desenvolvimento de projetos que objetivam atender a requisitos críticos de qualidade e segurança. Conforme define Lafraia (2001), a confiabilidade é a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo determinado e sob condições específicas de operação.

Fogliatto e Ribeiro (2009) destacam ainda que a confiabilidade está associada de forma ampla à operação eficiente de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas. Nesse sentido, cabe destacar que a confiabilidade pode estar associada ao processo de produção, a

uma máquina, equipamento ou componente, ou ainda, ser um atributo mensurável do comportamento humano (LAFRAIA, 2001).

A Tecnologia HDD (*Horizontal directional drilling*), ou tecnologia de perfuração horizontal direcional, é utilizada para instalar tubulações de água, gás, petróleo, drenagem, tubos de esgotos e cabos (fibra óptica) sob obstáculos, tais como rios, ruas movimentadas, estradas, pistas de aeroportos, áreas congestionadas com utilidades subterrâneas ou regiões ambientalmente sensíveis (GIERCZAK, 2014).

O impacto de diferentes fatores, tais como o diâmetro e o comprimento da tubulação, a profundidade da instalação e as condições do solo influenciam diretamente na escolha do método e dos equipamentos dessa tecnologia (BAIK; ABRAHAM; GOKHALE, 2003).

Conforme relatam Zayed e Mahmoud (2013), os fatores que afetam a produtividade da tecnologia HDD são: a qualificação da equipe de perfuração, o tipo de solo e o diâmetro da tubulação. O comprimento da tubulação e as condições climáticas possuem um impacto menor.

Onsarigo, Adamtey e Atalah (2014) destacam que o modelo de impacto de probabilidade representa uma ferramenta para identificar e categorizar riscos nas atividades de perfuração direcional horizontal. Destacam ainda a importância de seguir as boas práticas de perfuração que incluem: obter o máximo de informações sobre o subsolo, selecionar a ferramenta de perfuração adequada para o tipo de solo e selecionar adequadamente o tipo de fluido de perfuração.

Zayed e Mahmoud (2013) observam ainda que não existe informação suficiente na literatura quanto ao desenvolvimento de modelos e softwares que permitam a análise de forma pragmática da produtividade e do risco inerente às atividades de construção e montagem de tubulações pelo método HDD.

Gierczak (2014) oferece uma metodologia qualitativa para avaliação de riscos em projetos de perfuração direcional horizontal utilizando o Diagrama de Ishikawa, ou diagrama de Causa e Efeito. Esse diagrama apresenta-se como uma ferramenta gráfica que permite a análise dos problemas existentes num processo através da estratificação e agrupamento dos modos de falha de forma hierárquica em 06 (seis) grandes grupos, denominados: método, matéria-prima, mão-de-obra, máquinas, medição e meio ambiente.

Outra metodologia, de natureza quantitativa, é proposta por Gierczak (2014), com uma estrutura baseada na proposição de um modelo matemático que combina a técnica de análise de árvore de falhas com lógica *fuzzy*, objetivando estimar o risco de projetos de perfuração direcional.

Baik, Abraham e Gokhale (2003) relatam que embora o método HDD venha sendo utilizado por mais de 03 décadas, é necessário avaliar a conformidade e a adequação desse método de construção considerando o grande número de fatores que influenciam a tomada de decisão. Nesse sentido, propõe um roteiro para seleção de técnicas e equipamentos adequados com a finalidade de facilitar o processo decisório de construtores e gerentes envolvidos com a fase de planejamento desses tipos de projetos.

A questão que se apresenta é a complexidade envolvida nessas análises de riscos que envolvem a avaliação de grandes volumes de informações prévias, ou ainda, o desenvolvimento de modelos matemáticos complexos para inferir sobre o risco relacionado ao empreendimento. Desse modo, existe uma lacuna na concepção da análise de riscos no contexto dos pequenos construtores, que não dispõem de recursos de grande monta para financiar análises mais elaboradas, gerando uma demanda para o uso de ferramentas de análise de risco simples e de fácil implementação, que consigam captar adequadamente os riscos sem incorrer em análises complexas subordinadas à existência de mão-de-obra especializada que onere de forma representativa as finanças da organização.

Tomando por base a temática: **“Construção e Montagem de Tubulações Subterrâneas”**, o problema que este trabalho se propõe a caracterizar e detalhar é: **“Como as técnicas de análise de riscos podem contribuir para a mitigação dos riscos associados às atividades de Perfuração Direcional Horizontal mediante a adoção de um arranjo de técnicas de fácil implementação numa organização do ramo de construção de Dutos?”**

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho subdividem-se em geral, que se propõe a resolver o problema proposto na pesquisa, e específicos, que são desdobramentos do objetivo geral.

1.2.1 Objetivo geral

- Propor um roteiro (*roadmap*) para implementação e avaliação de riscos em projetos de perfuração horizontal direcional, utilizando como suporte técnicas de análise de riscos e um protótipo de interface gráfica que contribua para a prevenção de falhas e danos, de modo a prover meios que auxiliem os construtores no processo de tomada de decisão nesses empreendimentos.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar e analisar as principais características, funcionalidades e restrições das técnicas de análise de riscos;
- Avaliar quais aspectos e fatores são mais importantes para a composição do modelo de integração entre as técnicas de natureza quantitativa e qualitativa;
- Verificar qual arranjo de técnicas de análise de riscos é mais apropriado para consecução das atividades de prevenção e controle de falhas;
- Propor *rodamap* (roteiro) para aplicação simplificada de técnicas qualitativas;
- Propor um protótipo de interface gráfica de fácil uso que possibilite ao construtor inferir sobre riscos de natureza quantitativa.

1.3 JUSTIFICATIVA

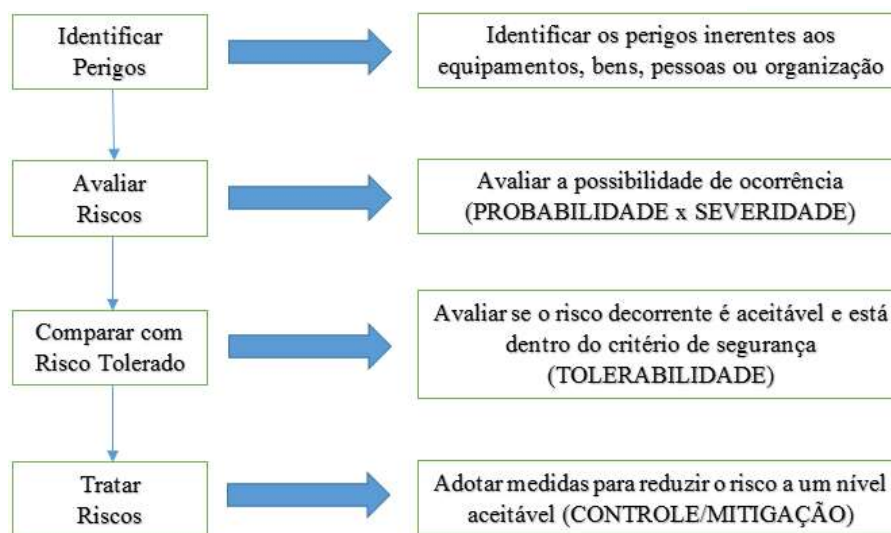
Este trabalho é pautado na necessidade da apresentação de uma tecnologia que, do ponto de vista global, é relativamente antiga, mas que, no Brasil, apesar da demanda e dos anseios por obras mais limpas e menos impactantes, é uma inovação ainda em processo de conhecimento, aceitação e, principalmente, solicitação pelo mercado da engenharia em comparação com o método tradicional, o MD (método destrutivo) com o uso de vala a céu aberto.

É relevante a compreensão dessa nova tecnologia para implantação em obras lineares, como dutos, lançamento de cabos de telecomunicação e obras similares, reconhecendo e identificando suas potencialidades, limitações e aspectos intrínsecos de segurança em comparação com o método tradicional que utiliza escavação de valas.

Segundo Gierczak (2014), uma forma de tornar as operações de construção e montagem de tubulações pelo método HDD mais confiáveis e seguras é utilizar técnicas de gestão de riscos que são categorizadas segundo critérios quantitativos e qualitativos. Cardella (2011) ressalta de forma exemplificativa algumas técnicas de análise de risco, a saber: APR (Análise preliminar de riscos), AAF (Análise da Árvore de Falha), FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) e HAZOP (Estudos de Perigo e Operabilidade) que podem ser empregadas nessas atividades.

De acordo com Cardella (2011), o processo de gestão de riscos é composto pelas seguintes funções: identificar perigos, avaliar riscos, comparar com o risco tolerado e tratar os riscos, sendo o processo de gestão aplicados às áreas de ação e as fases do ciclo de vida dos elementos organizacionais (pessoas, instalações e produtos). A Figura 1 ilustra esse cenário, delineando as fases e o processo de transição durante a análise de riscos.

Figura 1 – Processo de Gestão Riscos



Fonte: Autor (2016) - Adaptado de Cardella (2011).

As consequências significantes de falhas podem afetar um ou mais aspectos do ambiente operacional, podendo trazer implicações negativas sobre as seguintes áreas: segurança do pessoal, qualidade do meio ambiente, operação ou economia do processo (SIQUEIRA, 2009).

Em sistemas dessa magnitude, à medida que a confiabilidade é diminuída, aumenta-se o risco de falha ou acidentes, sendo o risco, conforme Smith (2011), expresso como a probabilidade de ocorrência de possíveis danos num período específico de tempo ou ciclos operacionais. O risco como medida quantitativa pode ser obtido multiplicando-se a probabilidade de ocorrência (taxa de falha) pela medida da consequência/dano (perda material ou humana) causada por um acidente (CARDELLA, 2011).

O nível de risco do projeto de HDD corresponde a um parâmetro essencial da análise de viabilidade do projeto e representa um ponto de partida para a concepção da estratégia de gestão de riscos que objetiva reduzir a probabilidade de falha e suas consequências negativas (GIERCZAK, 2014).

Gierczak (2014) destaca ainda que muitas organizações que instalam utilidades subterrâneas aplicando Tecnologia HDD não são capazes de realizar a avaliação de riscos na fase de planejamento do projeto, sujeitando-se a consequências graves de natureza econômica e jurídica relacionadas à ocorrência de falhas que podem comprometer outras utilidades subterrâneas existentes, o próprio equipamento de perfuração, ou ainda, a tubulação a ser lançada.

Zayed e Mahmoud (2013) relatam que a tecnologia HDD representa um dos métodos mais eficazes para instalação de novas tubulações, cabos ou dutos subterrâneos atendendo as expectativas dos clientes em termos de qualidade construtiva. Destacam ainda que o desafio desse método está em compreender de forma adequada os fatores que afetam a sua produtividade e segurança.

A identificação desses fatores representa um diferencial para que os especialistas no método HDD (Perfuração horizontal direcional) possam estimar a produtividade e o risco do processo, dado que esses elementos influenciam diretamente nas estimativas de custo e tempo na aplicação da perfuração direcional horizontal como método construtivo (ZAYED; MAHMOUD, 2013).

Na literatura é possível obter descrições sobre técnicas de análise de risco que apresentam metodologias qualitativas e quantitativas, ou ainda, uma combinação de ambas, sendo que cada técnica apresenta vantagens e desvantagens em relação às demais (GIERCZAK, 2014).

Nesse cenário, a pesquisa em questão busca avaliar a aplicabilidade das técnicas existentes de análise de risco explicitadas na literatura científica, num determinado contexto organizacional, visando aferir o nível de adequação ao processo construtivo da tecnologia HDD e provendo um meio para distinguir dentre as principais técnicas disponíveis seus pontos fortes e restrições, como forma de contribuir para uma análise crítica dos especialistas no sentido de definir o melhor agrupamento de métodos para potencializar a capacidade de diagnóstico, planejamento e prevenção dos riscos inerentes às atividades de perfuração direcional horizontal.

A literatura traz através dos estudos de Ebrat e Ghodsi (2014) um modelo baseado num *neuro-fuzzy system* que capta o conhecimento tácito dos especialistas em HDD e modela matematicamente um conjunto de variáveis com o objetivo de estimar os riscos em projetos na área de construção. A estimação de riscos auxilia os decisores na avaliação de custo-benefício dos empreendimentos através da análise dimensional de variáveis como tempo, custo, qualidade e segurança.

As pesquisas de Gierczak (2014) fornecem uma estratificação das principais falhas encontradas em projetos de perfuração direcional, oriundas de uma ampla pesquisa realizada com mais de 5.940 projetos HDD em 05 países distintos. Os dados estratificados compreendem a montagem de histogramas com os modos de falha que se manifestam com maior frequência em projetos de perfuração direcional.

A relevância do gerenciamento de riscos se associa com a capacidade de maximizar os ganhos através da redução da incerteza durante o processo de concepção, planejamento e execução dos empreendimentos, principalmente sob a dimensão conceitual de um projeto, que se configura como um evento único, não repetitivo, e destinado a consumir recursos humanos, materiais e financeiros de forma temporária (PMI, 2013).

Trabalhos de Gierczak (2014) demonstram um processo de modelagem matemática baseado em conhecimento e experiências passadas, captadas de *experts* através do acompanhamento de projetos de perfuração direcional com o objetivo de estruturar o conhecimento implícito do especialista e estimar um fator de risco global para os empreendimentos de mesma natureza.

Essa pesquisa foi iniciada com um levantamento dos assuntos de interesse onde a escolha dos artigos que serviram de base para a montagem do referencial teórico foram obtidos através de consulta aos seguintes portais: Capes, Science Direct, Journal Oil and Gas, Web of Science, Google Acadêmico e seu buscador convencional, e repositórios institucionais das principais Universidades brasileiras. As palavras-chave utilizadas foram: *fuzzy logic*, *horizontal directional drilling*, *risk management*.

Esta pesquisa objetiva propor um *roadmap* (roteiro) para implementação de um arranjo de técnicas de análises de riscos em projetos de perfuração horizontal direcional, com o intuito de minimizar a incerteza associada a esses empreendimentos e assegurar que padrões mínimos de segurança e produtividade sejam alcançados. É também objetivo deste trabalho propor uma interface para inferência de riscos em projetos HDD que simplifique a comunicação com o decisor e acelere o desenvolvimento de estratégias que garantam os patamares adequados de segurança, produtividade e qualidade nesses empreendimentos. A pesquisa fundamenta-se no desenvolvimento de uma ferramenta que permita a avaliação geral das condições de operabilidade e segurança, nutrindo os construtores de informações que permitam uma avaliação rápida e consistente dos riscos intrínsecos do processo produtivo.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho de pesquisa irá abranger o estudo das técnicas atuais de análise de riscos com foco na apresentação de um conjunto ou arranjo ordenado que possa ser empregado na prevenção, monitoramento e mitigação dos riscos associados aos projetos de construção e montagem de dutos subterrâneos.

O trabalho se limita a proposição de um *roadmap* (roteiro) para aplicação de um conjunto de técnicas qualitativas em projetos de perfuração direcional com vistas a minimizar a ocorrência de falhas com base na previsão, acompanhamento e adequação sistemática das atividades relacionadas ao projeto.

No escopo deste trabalho será realizada uma modelagem de um sistema de inferência *fuzzy* (SIF) capaz de prever o risco geral de um projeto de perfuração direcional horizontal. Para cumprir essa etapa, será proposta uma interface de simples operabilidade e desenvolvida em software computacional onde os gestores organizacionais poderão prever o risco global associado a um determinado empreendimento.

As avaliações qualitativas e quantitativas são inerentes ao modelo proposto e sua implementação destina-se à caracterização de um patamar global de risco para um projeto HDD.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado em cinco capítulos resumidamente descritos a seguir:

O Capítulo 1 possui caráter introdutório e apresenta uma contextualização geral sobre as temáticas de Avaliação e Análise de Risco, Perfuração Direcional Horizontal, Confiabilidade, Produtividade em HDD e as principais Ferramentas e Metodologias utilizadas no processo de Gestão de Riscos, também justificando e definindo a relevância da pesquisa e apresentando seus objetivos.

No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico sobre gestão de riscos em projetos de perfuração direcional, contemplando a base teórica para apresentação das ferramentas qualitativas que irão representar o *roadmap* (roteiro) e quantitativas através da concepção e desenvolvimento da interface do Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF).

No capítulo 3, são delineados os fundamentos metodológicos, procedimentos para coleta e análise de dados, e as etapas da pesquisa.

O capítulo 4 apresenta os resultados da pesquisa contemplando o estudo de caso da aplicabilidade das ferramentas qualitativas no contexto organizacional e a etapa quantitativa, incluindo todas as suas fases para modelagem do SIF (Sistema de Inferência Fuzzy).

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões sobre o trabalho, suas limitações e propostas para realização de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa seção serão abordados: tecnologia de perfuração direcional horizontal, técnicas de análise de riscos, planejamento e gestão de projetos, cultura e comportamento na área de segurança e os conceitos fundamentais da lógica *fuzzy*.

2.1 TECNOLOGIA DE PERFURAÇÃO DIRECIONAL

A história da perfuração direcional coincide com o desenvolvimento da indústria do Petróleo no Brasil e no Mundo. O Petróleo é conhecido e utilizado pelo homem desde os tempos bíblicos. O betume era utilizado pelos Fenícios para calafetação de embarcações e iluminação, os Egípcios o utilizavam para pavimentação e embalsamar mortos, enquanto Gregos e Romanos direcionaram seu uso para fins bélicos (THOMAS, 2004).

O uso e consolidação do Petróleo na sociedade moderna data de 1859. De acordo com Thomas (2004), esse processo se notabilizou quando o Coronel Drake na Pensilvânia, Estados Unidos, perfurou através de um sistema de percussão a vapor um poço de 21 de metros de profundidade que produzia 2m³/dia de óleo. Esse foi o marco inicial da era do Petróleo de onde era possível extrair subprodutos (solventes, combustíveis e produtos diversos) para atender necessidades comerciais distintas a partir da destilação fracionada do óleo.

O avanço tecnológico e o desenvolvimento de materiais mais resistentes, duráveis e de qualidade superior impulsionaram o processo de transição entre os métodos de perfuração, permitindo um maior alcance longitudinal. As circunstâncias que demarcam essa transição são ressaltadas por Thomas (2004) na cronologia a seguir:

- Em 1900, no Texas, o Americano Anthony Lucas substitui o processo de percussão pelo rotativo e conseguiu captar petróleo a uma profundidade de 354 metros.
- Nos anos seguintes, o desenvolvimento de novos projetos de brocas e métodos de perfuração permitiram o alcance de reservas com mais de 10.000 metros de profundidade, consolidando o método rotativo como alternativa eficaz para substituição do sistema de percussão.
- A década de 50 é marcada por uma intensa atividade exploratória, sobretudo nos Estados Unidos, que se apresenta no cenário geopolítico como o maior produtor mundial, sendo responsável por metade da produção internacional e pela iniciativa

pioneira nas incursões no mar para captação do Petróleo. Nessa época surgem as primeiras estruturas marítimas para acomodar os equipamentos de perfuração.

- As décadas de 60 e 70 são marcadas pelo deslocamento da polaridade de produção, surgindo o Oriente Médio como novo expoente no plano de produção decorrente das expressivas reservas descobertas na região através de métodos eficazes de prospecção. Nesse mesmo período foram descobertas novas reservas em países emergentes, no Mar do Norte e em outros países da antiga União Soviética.
- As décadas de 80 e 90 apresentam grandes avanços tecnológicos que culminaram na descoberta de novos campos de exploração e na redução de custos de produção, consolidando o Petróleo como a principal fonte de energia em termos de combustível e matéria-prima para geração de subprodutos e utilidades da vida moderna, tais como: tintas, corantes, plásticos, adesivos, detergentes, produtos farmacêuticos e cosméticos.

No Brasil, as primeiras pesquisas para prospecção de Petróleo foram realizadas em Alagoas, em 1891, e o primeiro poço foi perfurado 1897, por Eugênio Ferreira Camargo, no município de Bofete, Estado de São Paulo, atingindo uma profundidade de aproximadamente 488 metros, mas o poço produziu apenas água fulfurosa. Em 1938 foi iniciada a perfuração do poço DNPM-163, em Lobato, Bahia, resultando no primeiro caso de sucesso de descoberta de Petróleo no Brasil, em janeiro de 1939, quando a sonda rotativa encontrou óleo a 210 metros de profundidade (THOMAS, 2004).

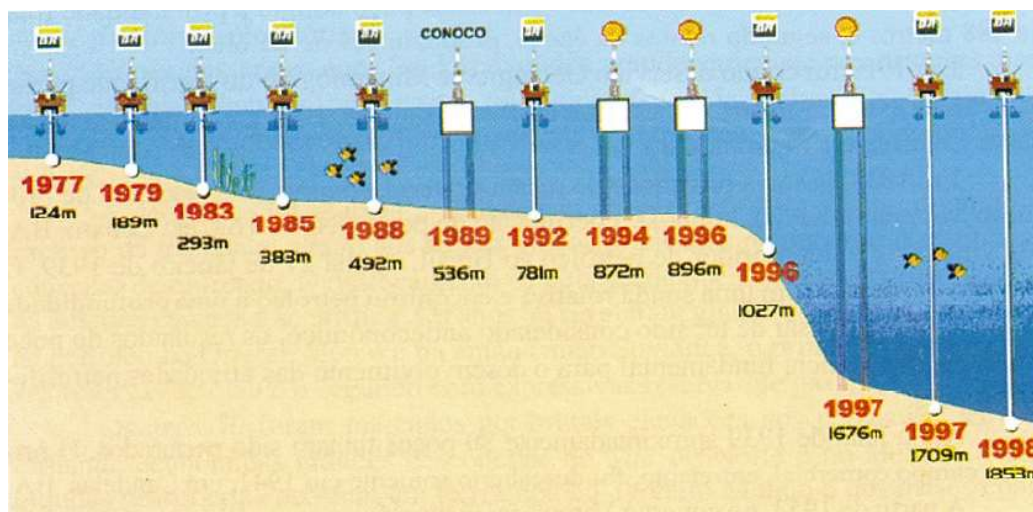
Em 1953, sob a tutela do Governo Vargas foi criada a Petrobras como resultado de uma campanha popular que durou sete anos e resultou na consolidação do monopólio estatal do Petróleo. Neste momento foi instituído o marco para o desenvolvimento das pesquisas em território nacional (PETROBRAS, 2014).

Thomas (2004) destaca que várias descobertas de campos de Petróleo foram realizadas no Brasil nas décadas de 80 e 90, sobretudo em águas profundas (plataforma continental), sendo expoentes desse novo cenário a Bacia de Campos, no Rio de Janeiro e a do Rio Urucu, no Amazonas. A produção impulsionada por significativos avanços tecnológicos no sistema de perfuração entra numa rota de crescimento, variando de 750 m³/dia (na época da criação da Petrobras) para mais de 182.000 750 m³/dia no final da década de 90.

A Figura 2 mostra a evolução da capacidade de exploração de petróleo ao longo do tempo em águas profundas. É possível observar que o avanço tecnológico permite ultrapassar de forma consecutiva ao longo da cronologia apresentada a profundidade máxima para captação do óleo, fazendo com que sejam alcançados recordes sucessivos. Cabe ainda destacar que a Petrobras, por meio de seus centros de pesquisa, começa a protagonizar em âmbito

internacional o desenvolvimento de métodos eficazes para exploração e produção de Petróleo na plataforma continental (THOMAS, 2004).

Figura 4 - Evolução do recorde mundial de produção na plataforma continental



Fonte: THOMAS (2004).

A história recente denota que o pioneirismo brasileiro na exploração e produção de Petróleo em águas profundas, alicerçado em técnicas ultramodernas de perfuração, foi capaz de alavancar consideravelmente os índices de produção até o patamar de 2 milhões e 539 mil barris/dia de óleo (dados do exercício 2013, atualizados em maio/2014), sendo 300 mil barris (dados obtidos do site da Petrobras e atualizados até 20/02/2013) oriundos da camada pré-sal (PETROBRAS, 2014).

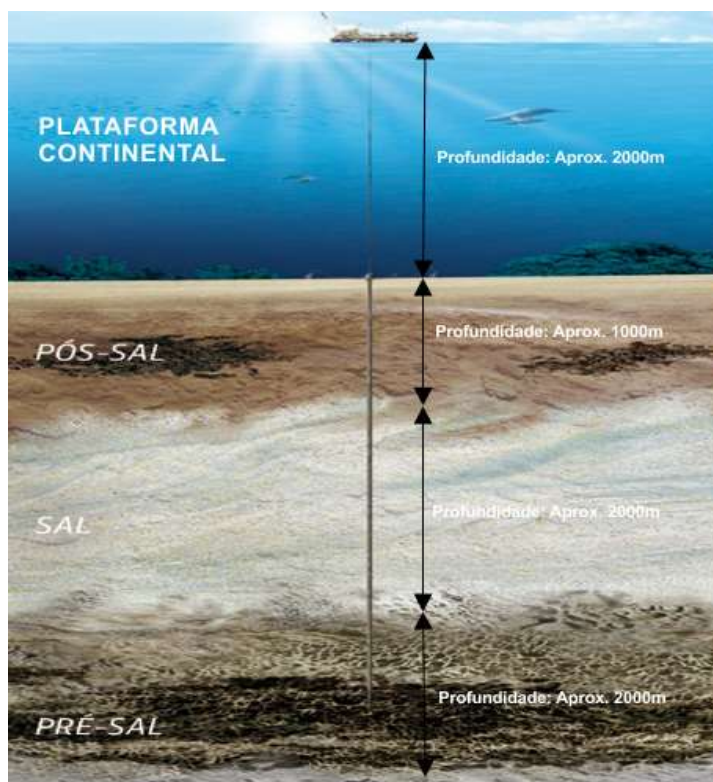
A camada pré-sal é formada por uma sequência de rochas sedimentadas formadas há mais de 100 milhões de anos no espaço de separação entre o continente Americano e Africano. A exploração dessa camada, descoberta em 2007, caracterizada por uma variação entre 5 e 7 mil metros de profundidade, gerou uma demanda expressiva por métodos e materiais inovadores de perfuração representando um desafio tecnológico inédito no Brasil e no Mundo (PETROBRAS, 2014).

“A perfuração direcional de poços no Brasil vem se destacando ao longo do tempo por causas dos inúmeros desafios que têm sido vencidos, notadamente no que se refere à perfuração em águas profundas e ultraprofundas” (ROCHA et al, 2011, p. 13).

A figura 3 denota os avanços das profundidades alcançadas para captação do Petróleo no Pré-Sal, onde as sondas de perfuração podem atingir a profundidade de até 7 mil metros, enquanto a maior parte das reservas nacionais de Petróleo em exploração até o ano de 2007

alcançavam em média 4 mil metros. A exploração da camada pré-sal representa um novo modelo exploratório com tecnologia de perfuração mais resistente à pressão, corrosão e altas temperaturas (PETROBRAS, 2014).

Figura 7 - Localização e profundidade da camada pré-sal



Fonte: PETROBRAS (2014) – www.petrobras.com.br.

O processo tecnológico tem favorecido o crescimento sistemático da profundidade de perfuração de poços. “A perfuração direcional é uma das especialidades ligadas à construção de poços de Petróleo que mais evoluiu ao longo dos últimos anos. Poços cada vez mais complexos são propostos a cada ano e o resultado disso é um número expressivo de recordes sistematicamente batidos” (ROCHA et al, 2011, p. 13).

Rocha et al. (2011) pontuam que a perfuração direcional consiste num método eficaz para aumento da produtividade de um poço, além de reduzir o impacto ambiental associado à atividade. Destaca ainda que as novas tecnologias permitem a perfuração lateral ou horizontal sob a superfície, e distingue poços exploratórios e de desenvolvimento, sendo estes últimos em sua maioria direcionais e horizontais.

2.1.1 Perfuração Direcional Horizontal (Tecnologia HDD)

Onsarigo, Adamtey e Atalah (2014) definem a Perfuração Direcional Horizontal como um método de construção guiado para instalação de tubos subterrâneos, conduítes e cabos ao longo de uma trajetória de furo previamente planejada e implementada a partir de uma plataforma de perfuração na superfície. Destacam também que é um método ideal para ambientes urbanos densamente povoados, onde se objetiva limitar os impactos para o meio ambiente físico (interferência no fluxo de tráfego e obstrução de acessos) e para a sociedade, tais como: ruídos, poluição atmosférica e atrasos provenientes de desvios do trânsito.

A ABRATT (Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva) descreve o método considerando os seguintes aspectos gerais:

As técnicas de perfuração guiada ou perfuração direcional (HDD) são usadas para a instalação por método não destrutivo de novas redes, dutos e cabos. O traçado da perfuração pode ser reto ou ligeiramente curvo e a direção da perfuração pode ser ajustada em qualquer etapa do serviço para contornar obstáculos, passar sob rodovias, rios ou ferrovias. A perfuração pode ser executada entre poços pré-escavados de entrada e saída ou a partir da superfície, fazendo-se a entrada da perfuratriz no solo em um ângulo suave (ABRATT, 2014, p. 74).

Rocha et al. (2011, p. 14) observam que a “tecnologia de perfuração de poços horizontais, que por muitos anos foi algo tecnicamente impraticável, teve sua estreia no Brasil no ano de 1990. Hoje é uma das tecnologias mais comuns e cerca de 50% dos poços marítimos direcionais perfurados por ano no Brasil são horizontais”.

“Apesar dos princípios básicos da engenharia direcional serem exatamente os mesmos, desde os primórdios dessa disciplina, a evolução tecnológica e das ferramentas associadas a esse tipo de engenharia vêm revolucionando os conceitos da perfuração de poços” (ROCHA et al., 2011, p. 14).

De acordo com a ABRATT (2014), as concessionárias de serviços públicos têm priorizado o uso de tecnologias não destrutivas para construção, manutenção ou reparo de suas redes, impedindo o emprego de técnicas de escavação a céu aberto especialmente em vias públicas, devido ao rol de benefícios ambientais e sociais e ao custo da perfuração direcional que foi reduzido para um patamar abaixo da escavação a céu aberto em muitas aplicações.

Zayed e Mahmoud (2013) destacam que escavação a céu aberto tem sido gradualmente substituída pela tecnologia HDD em decorrência dos seguintes aspectos:

- A instalação de tubulações de utilidades em áreas urbanas densamente povoadas em apresentado um elevado custo para o controle do tráfego de veículos e pessoas,

limitações para escavação ao redor de utilidades existentes e os elevados custos de restauração das áreas escavadas.

- Custos sociais representados pelas interferências no tráfego de veículos e nos acessos aos estabelecimentos comerciais que geram atrasos, insatisfações e perturbações no fluxo de usuários.
- Limitações decorrentes da legislação ambiental que impõe limitações severas à disposição de dutos no ambiente aquático e em áreas ambientalmente sensíveis.

As vantagens da tecnologia HDD, conforme observam Zayed e Mahmoud (2013), podem ser delineadas a seguir:

- A instalação e operação demanda curto tempo em comparação a outros métodos.
- Existe boa flexibilidade para alinhamento e desvios de interferências existentes no subsolo.
- O alcance longitudinal da instalação é maior comparado a outros métodos de vala a céu aberto.

Os fatores críticos para o sucesso da Perfuração Direcional Horizontal são prescritos a seguir, conforme relatam Zayed e Mahmoud (2013):

- A investigação geotécnica preliminar é fundamental para examinar as condições do subsolo e o potencial de produtividade do processo de construção.
- A qualificação da equipe de perfuração é fundamental para dar celeridade ao trabalho, evitar a perda de contato com a tubulação e manter o encaminhamento correto da tubulação. Nesse aspecto, a harmonia da equipe é um fator que afeta diretamente a produtividade do projeto.
- O comprimento do furo é calculado em função do tipo de solo e das condições do local da perfuração (leva-se em consideração as características das interferências existentes no subsolo).
- Questões legais e regulamentos de segurança necessitam de uma avaliação prévia e influenciam diretamente nos procedimentos para escavação e escoramento dos pontos de entrada e saída da coluna de perfuração.
- As condições mecânicas da perfuratriz devem ser observadas, considerando os aspectos de manutenção e seus impactos no desempenho, velocidade e qualidade das operações de perfuração.

2.1.2 Métodos e Equipamentos da Tecnologia HDD

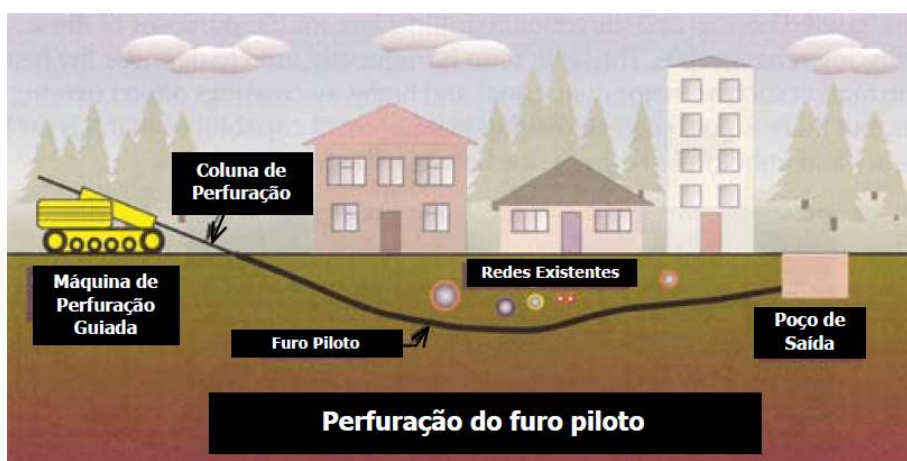
Os métodos de perfuração são constituídos por um agrupamento de procedimentos diversos executados pelos membros da equipe de perfuração e compreendem atividades de manobra, conexão, tratamento do fluido de perfuração e pescagem (CHAGAS et al., 2012).

A perfuração de um poço de petróleo é realizada através da quebra de rochas utilizando uma sonda de perfuração, que é uma estrutura desenvolvida com as especificações técnicas necessárias para dar suporte à operação. Na sonda, operários trabalham executando os processos de operação da coluna de perfuração, estrutura que compõe a sonda. A coluna de perfuração é um composto de segmentos tubulares, que irão conduzir a broca, um componente que quebrará a rocha abaixo do solo até chegar às rochas onde está depositado o petróleo (CHAGAS et al., 2012, p.139).

Os eventos que denotam a sistemática de perfuração direcional contemplando o furo piloto podem ser observados em destaque na figura 4 e delineados conforme a transcrição a seguir:

As máquinas de perfuração direcional usam uma cabeça com alimentação de fluido, que é empurrado através do solo, na extremidade de um conjunto de barras (coluna) de perfuração. Normalmente, essa cabeça é angulada, de modo que a rotação constante da coluna produza um furo reto, enquanto que a manutenção da cabeça numa determinada posição cause desvio da trajetória. Normalmente, uma sonda ou emissor é instalado na cabeça ou em suas proximidades, emitindo sinais que são recebidos e acompanhados por um receptor situado na superfície, permitindo a monitoração de direção, profundidade e demais parâmetros. Sistemas de direcionamento por barras rígidas também são usados, com o cabo correndo através da coluna de perfuração, particularmente nos casos em que a trajetória não pode ser seguida facilmente na superfície (por exemplo, na travessia de rios) ou onde a profundidade do furo é muito grande para possibilitar uma localização precisa por métodos de radiofrequência (ABRATT, 2014, p.75).

Figura 10 - Perfuração do furo piloto na tecnologia HDD



Fonte: ABRATT (2014).

O processo de perfuração faz uso de um conjunto de fluidos viscosificantes que tem a função de lubrificar e ajudar a estabilizar as paredes do furo conforme relato abaixo.

Uma mistura de água e bentonita é frequentemente usada como fluido ou “lama” de perfuração, transportando os resíduos em suspensão. Essa mistura pode ser filtrada em um sistema de recirculação. Após completar a perfuração, essa lama tixotrópica estabiliza o furo piloto, deixando-o pronto para o alargamento. A tubulação final ou duto, geralmente de polietileno ou aço, é puxado pelo alargador à medida que este avança e aumenta o diâmetro do furo original (ABRATT, 2014, Seção L2).

Rocha et al. (2011) enumeram as principais funções desempenhadas pelos fluidos no processo de perfuração rotativa.

- Mantém os sólidos em suspensão garantindo a limpeza do poço.
- Transmite potência hidráulica à broca, turbinas e motores de fundo.
- Forma uma espécie de reboco fino e pouco permeável.
- Age resfriando a broca.
- Controla os fluidos contidos nas formações atravessadas.
- Lubrifica a coluna de perfuração.
- Aumentam a taxa de penetração prevenindo o travamento da coluna de perfuração.

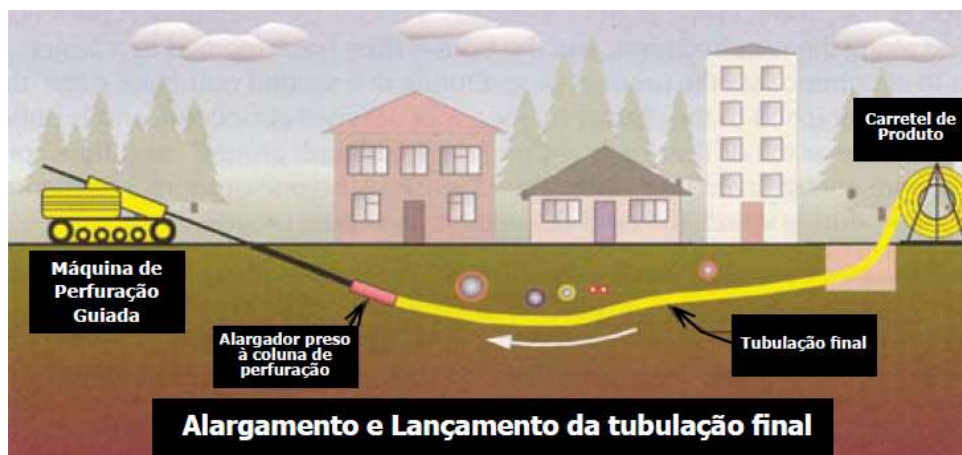
“Os fluidos de perfuração modernos são misturas complexas de sólidos, líquidos, produtos químicos e até gases [...]. Os principais aditivos dos fluidos de perfuração são: goma xantana, bentonita (viscosificantes), amido, bentonita e lignitos (controladores de filtrado), cal hidratada e soda cáustica (alcalinizantes), anticorrosivos [...]” (ROCHA et al, 2011, p.70).

Rocha et al. (2011, p.70) destacam ainda que “as principais propriedades do fluido que são controladas durante as perfurações são as seguintes: densidade, viscosidade, forças géis, filtrado, teor de sólidos, alcalinidade, pH, salinidade, teor de bentonita e resistência elétrica”.

Na sequência das atividades é efetivado o processo de alargamento e lançamento final da tubulação conforme ilustrado na figura 5 e explicitado nas etapas expressas a seguir:

[...] é uma prática normal executar inicialmente um furo piloto de pequeno diâmetro e, posteriormente, seu alargamento no sentido inverso até o diâmetro desejado, ao mesmo tempo em que se lança a tubulação final presa ao alargador, usando um fluido de perfuração para auxiliar na operação de corte e para lubrificar e resfriar a cabeça. O fluido poderá também acionar um “motor de lama” colocado no interior do furo, para o corte de rocha e outros materiais duros, quando houver necessidade de maiores vazões (ABRATT, 2014, p.75).

Figura 13 - Processo de alargamento e lançamento da tubulação final



Fonte: ABRATT (2014).

2.1.3 Construção de dutos através de abertura de valas (Método Destrutivo)

As valas a céu aberto são cortes efetuados no solo, abaixo de uma superfície de interesse que contempla a retirada de material da vala, podendo o mesmo ser reaproveitado ou não, dependendo da sua qualidade. Ao se escavar o solo, quanto maior a profundidade, menor a resistência do solo, situação onde ocorrem alívios de tensões gerando instabilidade nas paredes que podem resultar em desmoronamentos e soterramentos indesejados. Com base nesse aspecto, vários procedimentos devem ser assegurados, como escavação trapezoidal ou em taludes e escoramentos adicionais (GAWRYSZEWSKI; MANTOVANINI; LIUNG, 1998).

Após a escavação e verificação da segurança da vala, são implantadas as estruturas-fim para, em seguida, ser iniciada a recomposição, que exige outros cuidados, como escolha adequada do material de reaterro e a devida compactação, além de se refazer o pavimento anteriormente existente, quando aplicável. Atualmente, as obras com vala são efetuadas por meios mecanizados, mediante o uso de retroescavadeira.

Nas regiões metropolitanas, nem sempre se tem uma área adequada para a movimentação das máquinas e, aliado ao tempo da implantação do duto após a escavação, usualmente há a necessidade de intervenções no trânsito, gerando transtornos e reclamações por parte da sociedade impactada, conforme ilustram as figuras 6 e 7.

Figura 16 - Transtornos causados por valas em vias urbanas



Fonte: Autor (2014) – Dados da pesquisa.

Figura 19 - Interrupção do fluxo da via e recomposição



Fonte: Autor (2014) – Dados da pesquisa.

Historicamente, tem sido o método mais comumente utilizado no Brasil para a instalação de tubulações e cabos, especialmente por se tratar de uma tecnologia conhecida e de procedimentos confiáveis. Pode ser feita de forma mecanizada ou manual e vários aspectos de segurança do trabalhador devem ser seguidos para que se evitem riscos de acidentes por queda de pessoas ou equipamentos, ou ainda desmoronamento de valas.

A depender do tipo de solo e da situação climática sazonal, pode ser necessário também se proceder com o escoramento das laterais da vala. Os locais onde se desenvolverão os trabalhos de escavação deverão ser mantidos sempre arrumados e toda

a obra deverá estar devidamente isolada. Cabos de energia elétrica ou outras instalações potencialmente danosas também deverão ser desenergizados ou isolados e todas as concessionárias inerentes às instalações devem ser previamente consultadas antes do início dos serviços. Nas vias de acesso e tráfego de veículos e de pessoas, deverá existir sinalização alertando para bloqueios e desvios.

Quando houver risco de comprometimento de sua estabilidade durante a execução dos trabalhos, deverão ser rigidamente escorados os postes, árvores, muros e edificações vizinhas. De acordo com a ABRAT (2014), o método possui vantagens e desvantagens, conforme delineado a seguir.

Os benefícios do método destrutivo (MD) incluem:

- Facilidade de aquisição de equipamentos e de mão-de-obra especializada;
- Visualização integral do local e do duto após o seu lançamento;
- Pode ser aplicado em diversos tipos de solos, inclusive os mistos.

As desvantagens do método destrutivo (MD) se caracterizam por:

- Ocupa muito espaço urbano e interdita acessos;
- Causa a poluição visual da obra;
- Pode desmoralizar e causar acidentes fatais;
- Pode atingir, pelo cadastro deficiente, outras facilidades implantadas na diretriz da vala;
- Não tem a cultura da pesquisa de interferências com outras obras já implantadas;
- Maior impacto ambiental, ao se usar jazidas e pavimentos asfálticos;
- A recomposição geralmente deixa a região com aspecto diferente do original.

2.1.4 Construção de dutos através de método não destrutivo (MND)

Segundo Guilhem (2006), a utilização do método de perfuração direcional horizontal, conhecida popularmente por método não-destrutivo (MND) no Brasil teve sua estreia em 1972 em São Paulo pela antiga empresa de telecomunicações (Telesp), que lançou mão do método para instalar cabos no subsolo da cidade. Hoje, a cidade de São Paulo possui uma enorme rede subterrânea instalada.

“No subsolo paulistano se escondem milhares de quilômetros de fios, cabos, dutos e galerias. São 22.800 km de redes de água, 17.265 km de

galerias de esgoto, 3.000 km de galerias de águas pluviais e 2.000 km de dutos de gás. Os fios telefônicos e elétricos, cabos de fibra óptica e cabos de TV se estendem por mais 50.000 km” (ABRATT, 2006).

A partir da década de 1990, o MND começou uma vertente no atendimento de obras urbanas. A Companhia Municipal de Gás (COMGÁS), foi uma das precursoras na utilização para a implantação de redes de gás natural, formando os primeiros disseminadores desta tecnologia. Hoje, a maioria das suas obras são executadas por este método.

“A Comgas, maior distribuidora de gás natural canalizado do Brasil, investe pesadamente em tecnologias não-destrutivas de construção de rede. Noventa por cento das obras de infraestrutura subterrânea da concessionária são realizadas com a técnica de perfuração horizontal direcional (HDD), método que evita a abertura de valas e incorpora várias vantagens, inclusive de menor interferência ao longo da instalação da rede” (ABEGÁS, 2014).

As figuras 8 e 9 mostram uma obra da COMGÁS que utiliza o método não destrutivo (MND) com seu respectivo equipamento de perfuração direcional.

Figura 22 - Obra da COMGÁS utilizando MND em vias urbanas



Fonte: Panorama de Negócios – www.panoramadenegocios.com.br (2015).

Figura 25 - Equipamento de Perfuração Direcional



Fonte: Autor (2015) – Dados da pesquisa.

Guilhem (2006) pontua que o MND:

“Trata-se de uma tecnologia de travessia subterrânea, cuja aplicação se inicia da superfície sob a qual está sendo executada, e direciona-se à “navegação” por entre as interferências existentes. A perfuratriz rotativa executa por meio de sistema direcional o furo guia, com uma broca em forma de pá, com inclinação de 10° a 30° [...], que escava o solo com a ajuda de um jato de lama bentonítica em alta pressão. Durante a perfuração é efetuado o monitoramento através de um transmissor em frequência modulada, instalado dentro da pá ou broca de perfuração que transmite informações da cravação a um receptor na superfície. A pá de perfuração permite o direcionamento com eventuais correções no percurso, caso ocorram obstáculos ou interferências. Após a conclusão do Furo Guia, retira-se a broca e instalam-se alargadores cônicos que serão inseridos no micro túnel, que irá expandir o furo até que atinja 1,5 vezes o diâmetro externo do Tubo a ser instalado. Após este processo o Tubo será puxado para dentro do Micro túnel em sentido inverso ao da Perfuração”.

Guilhem (2006) enumera as seguintes vantagens e desvantagens do MND:

Os benefícios do MND (Método Não Destrutivo) incluem:

- Proporciona uma obra limpa, com o mínimo de escavações;
- Possui a cultura da prospecção de interferências antes do início da perfuração;
- Evita colisões com instalações mais rasas;
- Adequado para a travessias de massas hídricas e cruzamento de rodovias sem interrompimento;
- Menor impacto ambiental;
- Maior produtividade.

As desvantagens do MND (Método Não Destrutivo) são pautadas por:

- Tecnologia mais restrita que a do MD (método destrutivo);
- Não pode ser aplicado em todos os tipos de solos;
- Pode atingir, pelo cadastro deficiente, outras facilidades implantadas na diretriz do furo;
- Deve ser precedido de projetos e planejamento melhor elaborado.

2.1.5 Comparativo de custos na implantação de dutos (MD x MND)

Segundo a ABRATT (2014), com a disseminação da tecnologia MND e da facilidade de aquisição desses serviços, o custo dos equipamentos, para determinados tipos de dutos urbanos, chegam a ser menores do que se fossem executados através da abertura de valas. Um histograma de custos de combustível, mão-de-obra e equipamentos utilizados nas duas modalidades, para um cenário específico, pode fornecer um panorama comparativo, que revela uma diferença, a favor do Método Não Destrutivo (MND), de aproximadamente 20%, conforme denotado nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 2 - Histograma comparativo de custos com combustível MD x MND Assentamento de 100m de tubulação de 4 polegadas em via com pavimento asfáltico.

PELO MÉTODO DESTRUTIVO - VALA AO CÉU ABERTO:				
EQUIPAMENTO	HORAS TRABALHADAS	COMBUSTÍVEL	CONSUMO (Litros)	CUSTO
Retro-escavadeira	10	diesel	70	R\$ 203,00
Caminhão Basculante	10	diesel	35	R\$ 101,50
Caminhão Pipa	6	diesel	25	R\$ 72,50
Máquina Corta-asfalto	4	gasolina	16	R\$ 54,40
Gerador 5 Kva	4	gasolina	12	R\$ 40,80
Compactador de solo	4	gasolina	12	R\$ 40,80
Rolo compact. asfalto	4	diesel	20	R\$ 58,00
CUSTO COM COMBUSTÍVEL				R\$ 571,00
PELO MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO - PERFURAÇÃO DIRECIONAL:				
EQUIPAMENTO	HORAS TRABALHADAS	COMBUSTÍVEL	CONSUMO (Litros)	CUSTO
Perfuratriz 20.000 libras	5	diesel	35	R\$ 101,50
Caminhão Prancha	2	diesel	20	R\$ 58,00
Caminhão Pipa	2	diesel	20	R\$ 58,00
Caminhão vácuo	5	diesel	30	R\$ 87,00
Gerador 5 Kva	5	gasolina	15	R\$ 51,00
CUSTO COM COMBUSTÍVEL				R\$ 355,50

Fonte: Autor (2015) - Dados da pesquisa.

Tabela 5 - Histograma comparativo de custos com mão-de-obra MD x MND
Assentamento de 100m de tubulação de 4 polegadas em via com
pavimento asfáltico

PELO MÉTODO DESTRUTIVO - VALA AO CÉU ABERTO:			
EQUIPAMENTO	HORAS TRABALHADA S	\$ UNITÁRIO	CUSTO
Encarregado Civil	12	33,25	R\$ 399,00
Motorista	24	14,25	R\$ 342,00
Operador de Retro	12	17,1	R\$ 205,20
Ajudante	60	9,5	R\$ 570,00
CUSTO DE MÃO-DE-OBRA			R\$ 1.516,20
PELO MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO - PERFURAÇÃO DIRECIONAL			
EQUIPAMENTO	HORAS TRABALHADA S	\$ UNITÁRIO	CUSTO
Encarregado Perfuração	8	33,25	R\$ 266,00
Motorista	24	14,25	R\$ 342,00
Operador de Perfuratri	8	23,75	R\$ 190,00
Ajudante	30	9,5	R\$ 285,00
CUSTO DE MÃO-DE-OBRA			R\$ 1.083,00

Fonte: Autor (2015) - Dados da pesquisa.

Tabela 8 - Histograma comparativo de custos com equipamentos MD x MND
Assentamento de 100m de tubulação de 4 polegadas em via com
pavimento asfáltico

PELO MÉTODO DESTRUTIVO - VALA AO CÉU ABERTO:			
EQUIPAMENTO	HORAS TRABALHADA S/DISPONÍVEIS	\$ UNITÁRIO	CUSTO
Retro-escavadeira	12	50	R\$ 600,00
Caminhão Basculante	12	40	R\$ 480,00
Caminhão Pipa	12	40	R\$ 480,00
Máquina Corta-asfalto	10	36	R\$ 360,00
Gerador 5 Kva	10	2	R\$ 20,00
Compactador de solo	10	3	R\$ 30,00
Rolo compact. asfalto	10	10	R\$ 100,00
CUSTO DE EQUIPAMENTOS			R\$ 2.070,00
PELO MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO - PERFURAÇÃO DIRECIONAL:			
EQUIPAMENTO	HORAS TRABALHADA S/DISPONÍVEIS	CONSUMO (Litros)	CUSTO
Perfuratriz 20.000 libras	8	120	R\$ 960,00
Caminhão Prancha	8	40	R\$ 320,00
Caminhão Pipa	8	40	R\$ 320,00
Caminhão vácuo	8	40	R\$ 320,00
Gerador 5 Kva	8	2	R\$ 16,00
CUSTO DE EQUIPAMENTOS			R\$ 1.936,00

Fonte: Autor (2015) - Dados da pesquisa.

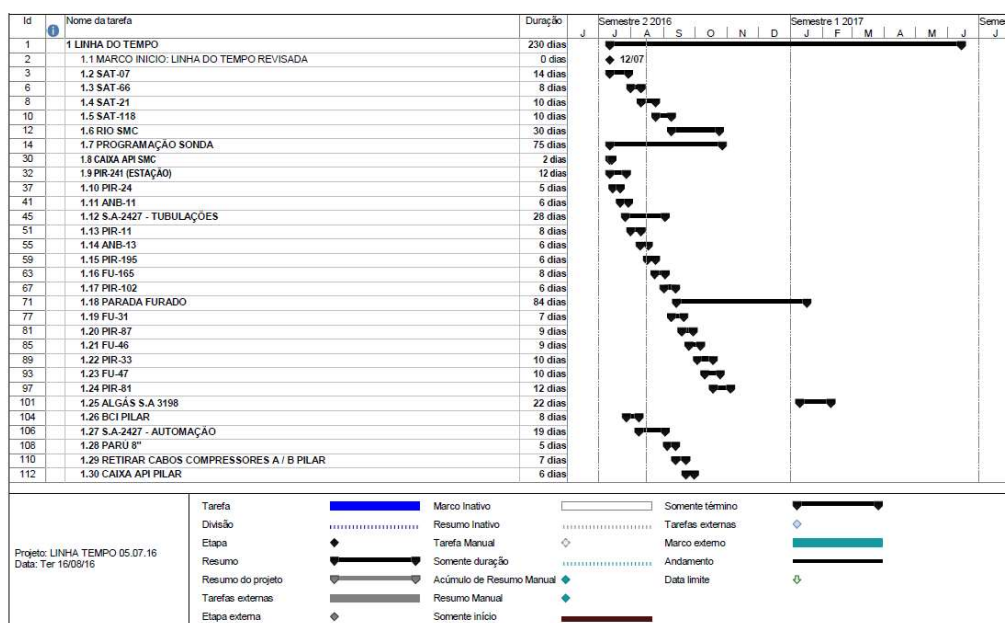
2.2 PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE RISCOS EM PROJETOS

Um projeto é definido como um esforço planejado que busca um resultado singular, moldado por objetivos de ordem quantitativa e qualitativa, realizado por recursos organizados dentro de restrições de custo, prazo, qualidade e segurança. A evolução do gerenciamento de projeto consagrou-se na década de 60, e coincide com a época da corrida espacial nos Estados Unidos (MAXIMIANO, 2010).

Segundo o *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), o gerenciamento de projetos pode ser dividido em nove áreas do conhecimento que englobam: Integração, Escopo, Prazo, Custo, Controle da Qualidade, Recursos Humanos, Comunicação, Riscos e Aquisições. Para avaliar projetos as organizações necessitam de estimativas de custos, prazos, qualidade e riscos, e como cada projeto é único, as estimativas podem trazer incertezas que representam mais suposições do que fatos (PMI, 2004).

Maximiano (2010) destaca que a complexidade de um projeto depende do número de variáveis envolvidas, de tal forma que, à medida que a complexidade aumenta, maior o grau de dificuldade e a necessidade de aplicar ferramentas que contribuam para reduzir a incerteza, componente que faz o projeto iniciar com definições imprecisas a respeito das variáveis críticas de desempenho (tempo, custo, qualidade e segurança). Uma metodologia de gerenciamento baseia-se na listagem de atividades que são distribuídas ao longo de tempo considerando as restrições de prazo, custo, qualidade e segurança conforme figura 10.

Figura 28 - Planejamento de atividades ao longo do tempo

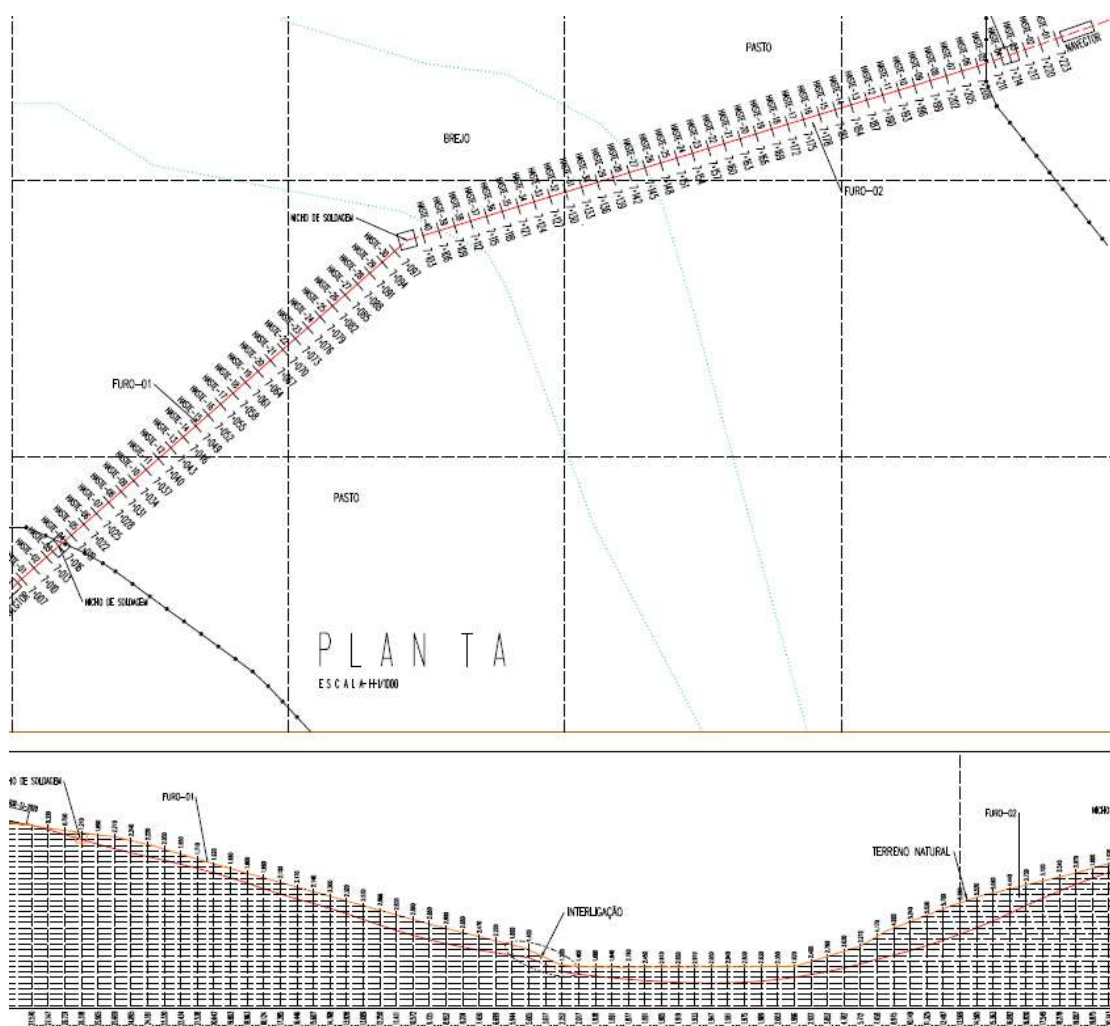


Fonte: Autor (2015) – Dados da pesquisa.

As práticas de gerenciamento de riscos são relevantes para o sucesso do projeto, pois dão suporte ao à mitigação de itens que envolvem atrasos no cronograma, comprometem a segurança ou afetam o orçamento organizacional. Quando as práticas de gerenciamento de riscos são empregadas, aumenta-se as perspectivas de sucesso e performance do projeto. Outro aspecto-chave é a segurança do trabalho, representada pelo elemento de interação entre o ambiente laboral e a tecnologia envolvida na segurança dos operadores (CHAPMAN; WARD, 2004).

A complexidade e as variáveis envolvidas nos projetos de perfuração direcional horizontal, demandam uma atenção especial na gestão desses empreendimentos. São pontos relevantes dessa análise as características do solo, a escolha do fluido de perfuração, as condições do meio ambiente de trabalho e as habilidades dos operadores envolvidos na atividade. A figura 11 ilustra a estrutura de um projeto topográfico para perfuração direcional.

Figura 31 - Projeto de Engenharia – Perfuração Direcional Horizontal



Fonte: Autor (2015) – Dados da pesquisa.

2.2.1 Incerteza e Risco nos Projetos

A incerteza é inerente às atividades e é impossível eliminá-la, por ser inviável coletar todas as informações relevantes (assimetria informacional). O risco se estabelece quando é possível prever os estados futuros que possam se manifestar e suas respectivas probabilidades de ocorrência. A principal fonte de risco nos projetos é decorrente do fato de que o volume de informação envolvido é grande e os valores são projetados no futuro, gerando uma base duplamente variável: os dados coletados e processados são em sua maioria resultado de estimativas, e o futuro dificilmente irá se confirmar de acordo com as projeções (WOILER; MATHIAS, 2008).

O conceito de risco refere-se à probabilidade de ocorrência de um resultado não desejado, resultante de qualquer evento (VALERIANO, 1998). Em virtude das incertezas que circundam todo projeto, o risco é tido como um componente intrínseco, que em maior ou menor grau afeta:

- O desempenho, pela impossibilidade de atingir requisitos;
- O custo, por realizar despesas acima das previstas;
- O cronograma, por gerar atrasos;
- A segurança, por comprometer a integridade física dos trabalhadores;
- Uma combinação destes.

Valeriano (1998), destaca que o risco possui dois componentes:

- A probabilidade de sua ocorrência; e
- A consequência, impacto ou severidade do efeito indesejável.

As principais causas de riscos, pontua Valeriano (1998), estão associadas a agentes internos e externos, tais como:

- Tecnologia, sendo de maior risco aquelas com efeitos não comprovados ou ainda imaturas;
- Complexidade do sistema, tendo desdobramentos aqueles cujos efeitos se manifestam durante a integração ou interação das partes;
- Alterações de projeto, decorrentes de mudanças de engenharia que poderão ocorrer ou ser feitas para mitigar riscos não previstos;
- Custos e cronograma, derivados das imperfeições ao se estimar valores, prazos e caminhos críticos;

- Mercado, por alteração ou evolução súbita não prevista em relação a uma determinada demanda ou oferta;
- Financiamento, quando o risco depende de um agente financeiro externo;
- Produção, relacionados à dificuldade de se concretizar o produto com os requisitos de desempenho e qualidade especificados.

2.2.2 Gerenciamento de Riscos

Segundo o PMI, o processo de gerenciamento de riscos inclui:

- Planejamento da Gerência de Riscos;
- Identificação dos Riscos;
- Análise qualitativa;
- Análise quantitativa;
- Planejamento de respostas aos riscos;
- Controle dos riscos.

A categorização de riscos é feita a partir da matriz de probabilidade e impacto. A Matriz é construída durante a fase de análise qualitativa de riscos, onde se define a graduação da probabilidade e das consequências, descritas de forma genérica, utilizando variáveis linguísticas, por exemplo: Baixa, Média e Alta.

O uso de variáveis linguísticas sintetiza o processo de coleta e análise das informações relevantes, tornando o processo de construção de conhecimento mais simples; deixando a sofisticação abstrata matemática encapsulada num patamar abaixo do nível das tratativas dos decisores, sem comprometer o refinamento e a solidez do processo.

A figura 12 ilustra um exemplo de matriz de probabilidade e impacto que contempla um conjunto delimitado de variáveis de interesse, que após ponderação dos decisores irá embasar o desenvolvimento de um fator unificado de risco de um determinado sistema, projeto, tarefa ou processo.

Figura 34 - Matriz de Probabilidade e Impacto

Matrizes de Probabilidades x Impacto													
		Consequência							Consequência				
		Desprezível	Baixa	Média	Alta	Catastrófico			Desprezível	Baixa	Média	Alta	Catastrófico
Probabilidade ↑ ↓	Problemas com o SOLO						Probabilidade ↑ ↓	Problemas com o EQUIPAMENTO					
	Muito Provável							Muito Provável					
	Provável							Provável					
	Neutra							Neutra					
	Pouco Provável							Pouco Provável					
Remota						Remota							
Probabilidade ↑ ↓	Problemas com o AMBIENTE						Probabilidade ↑ ↓	Problemas com o GERENCIAMENTO					
	Muito Provável							Muito Provável					
	Provável							Provável					
	Neutra							Neutra					
	Pouco Provável							Pouco Provável					
Remota						Remota							

Fonte: Adaptado da Federal Highway Administration (2006)

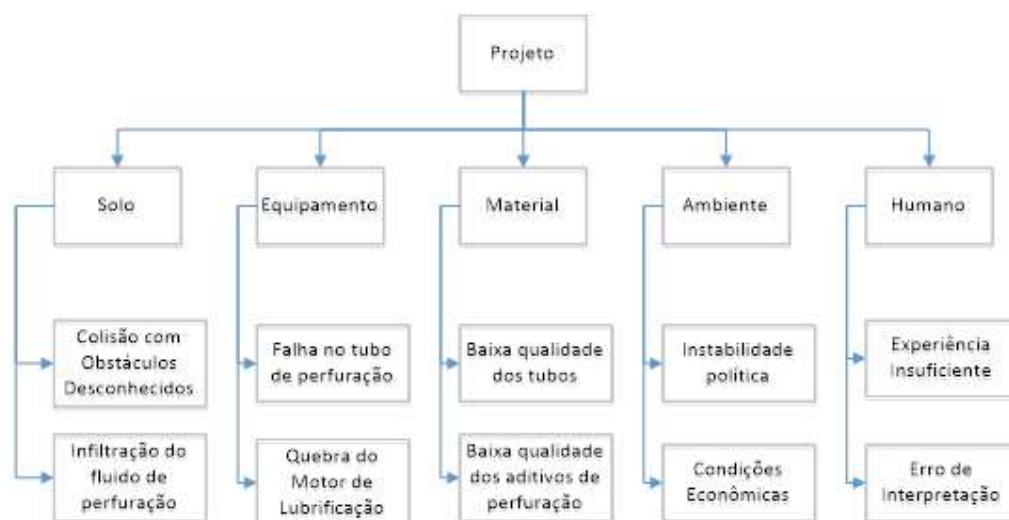
Legenda:	
	Fatores fortuitos ou com baixo potencial de dano
	Demanda monitoramento e controle
	Requer barreiras e controles imediatos

Escala de Probabilidade x Consequência	
→	Maior ou Piora
←	Menor ou Melhorar

Fonte: Autor (2016) - Adaptado da FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2006).

Outra forma de agrupamento dos fatores de risco é através de uma EAR (Estrutura Analítica de Riscos), onde as categorias são dispostas de forma hierarquizada, conforme exemplificada na figura 13.

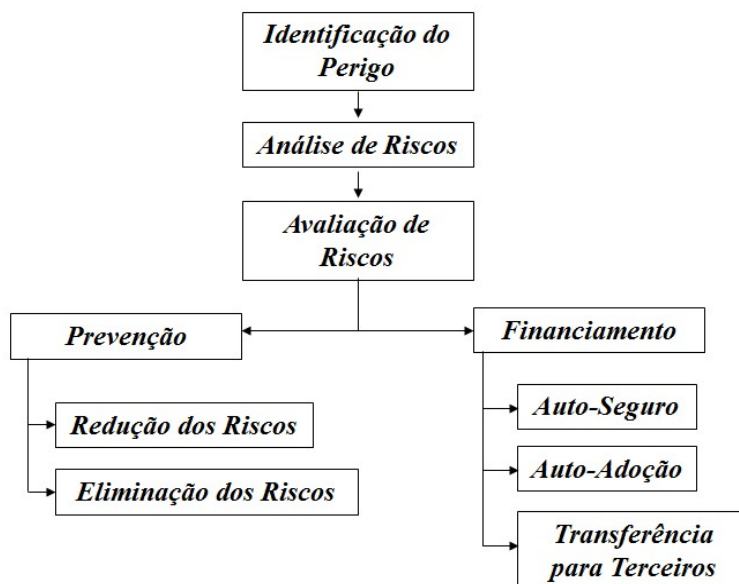
Figura 37 – Exemplo de uma Estrutura Analítica de Riscos (EAR).



Fonte: Autor (2015) - Adaptado de GIERCZAK (2014).

Segundo o PMI (Project Management Institute), as estratégias para gerenciamento de riscos incluem as etapas denotadas no fluxograma da figura 14.

Figura 40 - Fluxograma para gerenciamento de riscos



Fonte: Autor (2015) – Adaptado do PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI (2010)

2.2.3 Comportamento e Cultura de Segurança

Um programa de gestão de Segurança e Saúde no Trabalho (SST) está alicerçado em três componentes principais: cultura, ferramentas e objetivos. De longe, os aspectos culturais apresentam maior significado, facilitando, inibindo ou inviabilizando a implementação de um SST com resultados promissores (OLIVEIRA, 2003).

O comportamento de segurança de um trabalhador está associado aos conhecimentos que ele detém sobre as regras de segurança a cumprir durante a execução das suas tarefas, às aptidões inerentes ao correto desempenho e a sua motivação para desempenhar tarefas em segurança (OLIVEIRA, 2003).

A cultura representa os hábitos, comportamentos e atitudes que são assimilados e incorporados ao longo de nossa existência em decorrência das experiências vividas.

A cultura organizacional congrega os valores e princípios de negócio da organização que serão determinantes para interferir nos hábitos, comportamentos e atitudes dos colaboradores em todos os níveis hierárquicos. A cultura sofre influência de fatores internos e externos, conforme exposto na figura 15.

Figura 43 - Forças que influenciam na cultura de segurança



Fonte: Autor (2014) - Adaptado de ADAMS (2009).

2.2.4 Prevenção e Conceitos de Segurança do Trabalho

Segundo Cicco e Fantazzini (1994), prevenção engloba desde ações de reparação de danos (lesões ou prejuízo financeiro/material) até a prevenção de todas as situações que possam desencadear efeitos indesejados ao trabalho. A engenharia de segurança de sistemas e suas técnicas de aplicação surgiram da necessidade de segurança total em áreas com necessidade de alta confiabilidade e baixíssima tolerância a riscos.

O Conceito Prevençãoista prescinde da existência dos fatores lesão e/ou doença para caracterizar um acidente do trabalho. Nele englobam-se as situações que envolvem danos e/ou perdas materiais, que direta ou indiretamente interfiram no processo normal de uma atividade.

Ainda sob essa perspectiva, é importante trabalhar alguns conceitos que circundam a análise prevençãoista de acidentes.

Perigo é representado por uma “Fonte ou situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, dano à propriedade, dano ao meio ambiente do local de trabalho, ou uma combinação destes” (OHSAS 18002, 2001, p. 8).

Risco “Combinação da probabilidade de ocorrência e da(s) consequência(s) de um determinado evento perigoso” (OHSAS 18002, 2001, p.10).

Incidente é definido na OHSAS (18002) como “Evento que deu origem a um acidente ou que tinha o potencial de levar a um acidente”.

Desvio é qualquer ação ou condição em desconformidade com as normas de trabalho, procedimentos, requisitos legais ou normativos com potencial para gerar danos ao patrimônio ou as pessoas.

O conceito de prevencionismo teve origem nos trabalhos de Frank Bird (1969) que desenvolveu a teoria intitulada “controle de danos”. A teoria está focada na prevenção e tem como preceitos a relação de causa e efeito, onde os acidentes do trabalho, com ou sem lesão, estavam ligados à personalidade do trabalhador, à prática de comportamentos inseguros e à existência de condições inseguras (CICCO; FANTAZZINI, 1994). Ainda sob a égide dessa análise, os autores definem o conceito de comportamento e condição insegura.

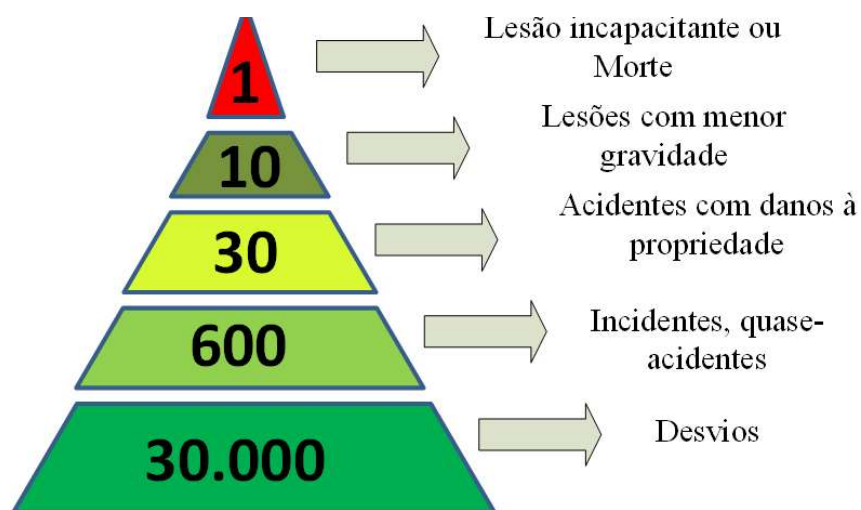
Comportamento inseguro representa a maneira como as pessoas se expõem, de forma consciente ou inconsciente, a riscos de acidentes.

Condições inseguras representam as falhas, defeitos, irregularidades técnicas e carência de dispositivos de segurança que expõem os trabalhadores a riscos que podem afetar sua integridade física ou comprometer a segurança das instalações e equipamentos.

2.2.5 Teorias de Análise de Acidentes

Os estudos de Frank Bird permitiram a criação de uma relação de causa e efeito relacionada à concepção de prevenção de acidentes. A figura 16 ilustra as conclusões do estudo empírico do especialista que resultaram na construção da “Pirâmide de Bird” (CICCO; FANTAZZINI, 2011).

Figura 46 - Pirâmide de Frank Bird



Fonte: Autor (2015) - Adaptado de CICCO; FANTAZZINI (1994).

Os enfoques modernos sobre a teoria de falhas humana subdividem-se na concepção de erros e violações. Os erros se caracterizam pela falha na execução do plano ou ainda na sua concepção. As violações consistem no descumprimento consciente de regras e procedimentos, ou ainda, na execução de ações bizarras ou imprevisíveis que invalidam premissas importantes de projeto (CICCO e FANTAZZINI, 1994). A figura 17 exibe o detalhe do enfoque moderno perseguido nos tempos atuais.

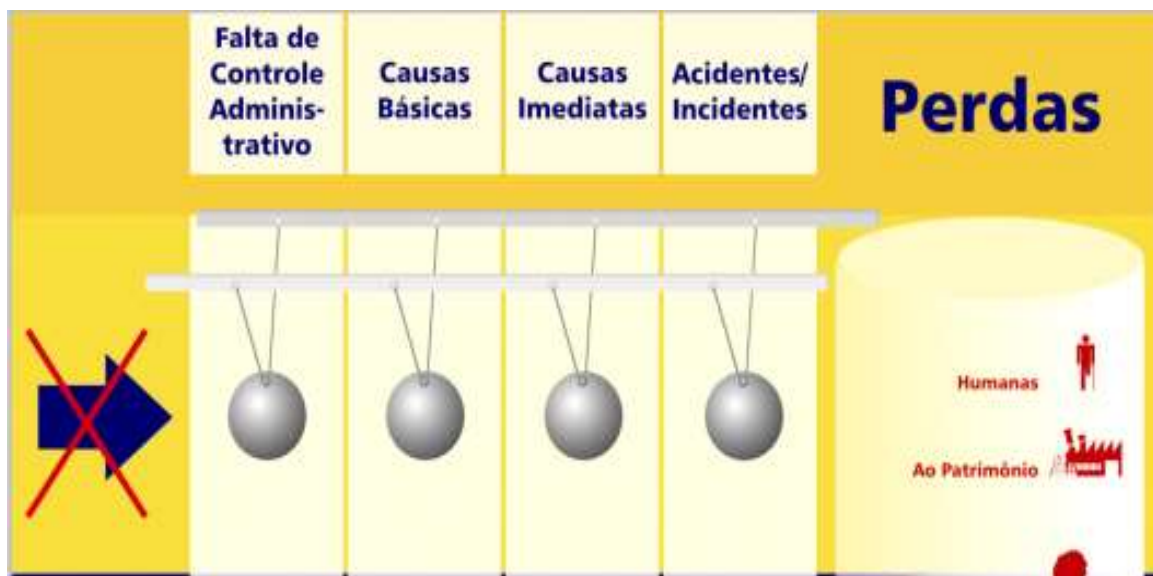
Figura 49 – Enfoque moderno do conceito de falha humana



Fonte: Autor (2016) - Adaptado de CICCO; FANTAZZINI (1994).

Outra sistemática, baseado nos estudos de Frank Bird, é aquela que consiste no modelo Causal de Perdas. As causas imediatas representam um conjunto de atos ou condições que se manifestam abaixo do padrão. As causas básicas representam os fatores que originaram (causa raiz) a condição abaixo do padrão, conforme ilustrado na figura 18.

Figura 52 - Modelo Causal de Perdas



Fonte: Autor (2015) - Adaptado de ADAMS (2009).

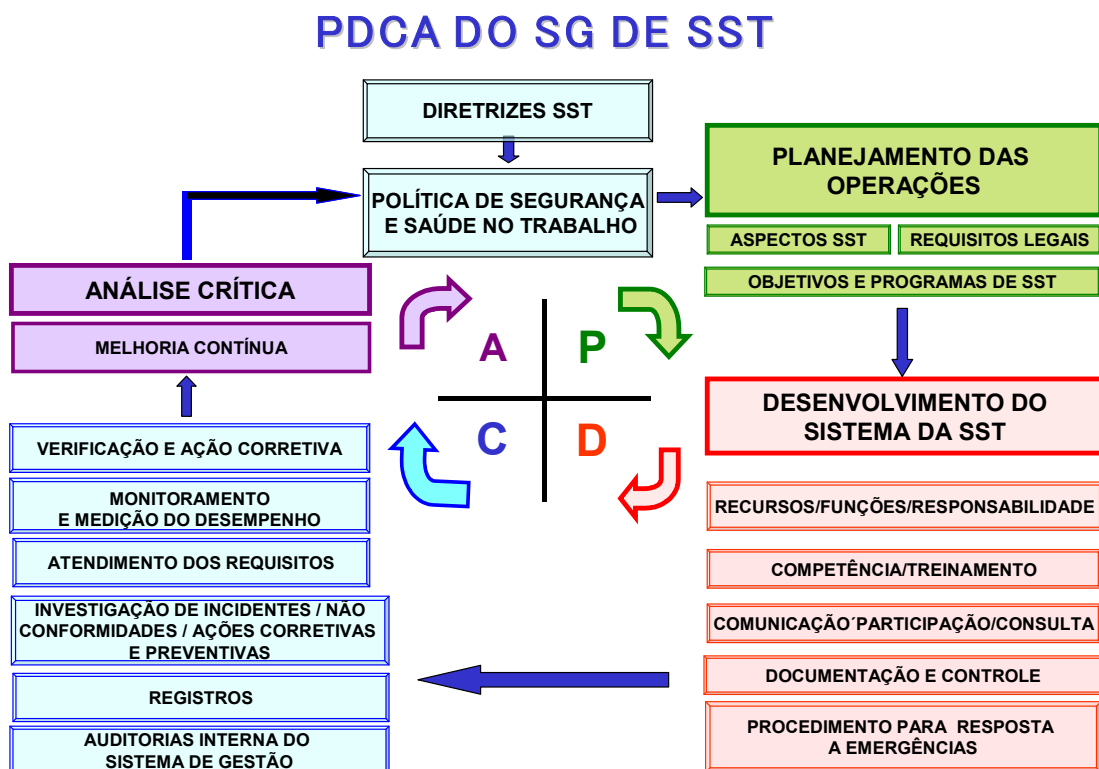
2.2.6 Sistemas de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho

Os sistemas de gestão de SST buscam estabelecer diretrizes que superem os requisitos mínimos, devidamente estabelecidos na legislação, considerando medidas preventivas adicionais no sentido de que os assuntos de SST não sejam tratados de forma isolada, conduzida apenas por especialistas, tal como um fator à parte do ato de produzir. Nesse sentido, Oliveira (2001) defende que a execução correta de uma determinada atividade traz em si o postulado da segurança desejada.

As OHSAS 18001 e 18002, respectivamente Especificação para Sistemas de Gestão da SST e Diretrizes para a sua implementação, fornecem as bases conceituais para gerenciamento da SST em todos os segmentos laborais. Elas foram desenvolvidas com a visão de integração com as normas de Sistema de Gestão ISO 9001(Qualidade) e ISO 14001 (Meio Ambiente), objetivando e consolidando os estudos atuais que representam os Sistemas de

Gestão Integrados - SGI (DIAS, 2003). A figura 19 denota o ciclo PDCA de um sistema de gestão de SST.

Figura 55 - Ciclo PDCA no contexto de um SST



Fonte: Autor (2014) - Adaptado de OLIVEIRA (2001).

2.3 PARADIGMAS E TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO

As técnicas de análise de risco fornecem um conjunto uniforme de métodos que direcionam os esforços necessários para prevenir acidentes. As causas relacionadas a acidentes possuem forte correlação com o comportamento. Cardella (2011, p.24) destaca de forma assertiva que: “o fator humano que podemos observar, registrar [...] e quantificar é o comportamento, ou seja, o conjunto de ações que o homem desempenha na interação com o mundo. E é no âmbito dessa interação que ocorrem os acidentes e são geradas as condições para ocorrência”.

Ainda de acordo com Cardella (2011), o paradigma dominante na atualidade para análise do comportamento é o cartesiano-newtoniano focado na racionalidade (método

científico como gerador de conhecimento), no mecanicismo (ênfatisa a quantificação e o controle) e no reducionismo (fragmentação, especialização).

As críticas ao paradigma cartesiano estão fundamentadas no seu caráter excessivamente racional, fragmentado e desalinhado com a concepção moderna da teoria dos sistemas.

Um sistema é um todo integrado e suas propriedades não podem ser reduzidas das propriedades das partes, pois resultam de interações. O sistema tem características próprias, inexistentes nas partes, e as relações são mais importantes que as próprias partes. A abordagem sistêmica é multidisciplinar. O modelo cartesiano-newtoniano, enfatizando excessivamente as partes e a abordagem disciplinar, promove a perda da visão sistêmica (CARDELLA, 2011, p.25).

As características intrínsecas do modelo cartesiano-newtoniano representam um entrave à observação das interações entre os componentes de um sistema que buscam analisar aspectos do comportamento humano. A visão mecanicista coloca o homem numa posição de simples engrenagem, passível de simples substituição, tal como uma máquina na qual todas as relações de causa e efeito são do tipo determinístico. Já a visão reducionista trata a segurança e a qualidade como algo externo ao sistema de atividades organizacionais, contribuindo para concepção fragmentada e conduzindo a conclusões e ações ineficazes (ADAMS, 2009).

Cardella (2011) propõe o estabelecimento de um paradigma holístico (de *holos* = totalidade) que não nega o paradigma atual (cartesiano-newtoniano) mas aperfeiçoa-o na tentativa de aumentar a probabilidade de sucesso na harmonização dos diversos fatores que afetam a segurança de indivíduos, organizações e o meio ambiente.

A segurança é uma variável de estado dos sistemas vivos, organizações, comunidades e sociedade. A segurança é abrangente, holística. Quanto maior a segurança, menor a probabilidade de ocorrência de danos ao homem, ao meio ambiente e ao patrimônio. Sua natureza multifacetada envolve fenômenos físicos, biológicos, psicológicos, culturais e sociais [...] (CARDELLA, 2011, p.26).

O núcleo conceitual do paradigma holístico é construído a partir dos seguintes elementos:

- Princípio: os fenômenos físicos, biológicos, psicológicos, culturais e sociais são inter-relacionados e interdependentes. As relações de causa-efeito não são todas determinísticas. Há relações probabilísticas e de correlação.
- Regra de atuação

- Dois enfoques complementares: o reducionista, para entender os fatores em detalhe, e o sistêmico, para entender as interações desses fatores no processo que produz o acidente.
- Estrutura de funções na qual a função segurança é integrada as demais funções vitais da organização.
- Modelo de dinâmica das organizações no qual os recursos são orientados por três elementos: sistema de gestão, cultura organizacional e liderança.
- Conjunto de conceitos básicos.
- Teoria das falhas.

Os elementos são complementados por um conjunto de instrumentos constituído por métodos e técnicas: Gestão de riscos, Gestão de Emergências, Análise e controle de Riscos, Técnicas de Análise de Riscos, Monitoramento de Segurança, Controle de Riscos nas Intervenções e Análise de Valor (CHAPMAN, 2003).

2.3.1 Técnicas de Análise de Riscos

As técnicas de análise de risco permitem o estudo detalhado de um objeto, máquina ou processo contribuindo para a identificação dos perigos e riscos associados. O método de análise consiste basicamente em dividir o objeto de interesse em segmentos menores, identificando os perigos e analisando os riscos em cada elemento tomado isoladamente (ADAMS, 2009).

Siqueira (2009) detalha que uma organização é formada por sistemas organizacionais e operacionais, compostos por pessoas e unidades organizacionais que quando falham resultam em danos e perdas para a organização, os trabalhadores ou o meio ambiente.

Ainda de acordo com Cardella (2011, p.107), “os danos e perdas decorrem de falhas nos sistemas que compõem a organização” e ainda ressalta que “se ocorrer uma demanda e falharem os sistemas de controle de emergência, então o dano ou perda ocorre”.

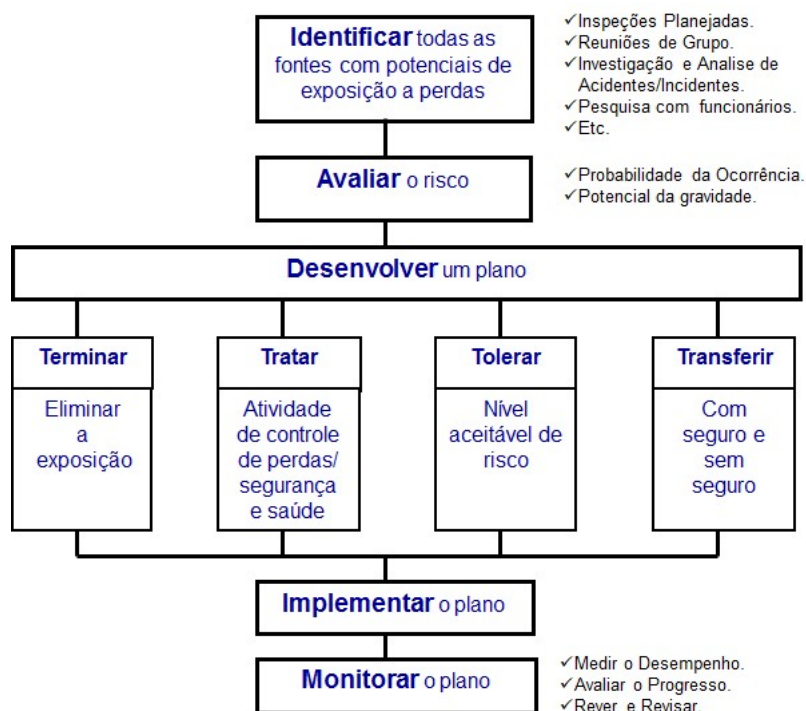
Gierczak (2014) destaca que o processo típico de gestão de riscos engloba seis processos fundamentais. A figura 20 resume o processo.

- I. O planejamento da gestão de riscos.
- II. A identificação dos riscos.
- III. Análise qualitativa dos riscos.
- IV. Análise quantitativa dos riscos.

V. Planejamento de resposta a riscos.

VI. Monitoramento e controle de riscos.

Figura 58 - Processo de Gestão de Riscos



Fonte: Autor (2015) - Adaptado de CHAPMAN (2003).

Para a adequada compreensão do cenário e levantamento otimizado dos perigos e riscos associados às atividades de perfuração, é necessário dispor de uma distinção clara entre os seguintes termos usados em projetos HDD: incerteza, risco e perigo. O termo “incerteza” está associado com a ausência de informações relevantes sobre um determinado projeto. O “risco” compreende a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado com suas respectivas consequências (perdas). O “perigo” representa a fonte de geração do dano, ou seja, a propriedade daquilo que pode vir a causar dano.

O risco associado ao evento perigoso resulta da frequência e consequência do evento. A avaliação de riscos compreende a aferição da frequência e da consequência desse evento, podendo ter natureza qualitativa, quantitativa ou semiquantitativa (CARDELLA, 2011).

Cardella (2011) destaca ainda que as análises quantitativas demandam o uso de softwares e técnicas de cálculo sofisticadas que englobam o uso de bancos de dados nem sempre disponíveis ou confiáveis. A avaliação de frequência demanda uma Análise por

Árvore de Falhas (AAF) e a avaliação de consequências requer modelos matemáticos para efetuar a simulação dos fenômenos e variáveis envolvidas.

2.3.1.1 Análise Preliminar de Riscos (APR)

A Análise Preliminar de Riscos (APR) é uma técnica focada na identificação dos eventos perigosos, suas causas e consequências para estabelecer um conjunto de medidas destinadas ao controle desses eventos. APR também é conhecida por Análise Preliminar de Perigos e é preliminar porque representa uma primeira abordagem do objeto de estudo (CICCO; FANTAZZINI, 1994).

Segundo Cardella (2011), o método da APR compreende as seguintes etapas:

- Descrever o objeto de estudo fazendo as subdivisões necessárias.
- Selecionar um evento perigoso ou indesejável.
- Identificar as causas e consequências possíveis do evento.
- Estabelecer medidas de controle do risco e de emergências.
- Repetir o processo para outros eventos perigosos.

Fleming e Garcia (1999) destacam que a APR é uma técnica qualitativa que permite a análise de cenários previamente identificados, facilitando a identificação e mapeamento das zonas de risco, num processo que favorece a adoção de medidas mitigadoras.

A análise deve ser feita para identificar os cenários de possíveis acidentes na instalação ou processo, checando os elementos primordiais que garantam a eficácia dos sistemas de segurança. O resultado da análise preliminar de riscos deve mostrar quais unidades ou procedimentos demandam exames mais detalhados, estruturando-os de forma a realçar as prioridades (FUNDACENTRO, 2002). A estrutura mínima da APR deve seguir o disposto na tabela 4.

2.3.1.2 Estudo de Identificação de Perigos e Operabilidade (HAZOP)

Cardella (2011) descreve HAZOP como uma técnica que busca detectar desvios de variáveis de processo em relação a valores padronizados normais. O foco do HAZOP consiste nos desvios das variáveis de processo. Entenda-se desvio como a diferença entre o valor de uma variável em um dado instante e seu valor normal padronizado. O HAZOP faz uso de palavras-guia para estimular os analistas da equipe a detectarem desvios no processo.

HAZOP tem aplicabilidade em processos contínuos e descontínuos e pode facilmente ser combinado com a técnica de *brainstorming* (tempestade de ideias). Essa técnica não dispensa a presença de especialistas que entendam detalhadamente do processo, dado que as consequências das variações no processo só podem ser desdobradas por quem tenha experiência com os fluxos que afetam a operabilidade do processo de produção (CICCO; FANTAZZINI, 1994).

O estudo do HAZOP deve ser feito por comitê técnico interdisciplinar, que inclua colaboradores que detenham conhecimento da instalação ou processo (FUNDACENTRO, 2002). Um modelo de HAZOP está exposta na tabela 5.

O método para implantar o HAZOP segue as fases elencadas por Cardella (2011):

- Faz uso de palavras-guia tais como: nenhum, reverso, mais, menos, componentes a mais, mudança na composição ou outra condição operacional mensurável.
- Geralmente aplicável a processos contínuos e descontínuos.
- Requer o uso de fluxogramas para os processos contínuos e procedimentos escritos de forma detalhada no caso de processos descontínuos.
- Sua aplicação demanda a formação de uma equipe multidisciplinar e o núcleo básico da equipe deve ser composto no mínimo por um líder experiente em HAZOP, um engenheiro químico ou de processos, um engenheiro de projetos e um operador de planta experiente.

Tabela 11 - Estrutura mínima de uma tabela Hazop

Objeto de análise:				Folha:
Participantes:				Data:
Variável ou Palavra-Guia	Desvio	Causas	Consequências	Medidas de controle de risco e de emergências
1.	1.	1.	1.	1.
2.	2.	2.	2.	2.
HAZOP – PALAVRAS-GUIA/DESCRIÇÃO				
PALAVRAS-GUIA	DESCRIÇÃO			
NENHUM	Ausência quantitativa			
MENOS	Decréscimo quantitativo			
MAIS	Acréscimo quantitativo			
TAMBÉM	Acréscimo qualitativo			
PARTE	Decréscimo qualitativo			
REVERSO	Oposição de direção/sentido			
OUTRO	Substituição de produto			
HAZOP – DESVIOS POR PALAVRAS-GUIA APLICADAS A PARÂMETROS DE PROCESSO				
PARÂMETRO DE PROCESSO	PALAVRA-GUIA		DESVIO	
VAZÃO	NENHUM		Nenhum Fluxo/Vazão	
	MENOS		Menos Fluxo/Vazão	
	MAIS		Mais Fluxo/Vazão	
	TAMBÉM		Aumento de concentração de determinado produto	
	PARTE		Redução de concentração de determinado produto	
	REVERSO		Fluxo em sentido oposto	
	OUTRO		Substituição do produto	
PRESSÃO	NENHUM		Ausência de pressão	
	MENOS		Menos pressão	
	MAIS		Mais pressão	
TEMPERATURA	NENHUM		Sem variação de temperatura	
	MENOS		Menos temperatura	
	MAIS		Mais temperatura	
REACÃO	NENHUM		Nenhuma reação	
	MENOS		Reação incompleta	
	MAIS		Reação fora de controle	
	REVERSO		Reação reversa	
	TAMBÉM		Reação secundária	

Fonte: Autor (2015) - Adaptado de SIQUEIRA (2009).

2.3.1.3 Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (AMFE)

A AMFE está focada na identificação dos modos de falha dos componentes ou elementos de um sistema. O objetivo é prever o quanto essas falhas podem afetar o sistema que está sendo estudado, o meio ambiente ou o próprio componente (LAFRAIA, 2011).

Trata-se de uma técnica indutiva, estruturada, que busca identificar ou antecipar as causas e efeitos de cada modo de falha de um sistema ou produto. Consiste num sistema lógico para avaliações de mudanças em projetos, processos ou materiais. Foi largamente utilizada no projeto da Apollo nos anos 60. Sua aplicação demanda conhecimentos da própria técnica, do produto ou sistema, das funções do produto, do processo de fabricação e dos requisitos do cliente (LAFRAIA, 2011).

Lafraia (2011) define ainda falha como a impossibilidade de um sistema ou componente cumprir sua função conforme especificado. Relata, ainda, que o modo de falha compreende os eventos que levam a uma diminuição parcial ou total da função a ser desempenhada pelo componente ou sistema. Um modelo da estrutura mínima é exposta na tabela 6.

Tabela 12 - Estrutura mínima de um formulário FMEA

(continua)

FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos									
Sistemas:		Participantes:		Processo/Produto:			Data:		
Item	Componente ou Processo	Funções	Modo falha	Efeito Falha	Severidade	Causas	Frequência	Meios Detecção	Ações Corretivas
AMFE – CATEGORIAS DE FREQUÊNCIA DE FALHAS									
CLASSE	DENOMINAÇÃO	FAIXA DE FREQUÊNCIA		DESCRIÇÃO					
A	EXTREMAMENTE REMOTA	$F < 10^{-4}$		Ocorrência extremamente improvável durante vida útil da instalação					
B	REMOTA	$10^{-4} < F < 10^{-3}$		Ocorrência não esperada durante vida útil da instalação					
C	IMPROVÁVEL	$10^{-3} < F < 10^{-2}$		Baixa probabilidade de ocorrência durante vida útil da instalação					
D	PROVÁVEL	$10^{-2} < F < 10^{-1}$		Ocorrência esperada de até 1 vez durante vida útil da instalação					
E	FREQUENTE	$F > 10^{-1}$		Ocorrência esperada de mais de 1 vez durante vida útil da instalação					

AMFE – CATEGORIAS DE SEVERIDADE DE OCORRÊNCIAS		
CLASSE	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
I	SEGURA	Nenhum efeito sobre o sistema
II	LIMÍTROFE	Baixa perda de produção ou de qualidade do produto Baixa ameaça ao sistema / pessoal operacional / meio ambiente Não é necessário o desligamento do sistema
III	CRITICA	Alta perda de produção ou de qualidade do produto Ameaça significativa ao sistema /pessoal operacional /população / meio ambiente É necessário o desligamento ordenado do sistema
IV	CATASTRÓFICA	Alta perda de produção ou de qualidade do produto por longo período de tempo Ameaça severa ao sistema /pessoal operacional /população / meio ambiente, inclusive com risco de perda total do sistema e/ou morte e lesões graves ao pessoal operacional / população É necessário o desligamento de emergência do sistema

Fonte: Autor (2015) - Adaptado de SIQUEIRA (2009).

2.3.1.4 Técnica E se? (*What If*)

Consiste na detecção de perigos através da realização de um questionamento aberto promovido pela pergunta: E se...? Sua aplicabilidade se estende para análise de um sistema, processo, equipamento ou evento. O foco está em trazer à tona “tudo que possa sair errado”, através de um questionamento livre ou sistemático. A aplicação demanda a visão de vários especialistas e consolida-se pela realização de uma reunião com perguntas específicas direcionadas a cada participante (CARDELLA, 2011).

A aplicação dessa técnica pode ser combinada com o *brainstorming* e as listas de verificação. O objetivo é captar as ideias de forma livre, estimulando os participantes a dizer o que vier à cabeça, de forma repetitiva, até atingir um ponto de convergência que permita detectar os riscos associados às atividades, operações ou sistemas (LAFRAIA, 2011), conforme exposto na tabela 7.

Tabela 13 - Estrutura mínima de um formulário E se...? (*What If*)

E se...?		
Identificação de Perigos		
Objeto de análise:	Participantes:	Data:
E se...?	Perigo/Consequências	Medidas de controle de risco e de Emergências
1.	1.	1.
2.	2.	2.

Fonte: Autor (2015) - Adaptado de ADAMS (2009).

2.3.1.5 Lista de Verificação (LV) ou Checklist

A Lista de Verificação (checklist) foca no objeto de estudo aferindo sua conformidade com base em atributos ou padrões pré-estabelecidos. A LV pode ser aplicada por área, instalação, sistema, processo ou equipamento. A LV está voltada para os desvios em relação aos padrões da lista, composta por testes e respostas-padrão. Sua eficácia está relacionada com a aplicação em trabalhos repetitivos e com riscos conhecidos (CARDELLA, 2011). Um exemplo de LV será exposto na tabela 8.

Tabela 14 - Exemplo de uma lista de verificação de um automóvel

Lista de Verificação / Checklist			
Item	Descrição/ Atributos	Verificado? S/N	Observação
1	Estado dos Pneus		
2	Pressão dos Pneus		
3	Pressão do Estepe		
4	Nível do óleo do motor		
5	Nível do tanque de combustível		
6	Estado dos amortecedores		

Fonte: Autor (2015) - Adaptado de SIQUEIRA (2009).

2.3.1.6 Análise por Árvore de Falhas (AAF)/Análise por Árvore de Eventos (AAE)

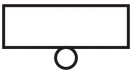
Técnica de identificação de perigos e riscos com metodologia dedutiva *top-down* (de cima para baixo) que objetiva identificar a partir de um evento indesejável (falha), denominado evento topo, as possíveis combinações e condições que poderiam causar a ocorrência desse evento. Pode ser utilizada de forma qualitativa ou quantitativa. O foco da técnica são os sistemas, com análise do evento topo e as sequências de eventos que o produzem (CICCO; FANTAZZINI, 1994). A Análise por Árvore de Eventos (AAE) tem metodologia equivalente à AAF, com o diferencial que a *bottom-up* (de baixo para cima), mostrando os possíveis resultados de um evento, avaliando os impactos dele decorrentes (LAFRAIA, 2011). As metodologias estão expostas nas figuras 21 e 22.

Figura 61 – Simbologia das Comportas AAF (Análise por Árvore de Falhas)

Símbolo	Nome	Relação Causal
	E (AND)	O evento de saída ocorre se os de entrada (todos) ocorrerem.
	OU (OR)	O evento de saída ocorre se algum dos eventos de entrada ocorrer.
	INIBIÇÃO	A entrada produz a saída quando ocorre o evento condicional (ver símbolos de eventos).

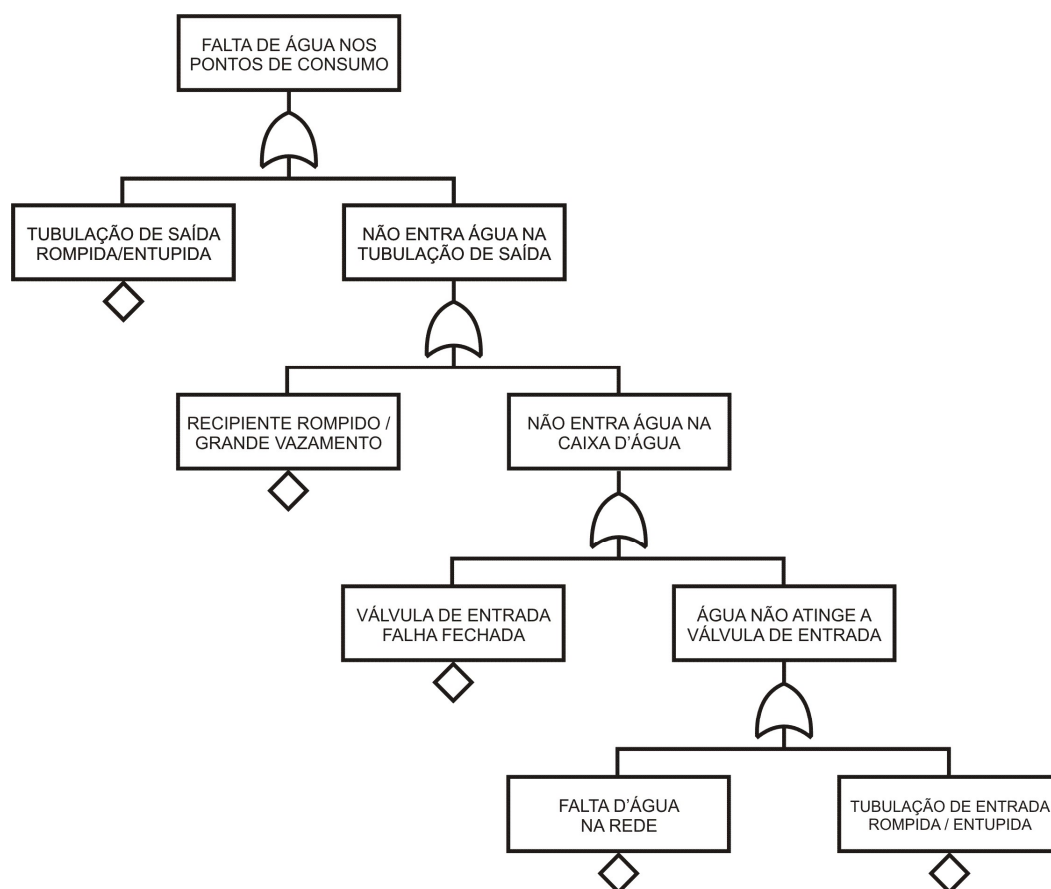
Fonte: Autor (2015) - Adaptado de LAFRAIA (2011).

Figura 64 – Simbologia dos Eventos AAE (Análise por Árvore de Eventos)

Símbolo	Descrição
	Evento interligado por uma comporta. Há outros eventos de entrada responsáveis pela sua ocorrência.
	Evento básico com dados de probabilidade e informações completas a respeito de sua caracterização ou falha primária de componente.
	Evento não desenvolvido devido à falta de informação ou falha secundária de componente.
	Evento condicional (indica condições / restrições): - com uma comporta “E”, a restrição deve ser satisfeita antes que o evento possa ocorrer; - com uma comporta “OU”, a restrição pode ser que o evento não ocorrerá na presença de ambos ou todos os eventos de entrada simultaneamente; - com uma comporta de inibição, a restrição é variável.
	Evento que ocorre sempre, a menos que se provoque uma falha.
	Símbolos de transferência.

Fonte: Autor (2015) - Adaptado de LAFRAIA (2011).

Figura 67 - Exemplo de uma árvore de falha para um evento de falta de água



Fonte: Autor (2015) - Adaptado de SIQUEIRA (2009).

2.3.1.7 Inspeção Planejada (IP)

Essa técnica consiste na observação de um objeto com a finalidade de detectar desvios em relação aos padrões. O foco da técnica pode ser um sistema, atividade, instalação, componente, ambiente de trabalho, material ou comportamento. Os objetivos da técnica são os desvios, sendo que as falhas de padrão detectadas são utilizadas para estabelecer medidas de controle de riscos. A técnica pode ser aplicada por observação direta ou indireta do objeto de interesse, ou ainda, por intermédio de medidas de observação de um objeto secundário para inferir sobre o primário (ADAMS, 2009).

Chapman (2003) define ainda que a inspeção tem uma classificação em função da interferência que provoca no objeto, podendo se subdividir em observação, experimentação ou teste. A observação não emite estímulos, enquanto que na experimentação é aplicado um

estímulo e verifica-se a resposta ou reação do objeto. Quando se fala de pessoas, é impossível inspecionar sem estimular.

A técnica de inspeção planejada depende de três elementos básicos: padrão de referência, habilidade em detectar desvios e técnica de observação. O padrão refere-se a uma medida de comparação e pode ser quantificável com precisão quantificável. Outros padrões dependem de uma aferição qualitativa. A habilidade em detectar os desvios pode ser aprimorada por treinamento. Segundo Cardella (2011), “A inspeção do ambiente de trabalho requer técnicas que identifiquem agentes, condições e comportamentos que tenham perigos associados, sendo que a inspeção pode ser feita por uma única pessoa, mas equipes multidisciplinares compostas por pessoas de formação distintas observam o ambiente de trabalho sob diversos pontos de vista”.

2.4 LÓGICA FUZZY

A evolução tecnológica busca aprimorar a capacidade das máquinas em resolver problemas complexos, seguindo uma sistemática de raciocínio que se aproxime do intelecto humano, capaz de resolver problemas complexos baseando-se em informações imprecisas ou aproximadas.

Zadeh (1965) relata que os sistemas *fuzzy* foram concebidos para expressar em termos matemáticos a informação imprecisa proveniente de regras expressas na linguagem natural ou linguística. A capacidade de representação do raciocínio humano através de regras SENTENÇA (*if-then*), converge para a construção de um algoritmo implementável em linguagem computacional.

Significados vagos como “*provável*” ou “*baixo*”, utilizados de forma habitual para classificação de cenários, podem ser facilmente implementados através da teoria dos conjuntos *fuzzy*, pressupondo-se, neste caso, a captação do conhecimento e da experiência de especialistas dentro dos modelos de análise e controle, fornecendo os elementos básicos para a implementação matemática de modelos que possam lidar com informações imprecisas.

A lógica *fuzzy* distingue-se da lógica tradicional (binária) por incorporar a capacidade de lidar com informações difusas. O termo *fuzzy* refere-se a algo nebuloso, impreciso, inexato. Seguindo essa lógica, surge a capacidade de lidar com proposições que não são unicamente “verdadeiras” ou “falsas”, viabilizando o uso de valores intermediários compreendidos numa escala de pertinência de 0 a 1, sendo 0 (absolutamente falso) e 1 (absolutamente verdadeiro).

2.4.1 Teoria de Conjuntos *Fuzzy*

O mentor da teoria dos conjuntos *fuzzy* foi Lofti Zadeh na década de 1960 com a finalidade de tratar matematicamente informações imprecisas. Essa teoria *fuzzy* representa um caso geral da teoria clássica, definida por uma **função característica**:

$X: U \rightarrow \{0,1\}$, denotando que um dado elemento pertence (1) ou não pertencente (0) ao conjunto U .

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

O conjunto *fuzzy* por sua vez, possui uma **função de pertinência**:

$\mu : U \rightarrow [0,1]$, denotando o grau que um dado elemento possui relação de pertinência (0 a 100%) em relação ao conjunto universo U (JANG, 1993).

$$\begin{aligned} \mu_A : U &\rightarrow [0,1] \\ x &\mapsto \mu_A(x) \end{aligned} \quad (2)$$

Os **conjuntos *fuzzy* contínuos** tendo elementos definidos no universo de discurso U . No caso contínuo, o conjunto *fuzzy* A é representado por:

$$A = \int_U \mu_A(x_i) / x_i \quad (3)$$

onde o sinal da integral se refere à união de conjuntos unitários fuzzy.

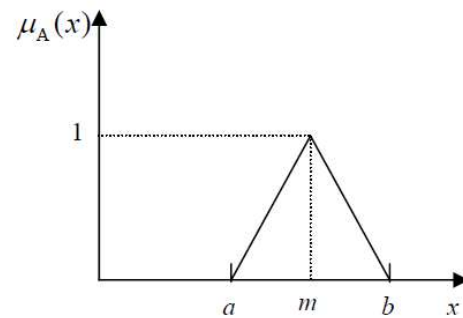
As **funções de pertinência** ou **Membership Functions** (MFs) mais comuns são: linear por partes (triangular, trapezoidal), gaussiana, sigmóide e *singleton* (conjuntos unitários). De acordo com Jang, Sun e Mizutani (1997), a função de pertinência *fuzzy* mapeia cada elemento do conjunto com um grau de pertinência entre 0 e 1. Ressaltam, ainda, que as especificações das funções de pertinência possuem caráter subjetivo e sujeito a escolhas pessoais. A escolha de funções triangulares e trapezoidais é mais comum, considerando que a concepção de definir regiões de pertinências total, média e nula segue um padrão mais intuitivo do que a

especificação do valor médio e de dispersão, características de maior afinidade com as funções gaussianas. Ainda de acordo com os autores, as principais funções de pertinência são:

A **Função Triangular**: Parâmetros (a, m, b) , com $a \leq m \leq b$. Sendo que a, b, m e x pertencem ao conjunto universo de discurso U .

Gráfico 4 - Função de Pertinência Triangular

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{ se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & ; \text{ se } x \in [a, m] \\ \frac{b-x}{b-m} & ; \text{ se } x \in [m, b] \\ 0 & ; \text{ se } x \geq b \end{cases}$$

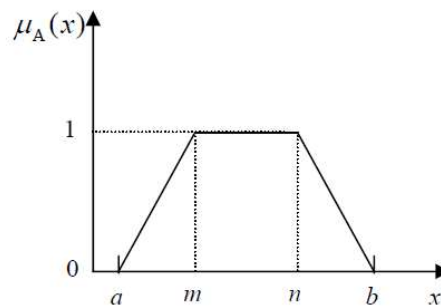


Fonte: BENINI; MESSIAS JÚNIOR (2008).

A **Função Trapezoidal**: Parâmetros (a, m, n, b) , com $a \leq m$, $n \leq b$ e $m \leq n$. Sendo que a, b, m, n e x pertencem ao conjunto universo de discurso U .

Gráfico 5 - Função de Pertinência Trapezoidal

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{ se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a} & ; \text{ se } x \in [a, m] \\ 1 & ; \text{ se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n} & ; \text{ se } x \in [n, b] \\ 0 & ; \text{ se } x > b \end{cases}$$

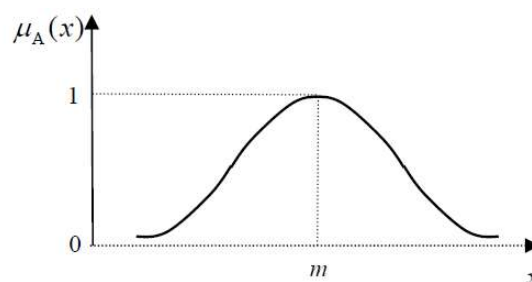


Fonte: BENINI; MESSIAS JÚNIOR (2008).

As **Funções de Pertinência Gaussiana e Sigmóide**, assim como a **Função Singleton** são representadas nos gráficos 3, 4 e 5.

Gráfico 6 - Função de Pertinência Gaussiana

$$\mu_A(x) = e^{-k(x-m)^2} ; (k > 1)$$

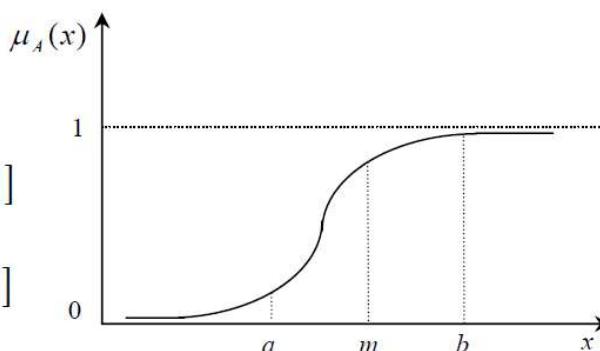


Fonte: BENINI; JÚNIOR (2008).

Gráfico 7 - Função de Pertinência Sigmóide

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{ se } x \leq a \\ 2 \cdot \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2 & ; \text{ se } x \in [a, m] \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2 & ; \text{ se } x \in [m, b] \\ 1 & ; \text{ se } x \geq b \end{cases}$$

onde $m = \frac{a+b}{2}$

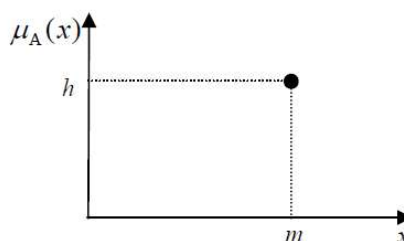


Fonte: BENINI; MESSIAS JÚNIOR (2008).

Conjunto Unitário (Função *Singleton*): Parâmetros (m, h)

Gráfico 8 - Função Singleton

$$\mu_A(x) = \begin{cases} h, & \text{se } x = m \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

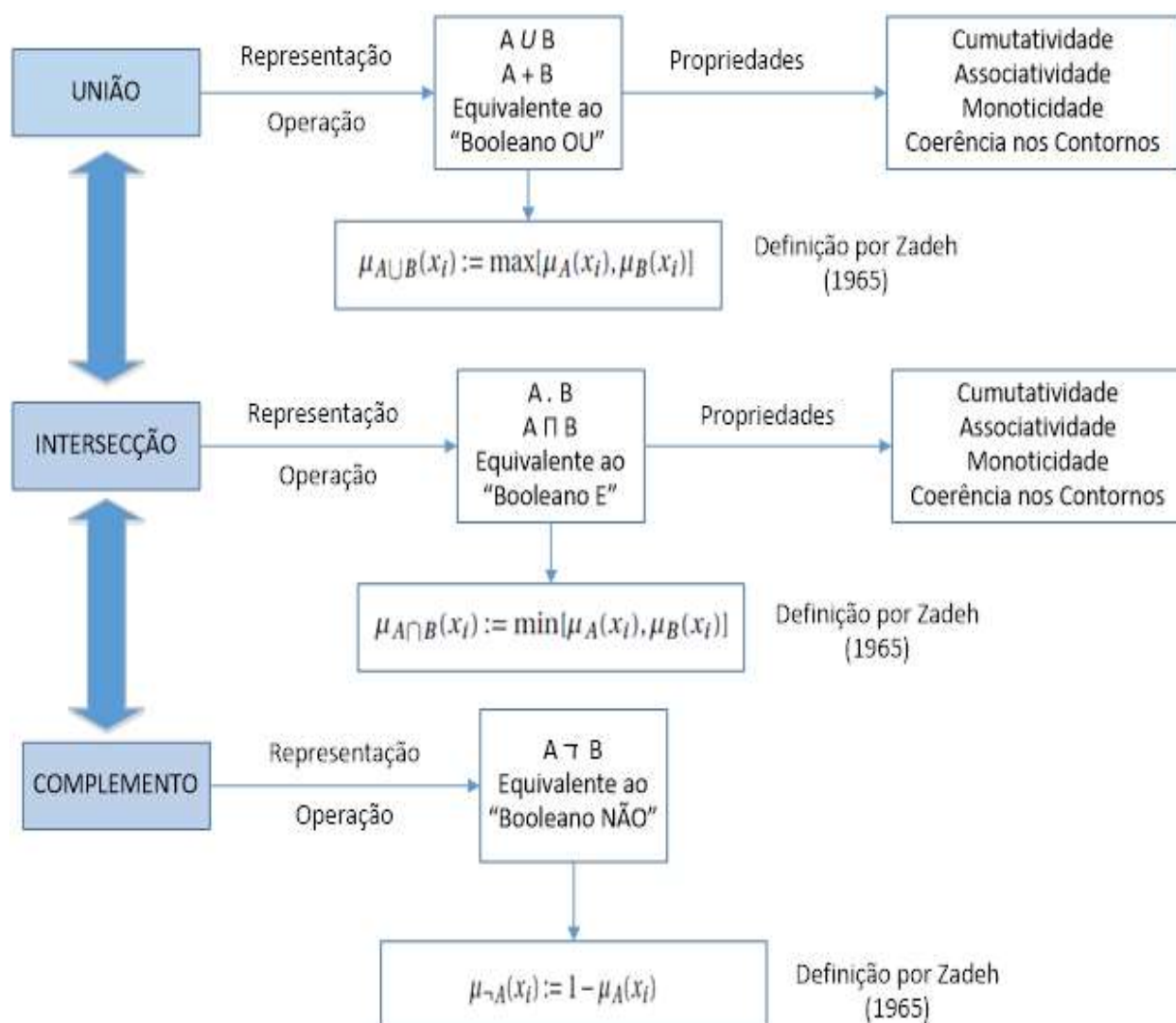


Fonte: BENINI; MESSIAS JÚNIOR (2008).

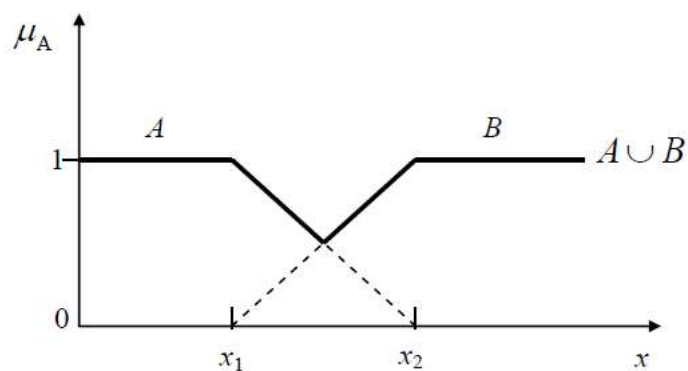
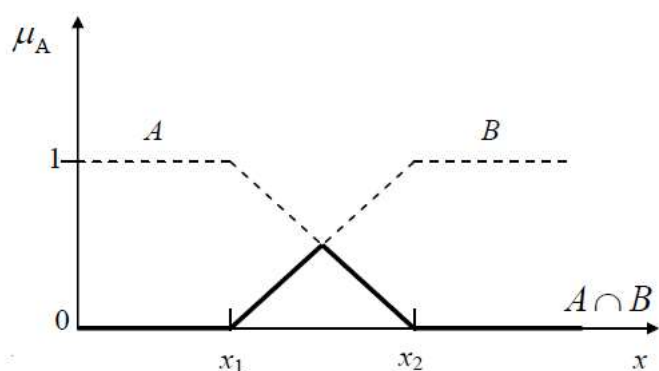
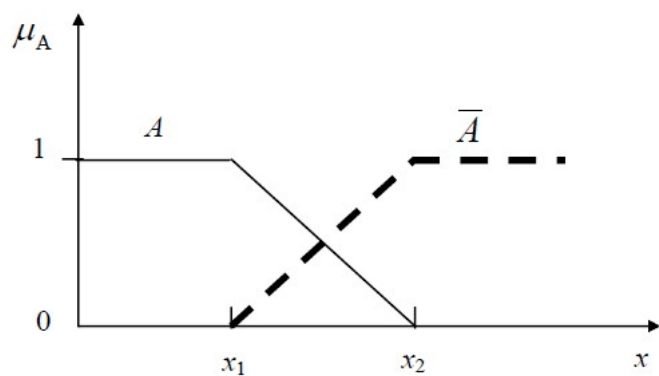
2.4.2 Operações Básicas com Conjuntos *Fuzzy*

As operações dos conjuntos *fuzzy* compreendem o processamento de operações básicas, tais como: complemento, união e intersecção, definidas por Zadeh (1965). As operações e seus diagramas podem ser vistos na figura 24 e no Gráfico 6.

Figura 69 - Operações Básicas dos Conjuntos *Fuzzy*



Fonte: Autor (2016).

Gráfico 12 - Diagramas das Operações Básicas *Fuzzy***União****Intersecção****Complemento**

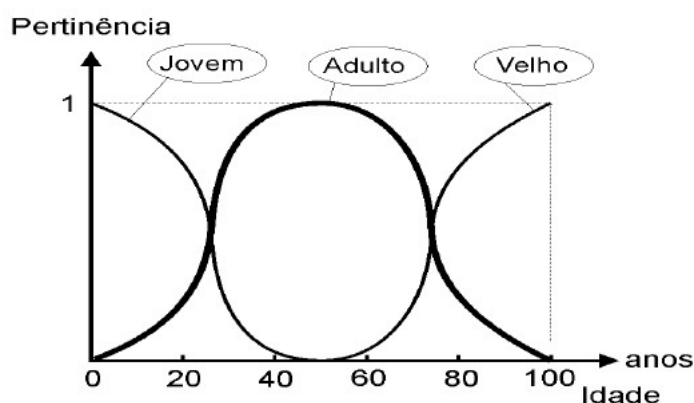
Fonte: BENINI; MESSIAS JÚNIOR (2008).

2.4.3 Variáveis Linguísticas

De acordo com Cox (1994), as variáveis linguísticas viabilizam a descrição de informações qualitativas, uma vez que, as variáveis assumem valores como palavras ou frases, ao invés de números. A variável linguística consiste numa variável cujo domínio, ou valores, são termos relacionados com um certo contexto.

Os valores (Jovem, Adulto, Velho) correspondem a nomes de conjuntos *fuzzy*, denominados termos linguísticos, devidamente associados a um universo de discurso denominado Idade (MORE, 2004). De forma exemplificativa, a variável fuzzy “Idade”, tem seus valores classificados pelos conjuntos *fuzzy*, conforme demonstrado na figura 25.

Figura 73 - Exemplo de variável linguística Idade



Fonte: MORE (2004).

2.4.4 Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) ou Fuzzy Inference System (FIS)

O Sistema de Inferência Fuzzy é composto por cinco blocos funcionais que permitem que sejam elaborados um conjunto de regras *fuzzy* através de proposições (SE-ENTÃO), baseadas nas variáveis linguísticas no intuito de viabilizar um processo de tomada de decisão (JANG, 1993).

Segundo Benini e Messias Júnior (2008), as regras *fuzzy* descrevem condições específicas que, submetidas à análise de especialistas, conduzem a um objetivo desejado. Cada regra *fuzzy* é composta por uma parte antecedente ou premissa, partícula “se”, e uma parte

consequente ou conclusão, partícula “então”, resultando numa estrutura denominada proposição *fuzzy* simples, do tipo:

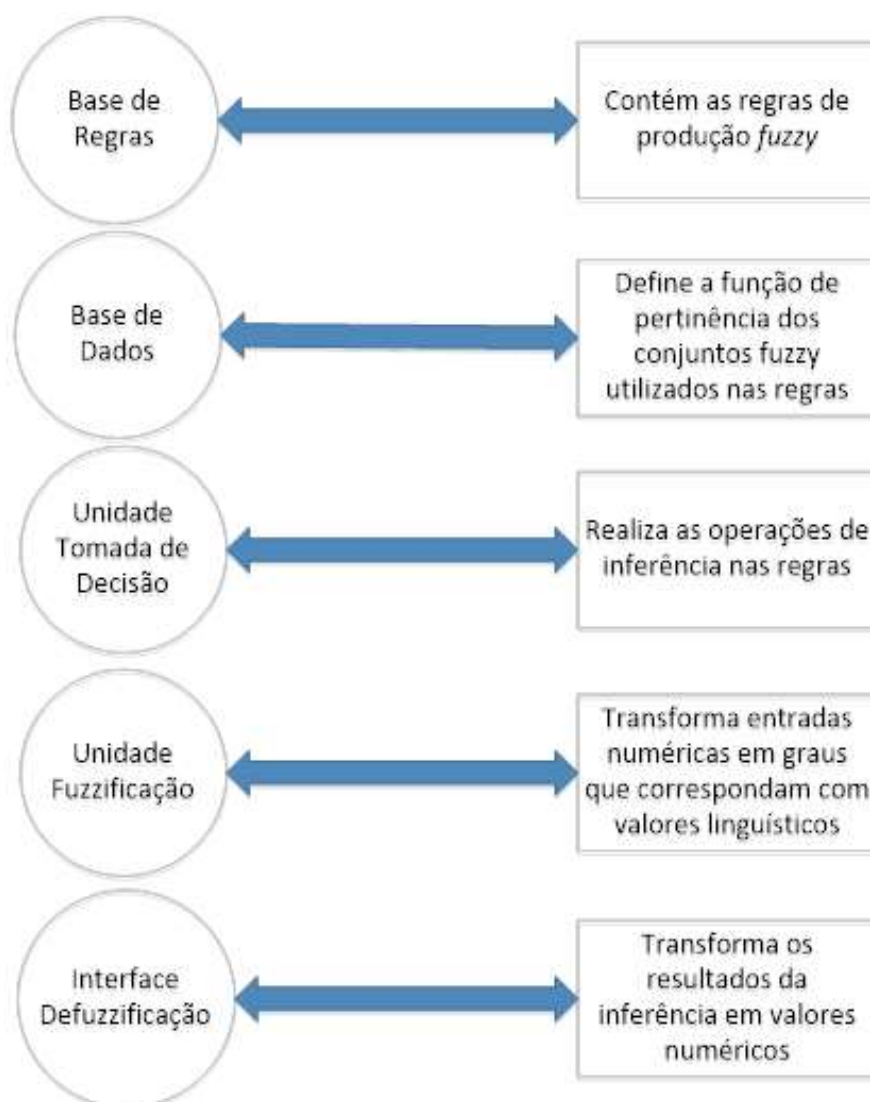
Se < proposição fuzzy antecedente > **Então** < proposição *fuzzy* consequente >

Se “ x é A ” Então “ y é B ”

sendo a proposição “ x é A ” o antecedente e a proposição “ y é B ” o consequente da regra *fuzzy*.

Os blocos funcionais podem ser explicados conforme a figura 26.

Figura 76 - Blocos funcionais do SIF (Sistema de Inferência *Fuzzy*)



Fonte: Autor (2015).

Sistemas *fuzzy* podem ser estáticos ou estáticos adaptativos. Enquanto os sistemas unicamente estáticos efetuam um processamento direto das informações, sem realimentação, os estáticos adaptativos incorporam um algoritmo de aprendizado que ajusta os parâmetros das bases de regras ou do sistema de inferência por intermédio de um método de otimização. Os sistemas *fuzzy* recorrentes possuem a capacidade de representar um comportamento dinâmico (JANG, 1993).

O processamento do conhecimento em sistemas *fuzzy* manifesta-se a partir da definição de algumas propriedades que atuam na formação das regras de produção. A definição dessas propriedades é denominada modelo de inferência. Os dois principais modelos de inferência serão apresentados a seguir.

2.4.4.1 Modelos de Inferência *Fuzzy*

Os dois principais modelos de inferência expressos na literatura são: Mamdani (1974) e Takagi-Sugeno-Kang (1985).

No Modelo de Mamdani (1974), as regras de produção possuem relações *fuzzy* nos antecedentes e consequentes. Neste modelo, as variáveis de entrada são transformadas em um conjunto *fuzzy* (*fuzzyficação*), em seguida, os conjuntos *fuzzy* gerados na saída são transformados em grandezas numéricas proporcionais (*defuzzyficação*). A equação abaixo ilustra esse cenário.

- x_i são as entradas do sistema;
- y_i são as saídas do sistema;
- A_i e B_i são os conjuntos *fuzzy*.

$$\text{se } x_1 = A_i \text{ e } x_2 = A_j \text{ então } y_1 = B_i \text{ e } y_2 = B_j$$

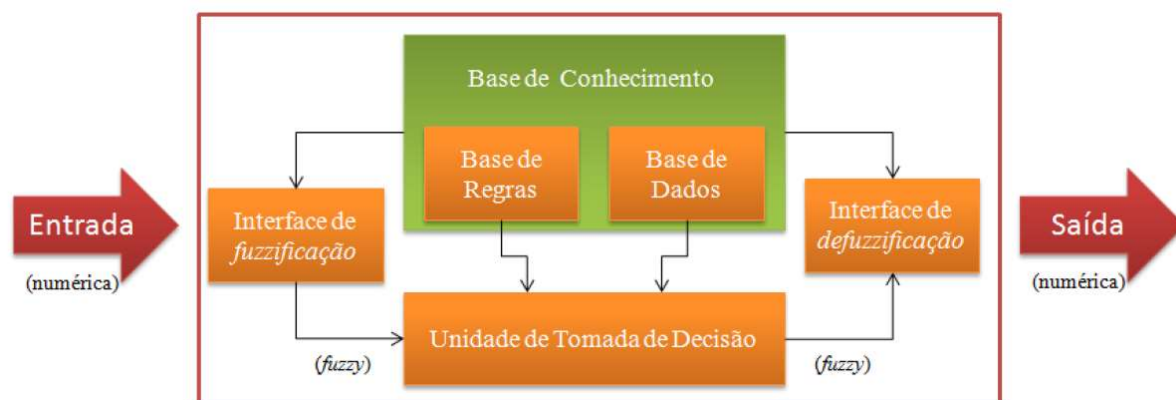
O modelo de Takagi-Sugeno-Kang (1985) é similar ao de Mamdani, pois utiliza também uma base de regras condicionais de inferência, contudo, os consequentes das regras são formados por equações paramétricas que relacionam as entradas e as saídas do processo. O processo de fuzzificação é similar ao modelo de Mamdani, e a saída numérica é calculada pela soma das saídas regras, ponderadas pelos seus respectivos valores de ativação. E a equação abaixo ilustra esse cenário.

ϕ é uma função pré-definida (normalmente representa uma combinação linear), y é a saída do sistema e x_1, x_2, A_i e A_j são como definidos anteriormente.

$$\text{se } x_1 = A_i \text{ e } x_2 = A_j \text{ então } y = \phi(x_1, x_2)$$

A figura 27 ilustra as etapas do Sistema de Inferência *Fuzzy*.

Figura 79 - Sistema de Inferência *Fuzzy*.



Fonte: Autor (2014) – Adaptado de JACINTHO (2010).

2.4.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Pesquisas relevantes na área de gerenciamento de risco em projetos de perfuração direcional horizontal, com uso de ferramentas qualitativas e lógica *fuzzy*, são apresentadas nesta seção.

As pesquisas mais recentes na gestão de riscos em projetos de perfuração direcional estão agrupadas nas fontes descritas abaixo.

Ma *et al.* (2010) pontua que o processo de análise de riscos para um projeto HDD inclui os seguintes passos:

- Descrição específica das características do projeto de perfuração direcional.
- Identificação e classificação dos riscos, baseando-se em entrevistas com especialistas.
- Desenvolver um índice de avaliação de risco adequado.
- Convocar peritos no assunto para analisar a relevância de cada índice de risco.
- Verificar a consistência do sistema de índice.
- Combinar o valor de cada nível de risco com o risco global do sistema.

- Tomar decisões embasadas nos resultados obtidos nos passos anteriores.

Gierczak (2014) destaca alguns fatores de risco relevantes em HDD obtidos a partir dos resultados da análise de peritos durante a ocorrência de falhas na execução de projetos que utilizam a tecnologia HDD. Essa análise aponta que os principais fatores que contribuem para o fracasso de projetos dessa natureza são decorrentes de problemas ocorridos nas seguintes situações ou componentes:

- Instalação da tubulação.
- Falhas na sonda de perfuração.
- Deficiência nos componentes da tubulação de perfuração.

Dentre as principais falhas que influenciam nos projetos de HDD, Gierczak (2014) destaca os seguintes fatores:

- Cálculos indevidos de cargas e tensões que excedem a capacidade da tubulação do produto durante a instalação.
- Não levar em consideração o raio de curvatura máximo permissível dos tubos de perfuração ou da tubulação a ser instalada.
- Escolha inadequada do revestimento externo da tubulação.
- Perda de comunicação com a sonda de perfuração.
- Falha do tubo de perfuração em decorrência da fadiga do material.
- Quebra da broca do equipamento de perfuração.
- Quebra do motor de lubrificação.
- Falha na limpeza do sistema de lubrificação.
- Falha nos blocos de rotação.
- Tempo de inatividade da instalação.
- Presença de obstáculos naturais inesperados no subsolo.
- Presença de interferências subsuperficiais construídas por terceiros.
- O bloqueio da instalação do tubo de perfuração ou tubo do produto devido ao inchaço de argila.
- Infiltração do fluido de perfuração.
- Operador sem a qualificação necessária.
- Fadiga dos trabalhadores.
- Ausência de supervisão adequada.

- Falha nas conexões/soldagem dos tubos.
- Dano as tubulações devido ao excesso de cargas presentes na instalação.
- Não testar a água para a preparação dos fluidos de perfuração.
- Baixa qualidade dos materiais (tubos e bentonita).
- Problemas com as permissões de construção.
- Excesso de ruído na operação do sistema.
- Condições meteorológicas severas.

Esses fatores representam os principais problemas que limitam ou restringem o sucesso na instalação de tubulações por intermédio da tecnologia HDD. De posse dessas variáveis, o projetista da instalação deve montar um planejamento que viabilize o diagnóstico, a prevenção e o monitoramento dos riscos para aumentar a taxa de sucesso do projeto.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo dedica-se a apresentar os procedimentos metodológicos que foram adotados na pesquisa. Questões referentes à classificação, procedimentos de coleta, análise de dados e as etapas da pesquisa serão objeto de explanação nesta seção.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa segue um rigor metodológico que é traço característico da ciência, e seu objetivo principal é solucionar problemas através do emprego de procedimentos científicos. Habitualmente, a pesquisa segue critérios objetivos de classificação que se subdividem em: natureza da pesquisa, tipo de abordagem do problema a ser resolvido, objetivos e procedimentos técnicos (GIL, 1999).

Quanto à abordagem, a pesquisa pode ser qualitativa ou quantitativa. A diferença entre as abordagens não segue uma estrutura rígida, uma vez que existe uma zona de intersecção entre as metodologias que torna o esforço de separação uma tarefa difícil (CAUCHICK MIGUEL, 2012). Este trabalho irá contemplar abordagem qualitativa, decorrente da aplicação do estudo de caso, e quantitativa, ao propor a modelagem de um sistema de inferência para tomada de decisão.

Em relação a sua natureza, esta pesquisa é básica, considerando que busca compreender novos fenômenos e seus fundamentos. Em relação aos objetivos, a pesquisa possui caráter descritivo, sendo enquadrada como estudo de caso (CERVO *et al.*, 2007), uma vez que visa uma investigação sobre um conjunto de variáveis (levantamento de dados) que influenciam direta ou indiretamente na avaliação dos riscos inerentes às atividades de construção e montagem de tubulações pelo método de perfuração direcional horizontal.

Conforme Appolinário (2009), a pesquisa desenvolvida também pode ser compreendida como aplicada, uma vez que pretende obter informações acerca dos riscos associados a um determinado processo de produção, possibilitando após a compilação dos resultados replicar um conjunto de práticas e medidas preventivas conjugadas, com vistas a proteção dos trabalhadores, do meio ambiente antrópico e da sociedade durante a consecução das atividades de perfuração direcional horizontal.

Ainda de acordo com Cauchick Miguel (2012), o estudo de caso compreende a realização de um trabalho de observação da realidade (natureza empírica) que objetiva

investigar um determinado fenômeno num contexto real através da análise minuciosa de um ou vários objetos (casos). Essa investigação permite um aprofundamento do conhecimento acerca do fenômeno estudado, podendo inclusive, gerar novas teorias.

Quanto aos procedimentos técnicos adotados, a pesquisa pode ser classificada como bibliográfica, documental e de levantamento. A pesquisa bibliográfica ou básica fornece os elementos de apoio para o desenvolvimento e aplicação das ideias e a formulação do instrumento de pesquisa a ser aplicado (questionário). Para tanto, foram levantados artigos em periódicos indexados através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Google Acadêmico, Scielo (*Scientific Electronic Library Online*), da Science Direct, Web of Science e livros focados nas temáticas mencionadas, seguindo a noção essencial da pesquisa bibliográfica de levantar dados ou categorias teóricas já trabalhadas por outros autores (CAUCHICK MIGUEL, 2012).

As palavras-chave adotadas foram: Avaliação de Risco, Tecnologia HDD, Perfuração Direcional, Lógica *Fuzzy* e Análise de Riscos. A sistemática da pesquisa guiou-se pela combinação associativa de uma ou mais palavras-chave para obter a melhor relação de aderência entre os termos de pesquisa e os resultados alcançados durante a pesquisa nos portais de periódicos nacionais e internacionais. A premissa é a de que as buscas englobem palavras-chave que melhor identifiquem o assunto objeto de estudo (CAUCHICK MIGUEL, 2012).

Nesse sentido, pode-se definir o problema de pesquisa através da seguinte pergunta: Como os construtores podem implementar uma ferramenta ou roteiro para gestão dos riscos de segurança que permita uma avaliação desses riscos no âmbito das atividades de construção e montagem de tubulações utilizando a perfuração direcional horizontal?

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA PESQUISADA

A pesquisa foi desenvolvida numa Empresa do ramo Industrial de Construção, Fabricação e Montagem de Dutos, Tubulações e Estruturas Metálicas no Estado de Alagoas. A escolha se mostrou pertinente pela facilidade de acesso do pesquisador às fontes de dados e informações que agregam resultados históricos da implantação desses projetos pelo método de perfuração direcional horizontal (Método Não Destrutivo).

A empresa possui capital fechado e sua natureza jurídica é representada por uma sociedade empresarial por quotas de responsabilidade limitada. Possui alta rotatividade de

mão-de-obra, elemento característico das empresas privadas do ramo de construção, que atuam por obra certa ou regime de empreitada, e são intrinsecamente afetadas pelas oscilações da economia em âmbito local (nacional) e global. O número médio de colaboradores é de aproximadamente 140 empregados, que atuam em contratos por obra certa, com vários clientes, distribuídos ao longo do Estado de Alagoas.

O especialista em gestão de projetos é um engenheiro civil, com especialização em métodos de perfuração direcional e experiência de mais de 10 anos na área de interesse desta pesquisa. Esse profissional lidera as equipes envolvidas com as atividades de perfuração direcional para construção de dutos ou lançamento de redes de utilidades, sendo que cada equipe é composta no mínimo por 1 navegador, 1 operador da perfuratriz e 1 ajudante. O supervisor de perfuração monitora o trabalho de 1 ou mais equipes.

A empresa possui certificação em normas internacionais de gestão. O SGI (sistema de gestão integrada) é responsável por um arquivo com o histórico dos projetos realizados ou em execução. Os dados incluem planta-baixa, planos de furo, levantamentos topográficos, medições, cronogramas, relatórios diários de obra (RDO's) e informações sobre acidentes ocorridos durante a execução desses projetos. Os dados de SMS (segurança, meio ambiente e saúde) incluem registros de dano patrimonial, a terceiros ou as pessoas e são objeto de análise do especialista durante a concepção e planejamento de novos empreendimentos.

A empresa executa predominantemente projetos de construção de dutos pelo método não destrutivo (perfuração direcional horizontal), contudo, acumula também em seu rol de projetos experiência com a construção de tubulações pelo método destrutivo (vala a céu aberto).

Os projetos executados pelo método não destrutivo foram realizados em sua maioria em áreas urbanas, densamente povoadas, com presença constante de incertezas a respeito dos obstáculos existentes no subsolo.

3.3 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR, ANÁLISE E COLETA DE DADOS

Um diagnóstico preliminar foi aplicado para avaliar o grau de conformidade da organização em relação aos requisitos de segurança e gestão de riscos em projetos de perfuração direcional. O objetivo do diagnóstico é fornecer ao pesquisador um panorama das técnicas de análise de riscos empregadas na organização, especialmente as de caráter qualitativo, os modelos prevencionistas existentes e avaliar o patamar de segurança que é

empregado na organização na gestão dos riscos relacionados à atividade de perfuração direcional horizontal. Para a efetivação desta etapa, foi solicitado ao representante do SGI da organização que preenchesse o formulário com as informações dispostas na figura 28.

Figura 82 – Formulário de Diagnóstico Preliminar

Descrição	Sim/Não	Caso afirmativo, informar qual o tipo ou quantidade
Houve registro de acidente nos últimos 12 meses?		
A empresa possui um sistema de gestão de SST (segurança, saúde e trabalho) certificado?		
A Empresa usa APR (análise preliminar de riscos) para suas atividades críticas?		
Possui alguma sistemática de controle e tratamento de desvios?		
Adota alguma sistemática de auditoria comportamental?		
Tem sistemática de inspeções planejadas?		
Possui alguma sistemática para avaliação da sinalização, organização e limpeza das frentes de serviço?		
Utiliza algum software ou técnica quantitativa para análise de riscos?		
Dispõe de alguma metodologia para avaliação quantitativa de riscos?		

Fonte: Autor (2015) – Dados da pesquisa.

A coleta de dados para a análise quantitativa e qualitativa ocorreu após a definição das variáveis e do conjunto de projetos que fazem parte da análise de risco. O escopo de projetos adotado nesta pesquisa está diretamente relacionado com a acessibilidade dos dados de interesse e a disponibilidade de tempo dos decisores para realizar as estimativas necessárias. Assim, foi possível a seleção de 40 projetos de perfuração direcional horizontal. A análise quantitativa foi viabilizada através de uma interface gráfica que permita o cálculo simplificado de riscos a partir do preenchimento de informações relacionadas às variáveis críticas que influenciam diretamente no risco global dos projetos.

3.4 PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Após a consolidação dos dados do diagnóstico preliminar, a avaliação qualitativa foi implementada nos 40 projetos de interesse, sendo a observação desses projetos subdividida em grupos de 10, sob o comando de um 1 líder, conforme ilustrado na figura 29.

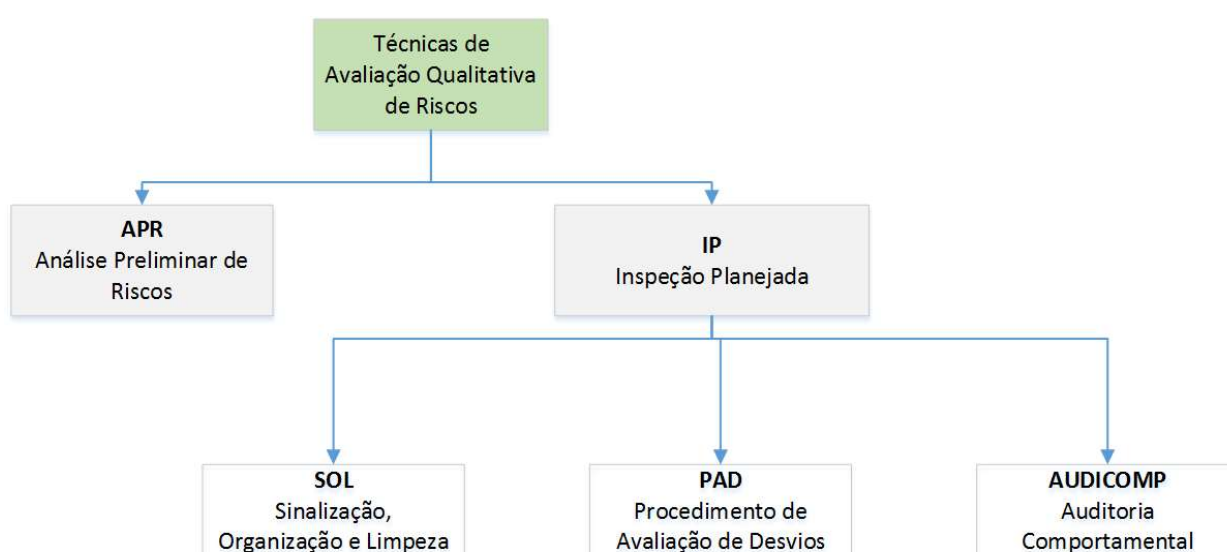
Figura 85 – Avaliação qualitativa de 40 projetos divididos em 4 grupos de 10



Fonte: Autor (2015) – Dados da pesquisa.

A avaliação qualitativa foi aplicada utilizando um conjunto de 04 técnicas, baseadas nos conceitos de APR (Análise Preliminar de Riscos) e IP (Inspeção Planejada) previamente explanadas no referencial teórico. O objetivo principal é implantar e medir o desempenho dessas técnicas com o intuito de gerar um radar de indicadores que auxiliem os gestores na comparação de desempenho para tomada de decisão quanto à prevenção de riscos nos projetos de perfuração direcional horizontal. A técnica de inspeção planejada foi desdobrada em 03 outras técnicas (SOL, PAD e AudiComp), conforme ilustrado na figura 30.

Figura 88 – Técnicas para Avaliação Qualitativa do Risco



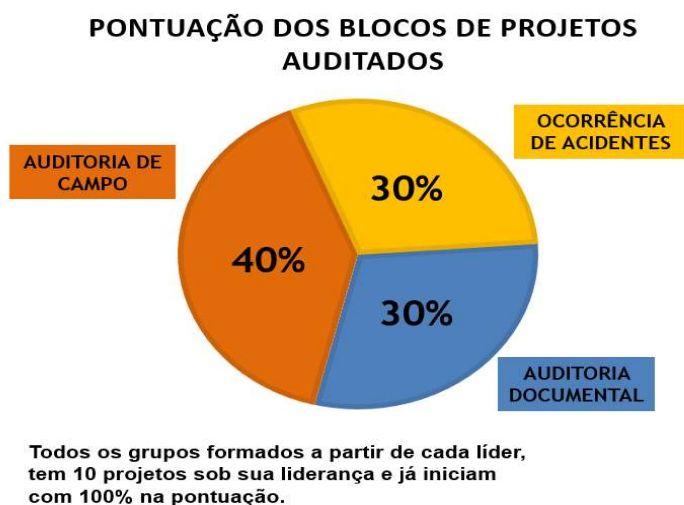
Fonte: Autor (2015) – Dados da pesquisa.

As ferramentas qualitativas propostas objetivam bloquear a ocorrência de acidentes, uniformizar as ferramentas de gestão de SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde) e comunicar e medir o desempenho da gestão de riscos. Para avaliação dos projetos perante as ferramentas qualitativas, foi proposto um sistema de pontuação que consiga monitorar e medir o desempenho de implementação de cada ferramenta, conforme a base de regras exemplificada a seguir.

Cada líder ficou responsável por implementar as ferramentas propostas nos 10 projetos sob sua coordenação. A análise correspondente à pontuação foi considerada para o bloco integrado (10 projetos). Todos os blocos começaram com a pontuação de 100% e foram perdendo pontos à medida que foi verificada ausência de procedimento, desvio, falta de organização das frentes de trabalho, acidente ou alguma inconsistência na implementação das

ferramentas. A pontuação de 100% está dividida em três blocos percentuais (auditoria de campo, documental e acidentes) conforme exposto na figura 31. A distribuição da pontuação proposta no roteiro de auditorias exposto nas figuras seguintes foi realizada de acordo com a opinião consolidada dos experts nos 40 projetos selecionados para avaliação, considerando as variáveis de interesse e a taxa de frequência de acidentes exposta nos estudos qualitativos de Gierczak (2014) e ponderadas mediante a opinião dos especialistas consultados.

Figura 91 – Subdivisão da pontuação de auditoria de blocos de projetos



Fonte: Autor (2016) – Dados da pesquisa.

A base de regras para os percentuais expostos na figura 32 seguem os seguintes critérios que quando caracterizados, implicam na perda de pontos. As métricas para aferição de desempenho foram estabelecidas pelos especialistas considerando o histórico de ocorrência de falhas por violação dos requisitos intrínsecos de segurança presentes em cada ferramenta.

Figura 94 – Critérios para Medição de Desempenho

AUDITORIA DE CAMPO		
FERRAMENTA	CRITÉRIO	(%)
SOL (Sinalização, Limpeza e Organização)	FORMULÁRIO ESPECÍFICO	10%
APR (Análise Preliminar de Riscos)	01 Atividade sem APR, contabiliza-se o máximo: -10% - Cada recomendação não atendida pela empresa ou etapa não contemplada, contabiliza-se: -2%. - Sem assinatura dos executantes, referente à ciência das recomendações da APR, contabiliza-se: -2%.	10%
AudiComp (Auditoria Comportamental)	- Cada AudiComp contabiliza-se: -2%. - Caso o AudiComp seja sistêmico: -10%	10%
PAD (Desvios)	- Para cada desvio identificado, exemplo: colaborador sem EPI, deixa de seguir padrões, contabiliza-se: -2%. - Para 01 desvio crítico identificado, contabiliza-se o máximo: -10%.	10%
TOTAL		40%

AUDITORIA DOCUMENTAL

FERRAMENTA	CRITÉRIO	(%)
TODAS	Cada ferramenta contabiliza 100 %.	
	Para a obtenção do resultado final, calcula-se a média aritmética dos percentuais relativos a cada ferramenta.	30%

OCORRÊNCIA DE ACIDENTES

REFERENCIA	CRITÉRIO	(%)
OCORRÊNCIA	Cada acidente registrado, contabiliza-se o máximo: -30%.	30%

Fonte: Autor (2016) – Dados da pesquisa.

Após consolidados os resultados da avaliação dos 40 projetos, um gráfico de pontuação (radar de indicadores) é gerado e o desempenho das equipes é avaliado de forma intuitiva para se estabelecer um conjunto de medidas para balancear o desempenho dos grupos de trabalho.

3.5 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE QUANTITATIVA

Uma segunda etapa compreende a análise dos projetos de perfuração pelos especialistas. Nesses termos, foi definida uma estrutura analítica de riscos (EAR), com os fatores SOLO, EQUIPAMENTO, MATERIAL, AMBIENTE e HUMANO, sendo que cada fator agrega uma variável de risco. Em seguida, foram estimados pelo expert probabilidade e impacto para cada fator de risco da EAR e definido um risco global para cada projeto, compreendendo um número inteiro entre 1 e 10. Os fatores ou variáveis foram previamente selecionados com base nos estudos quantitativos de Gierczak (2014), onde foram agrupadas as principais variáveis que impactavam no sucesso dos projetos de perfuração direcional horizontal, considerando a opinião de construtores e experts no assunto.

Um formulário foi utilizado nesta pesquisa contendo o número do projeto, breve descrição do fator, a matriz de probabilidade e impacto e um campo para estimar o risco global do projeto 1, conforme ilustrado na tabela 9. A sistemática foi repetida em todos os 40 projetos.

A metodologia utilizada para avaliação da significância dos aspectos tratou a probabilidade e o impacto da mesma forma, pelo que se refere à “Probabilidade/Impacto”. Como normalmente não se conseguem dados reais para a Probabilidade/Impacto, esta é estimada em vários níveis nas escalas linguísticas, conforme a tabela 9.

Tabela 16 – Formulário para Análise de Riscos em Projetos HDD

PROJETO 1

Risco Estimado (1-10): 1

FATOR SOLO	← Prob x Imp →		
	Baixo	Médio	Alto
Mapeamento das interferências e obstáculos sob a superfície	X		
FATOR EQUIPAMENTO	← Prob x Imp →		
	Baixo	Médio	Alto
Manutenção e operabilidade da perfuratriz	X		
FATOR MATERIAL	← Prob x Imp →		
	Baixo	Médio	Alto
Qualidade do fluido de perfuração	X		
FATOR AMBIENTE	← Prob x Imp →		
	Baixo	Médio	Alto
Densidade demográfica e sensibilidade ambiental do site	X		
FATOR HUMANO	← Prob x Imp →		
	Baixo	Médio	Alto
Experiência e habilidade dos operadores	X		

Escala de Impacto das Variáveis	
	Maior, aumenta o risco do projeto
	Menor, diminui o risco do projeto

Fonte: Autor (2016) – Dados da pesquisa.

As matrizes de probabilidade e impacto permitem estimar os riscos dos fatores de forma agregada por meio da EAR (Estrutura analítica de riscos). É apresentada uma escala de probabilidade (impacto) de três níveis, conforme ilustrado na figura 33.

Figura 97 - Escala de Probabilidade (Impacto) de três níveis

Ocorrência do Dano	Probabilidade x Impacto	Valor
Ocorre sempre ou quase sempre	Alta	3
Já ocorreu várias vezes	Média	2
Ocorrerá raras vezes	Baixa	1

Fonte: Autor (2016) – Dados da pesquisa.

O sistema *fuzzy* Mamdani foi utilizado para implementação e modelagem dos dados em sistema computacional. Para todos os procedimentos de cálculo, modelagem e análise, foi utilizado o software computacional Matlab®, através da *Fuzzy Tollbox* (MATHWORKS, 2014).

Concluindo esta seção, é apresentado a seguir o fluxograma das fases desta pesquisa. Para esta pesquisa foram selecionados 40 projetos de perfuração direcional horizontal, os critérios e fatores qualitativos e quantitativos foram definidos com base nos estudos de Gierczak (2014) e a opção por esses trabalhos ocorreu em virtude da relevância, impacto e atualidade das pesquisas, gerando desdobramentos que culminaram na produção de importantes estudos na área de gestão de riscos de projetos desta natureza.

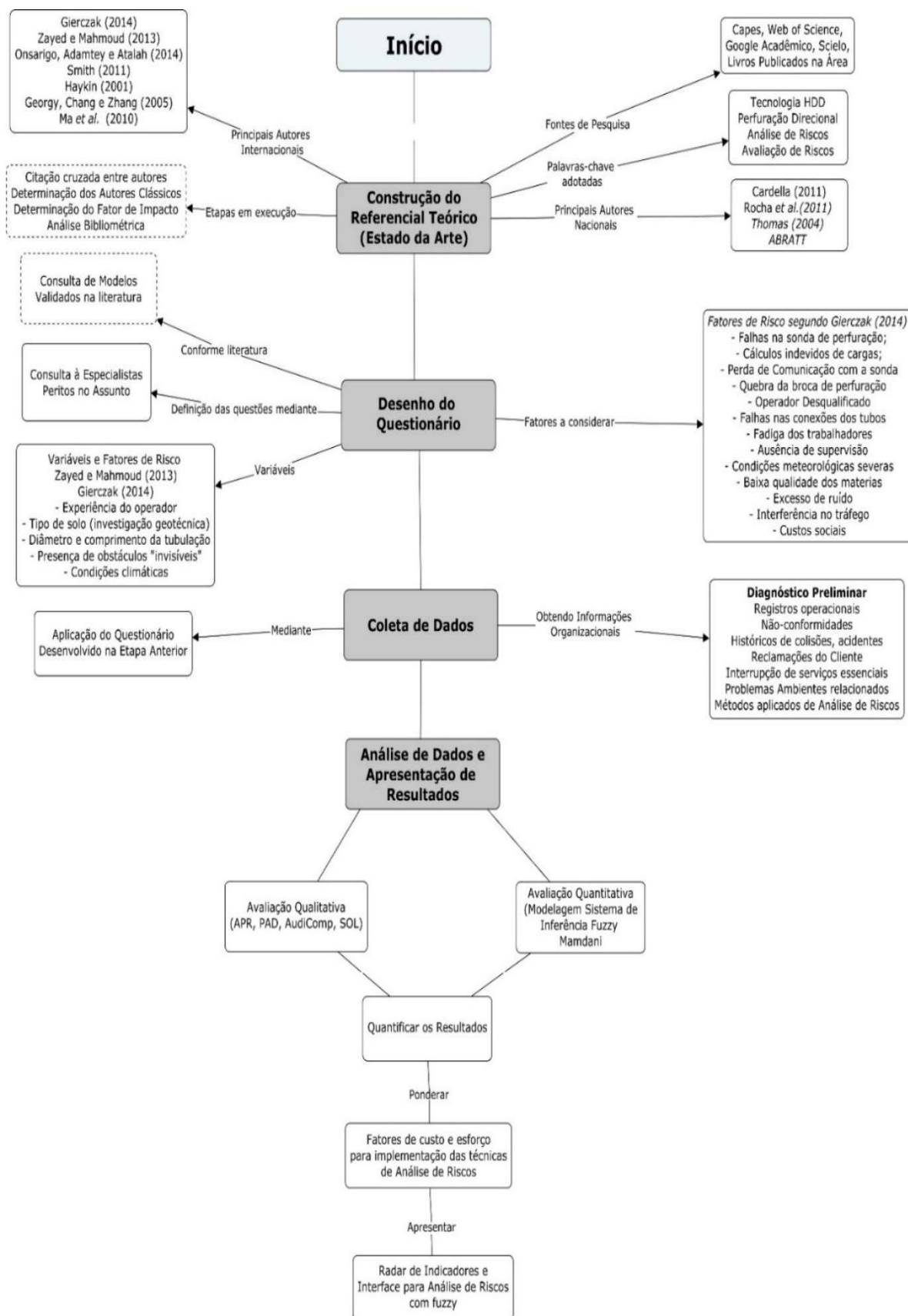
Os estudos de Gierczak (2014) em seus aspectos qualitativos e quantitativos serviram de base para esta pesquisa ao permitir a seleção das variáveis que formaram a metodologia do roteiro de avaliação qualitativa, considerando os fatores de risco que mais impactam na segurança dos processos industriais de perfuração direcional horizontal.

Destes trabalhos foram extraídas as variáveis de base para formação do questionário que embasa a avaliação quantitativa proposta nesta pesquisa. A seleção dos experts seguiu as orientações contidas nos estudos supra (Gierczak), levando em consideração a experiência e a maturidade dos especialistas que avaliaram os fatores e responderam os 40 questionários apresentados.

Esta pesquisa foi segmentada em duas metodologias, uma qualitativa e outra quantitativa. Na qualitativa foram observados in loco a atuação das 40 equipes de trabalho da organização, sendo que cada grupo foi avaliado individualmente e os resultados foram consolidados em quatro grupo principais, de 10 membros cada, submetido à uma liderança.

A avaliação quantitativa baseou-se na resposta por parte dos experts de 40 questionários relacionados ao trabalho de perfuração direcional, onde foram avaliados 05 fatores primordiais que afetam a segurança desse processo, sendo que foi atribuído um risco global a cada projeto. Após essa etapa, os resultados dos questionários foram modelados num SIF (Sistema de inferência fuzzy) que foi calibrado mediante 243 interações resultantes das respostas dos questionários que formaram a base de conhecimento do sistema para prever o risco global de um determinado projeto.

3.6 FLUXOGRAMA DE FASES DA PESQUISA



Fonte: Autor (2016) – Dados da pesquisa.

4 RESULTADOS

Esta seção dedica-se a apresentar os resultados do processo metodológico com foco na identificação dos fatores e variáveis de risco, na apresentação do radar de indicadores para avaliação qualitativa e no cálculo do risco de um projeto através de interface modelada por um Sistema de Inferência *Fuzzy* de Mamdani no ambiente computacional do Matlab.

4.1 FATORES E VARIÁVEIS DE RISCO

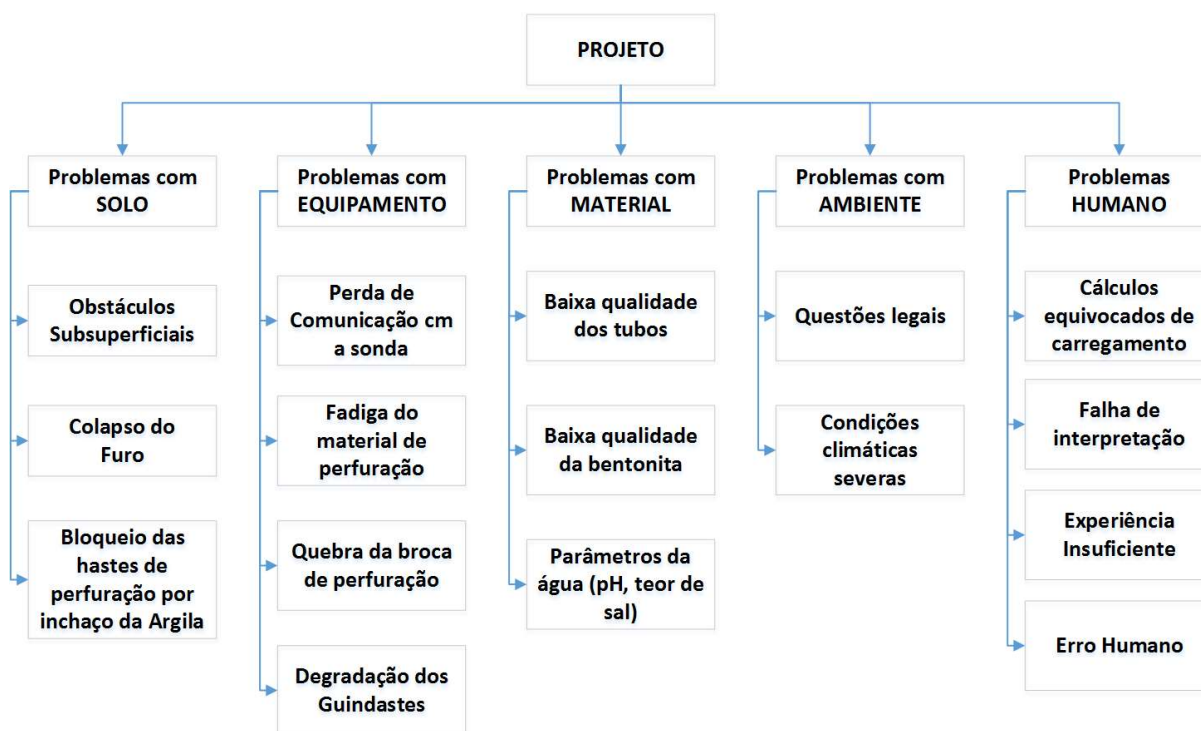
A formação da lista de fatores de risco foi obtida a partir de revisão da literatura com a finalidade de identificar as principais variáveis que impactam no risco de projetos de perfuração direcional horizontal. Os fatores obtidos a partir dos estudos de Gierczak (2014) foram unificados numa lista de verificação e submetidos à análise subjetiva do especialista em perfuração direcional horizontal.

Após a análise subjetiva do especialista, os fatores foram agrupados numa Estrutura Analítica de Riscos – EAR (figura 34), sendo os fatores Solo, Equipamento, Material, Ambiente e Humano selecionados para compor o questionário. A esses fatores foram associadas variáveis de risco, tais como: Mapeamento das interferências e obstáculos sob a superfície, manutenção e operabilidade da perfuratriz, qualidade do fluido de perfuração, densidade demográfica e sensibilidade ambiental do site, e experiência e habilidade dos operadores.

Essas variáveis foram propostas pelo especialista em perfuração direcional e possuem um conteúdo que define como o risco do projeto é percebido, incluindo conceitos abstratos e subjetivos que podem ser modelados matematicamente através da lógica *fuzzy*.

Os fatores de riscos agregam variáveis que definem de forma abstrata o risco global do projeto. Um exemplo dessa sistemática pode ser visualizado a partir da estrutura analítica de riscos contida na figura 34.

Figura 100 – Estrutura Analítica de Riscos em Projetos HDD



Fonte: Autor (2016).

4.2 AVALIAÇÃO QUALITATIVA – RADAR DE INDICADORES

A avaliação qualitativa está fundamentada na implementação e acompanhamento mediante observação de 04 ferramentas (APR, SOL, PAD e AudiComp) que buscam eliminar as causas básicas dos acidentes, atuando na base da pirâmide de Frank Bird, representada pelos incidentes, desvios, comportamentos e condições inseguras, elementos catalisadores dos acidentes mais graves. Essa medida está coadunada com o moderno conceito prevencionista de Engenharia de Segurança do Trabalho.

As ferramentas são de simples assimilação e implementação, amplamente usadas e testadas, com foco no bloqueio de comportamentos, atos, condições inseguras, desvios e incidentes com ou sem perda material que representam a base de sustentação da pirâmide de acidentes de maior monta (CICCO; FANTAZZINI, 1994).

As ferramentas aqui mencionadas tiveram sua aplicação observada durante um período de seis meses, em 40 projetos, divididos em grupos de 10 sob a tutela de um líder operacional. Os instrumentos de medição e desempenho foram delineados na figura 32 e fornecem

subsídios para aferir o grau de implementação e adequação dos projetos em relação aos objetivos de prevenção implícitos nas ferramentas.

A metodologia de medição parte do pressuposto de que todos os grupos começam com uma pontuação de 100% e vão sendo “penalizados” em valores percentuais à medida que descumprem os requisitos de aplicação de cada ferramenta, conforme exposto na tabela 10. Torna-se importante frisar que a ocorrência de um acidente, de qualquer natureza, já penaliza o grupo com a redução de 30% na pontuação inicial, trazendo seu indicador para uma condição de natureza crítica.

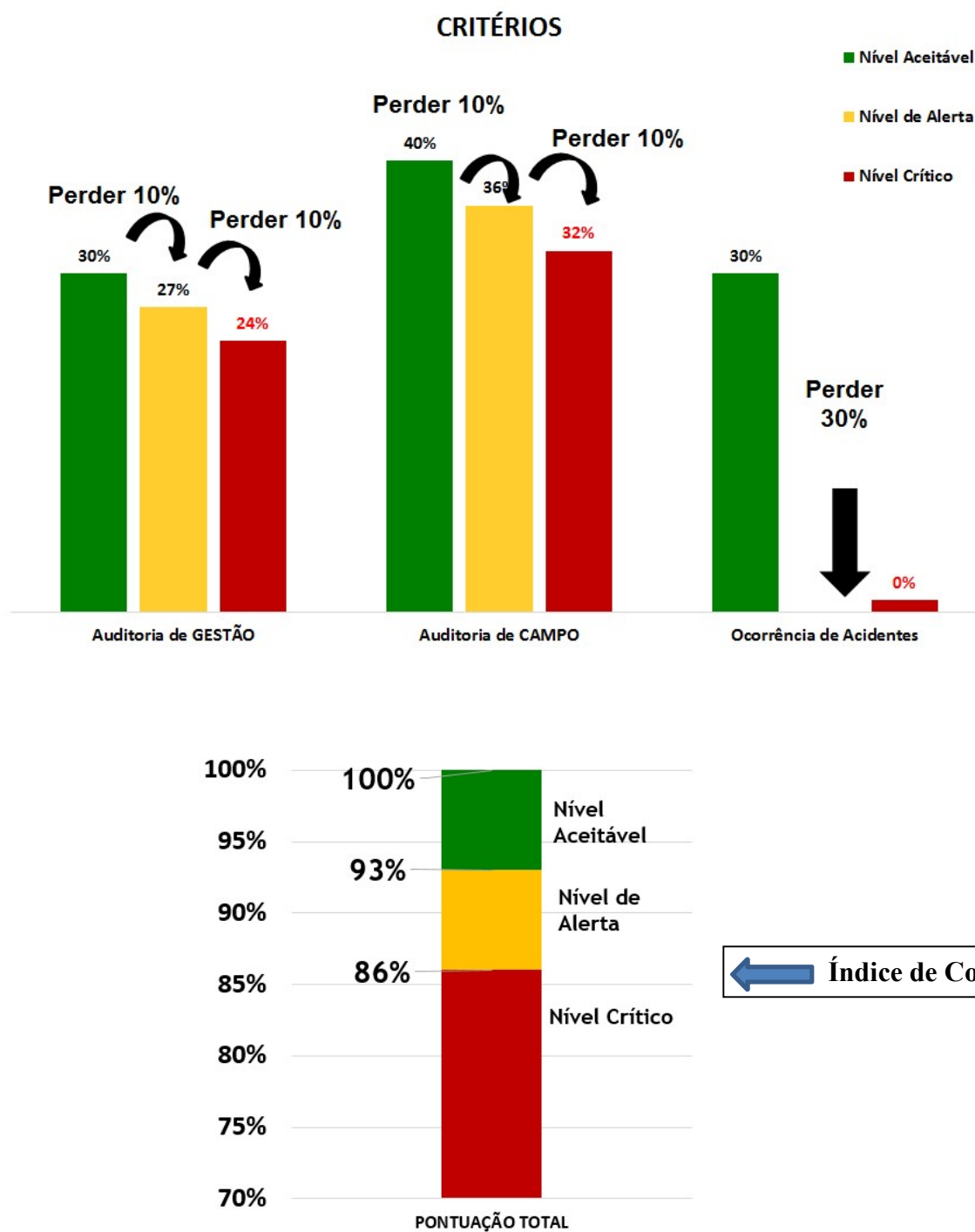
Tabela 18 – Ferramentas qualitativas e seus critérios de aplicação

Ferramenta	Critério de Aplicação Campo/Documental	Penalidade/Não Conformidade
APR (Análise Preliminar de Riscos)	Cada atividade da organização deve ser contemplada com APR.	Conforme exposto na Figura 32
SOL (Sinalização, Organização e Limpeza)	Deve ser aplicada a ferramenta no mínimo duas vezes ao mês em cada grupo de projetos	
PAD (Procedimento de Avaliação de Desvios)	Cada líder de grupo deverá gerar pelo menos 4 desvios por mês	
AudiComp (Auditoria Comportamental)	Cada líder de grupo deverá registrar pelo menos 2 AudiComp por mês	

Fonte: Autor (2016).

A avaliação geral é composta por critérios de medição de desempenho que visam aferir a parte documental e a implementação das ferramentas no campo. Essa aferição é realizada em cada projeto analisado, e no final é elaborado um radar de indicadores que auxilia na análise de performance de cada grupo no tocante ao cumprimento dos requisitos que afetam a performance de um sistema de gestão de segurança e saúde no trabalho. A pontuação total de cada grupo deverá obedecer aos critérios expostos na figura 35, classificando o grupo dentro de um segmento de desempenho perante os indicadores de conformidade que compreende atividades de gestão documental e campo.

Figura 103 – Níveis de pontuação para aferição de desempenho



Fonte: Autor (2016).

Tabela 19 – Apuração dos resultados da auditoria de campo por grupo

Descrição do Grupo	Índice Inicial	Auditoria Documental (perdas)	Auditoria de Campo (perdas)	Índice Final
Grupo 1	100%	-	16%	84%
Grupo 2	100%	-	2%	98%
Grupo 3	100%	-	6%	94%
Grupo 4	100%	-	-	100%

Fonte: Autor (2016).

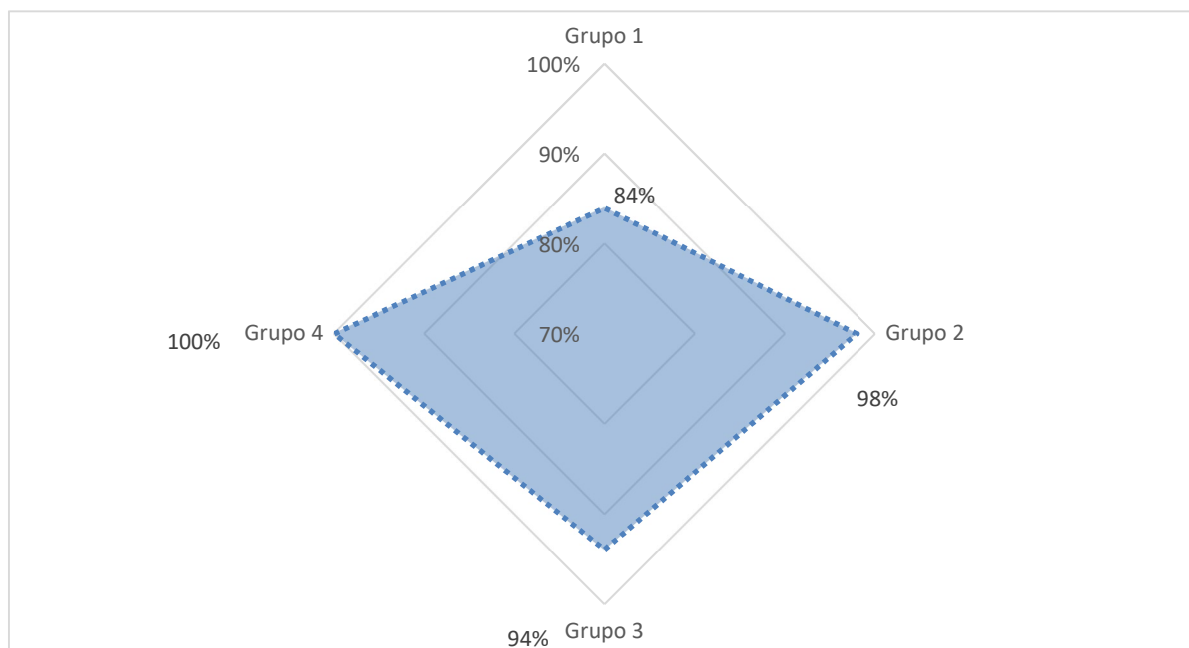
Pelos resultados, o grupo 1 perdeu 16% da sua pontuação inicial, sendo 6% na auditoria documental e 10% na auditoria de campo, considerando os critérios e perdas expostos na figura 32. Os grupos 2 e 3 tiveram perdas em grupos semelhantes, apenas o grupo 4 manteve seu índice de conformidade, não tendo apresentado nenhuma anomalia durante as auditorias/observações de campo.

A consolidação dos resultados de acompanhamento dos grupos que compreendem os 40 projetos avaliados segue o disposto na figura 36. O radar de indicadores representa um sistema de visualização de resultados, de forma que o grupo que mais se aproxima da borda externa do radar, apresenta os melhores índices de conformidade.

Na avaliação qualitativa realizada, o grupo 1 obteve 84% de conformidade, sendo enquadrado no nível crítico da figura 35. Nesse nível, a organização precisa tomar um conjunto de medidas para sanar as não-conformidades que promoveram a redução de desempenho de SMS deste grupo.

O grupo 2 obteve 98% de conformidade, sendo enquadrado no nível aceitável, assim como os grupos 3 (com 93%) e 4 (com 100%). O índice de conformidade é a medida do nível de eficácia da implementação das ferramentas de segurança e prevenção de riscos na organização.

Figura 106 – Radar de Indicadores com os Índices de Conformidade



Fonte: Autor (2016).

A interpretação do radar de indicadores fornece uma informação visual que permite inferir que, quanto maior for o índice de conformidade, mais próximo da borda do radar ficará o grupo avaliado.

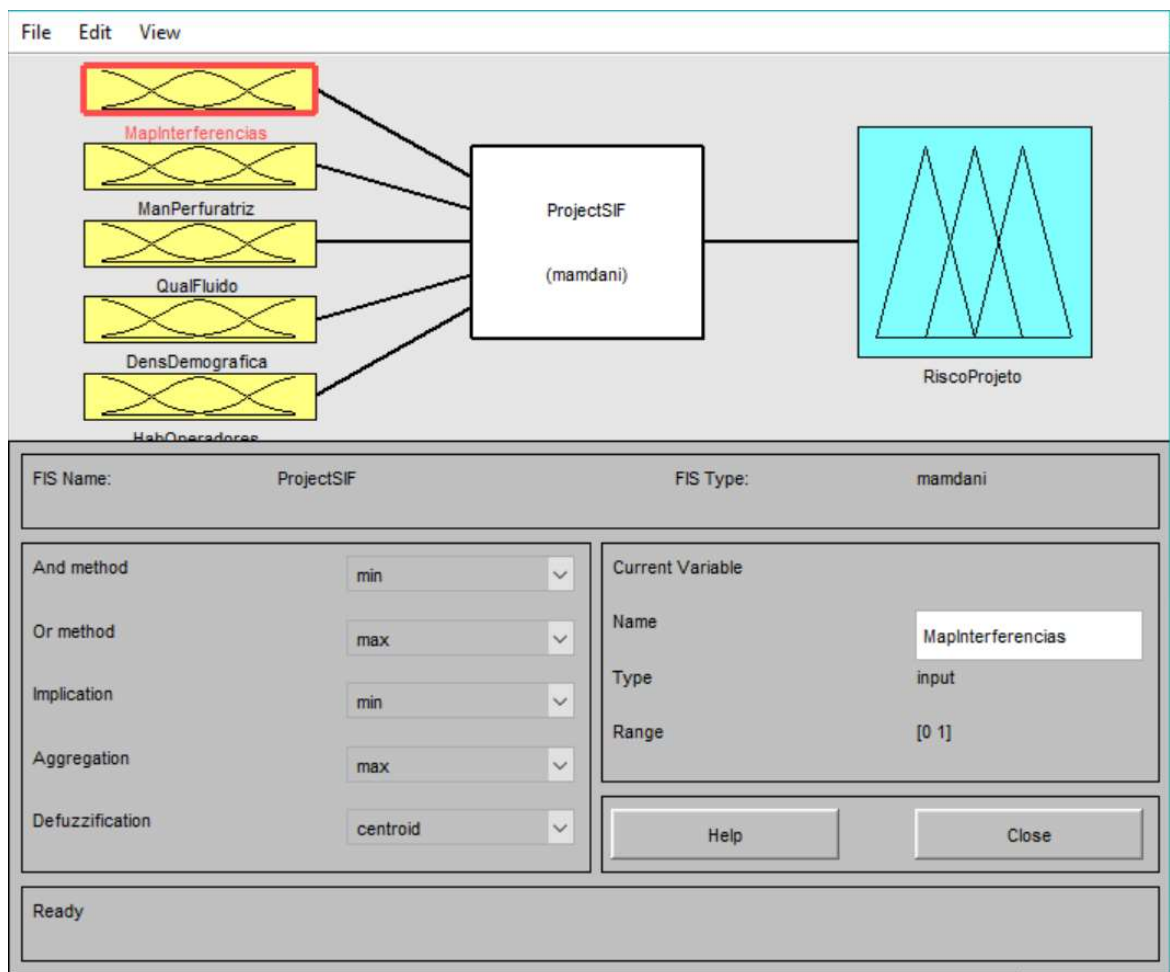
Essa configuração de dados visuais permite uma rápida comparação dos grupos de trabalho em relação à sua performance na implementação das ferramentas de gestão de riscos em projetos de referência.

4.3 ANÁLISE QUANTITATIVA – SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Os valores linguísticos capturados através da matriz disposta na tabela 9 são modelados através de um Sistema de Inferência Fuzzy de Mamdani. O formulário foi aplicado em 40 projetos, onde o especialista mensura o risco de cada empreendimento.

A modelagem é iniciada através da digitação da palavra *fuzzy* dentro da interface do Matlab. A *toolbox fuzzy* é exibida e são configuradas as variáveis linguísticas de entrada dos fatores: Solo, Equipamento, Ambiente, Material e Humano, a base de regras (SE-ENTÃO), e a variável de saída (risco do projeto), conforme exposto na figura 37.

Figura 109 – Modelagem de variáveis de entrada, base de regras e saída do SIF Mamdani

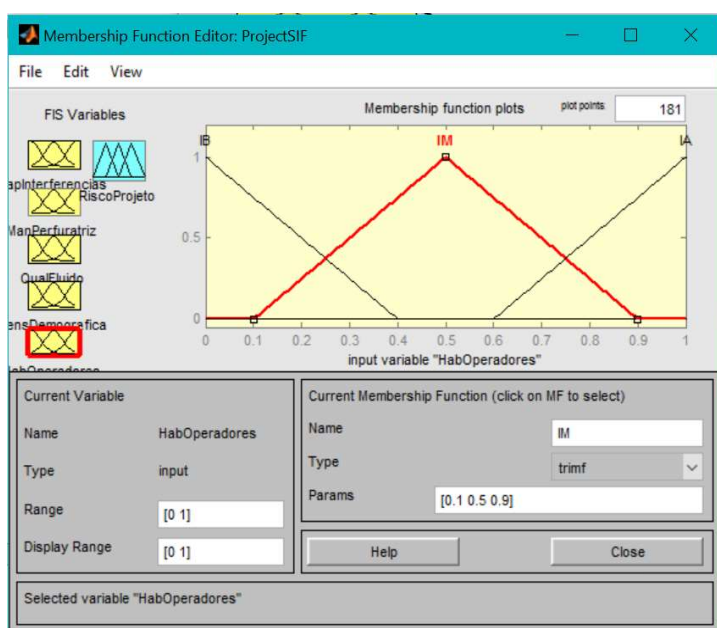
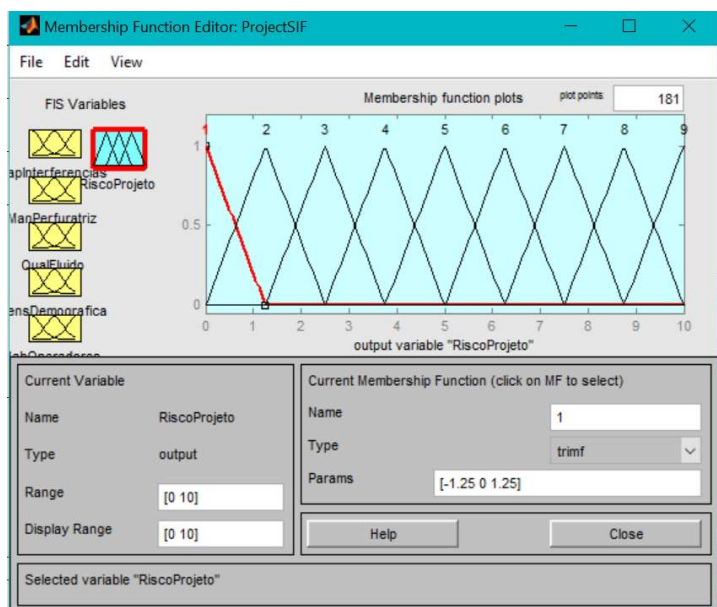


Fonte: Autor (2016).

A função de pertinência (MF) escolhida foi a triangular, por apresentar melhor coeficiente de correlação ($R = 0.9185$), conforme demonstrado nos estudos de Ebrat e Ghodsi (2013). O sistema de inferência foi o de Mamdani e o método de defuzzificação foi o Centróide.

Para os dados levantados através do formulário para análise de riscos em projetos HDD, foram geradas 40 regras decorrentes das inferências e do risco atribuído pelo decisor aos projetos objeto dessa análise. Para fechar as combinações decorrentes das alterações de atributos para cada variável de risco e sua probabilidade e impacto, foram necessárias 243 iterações.

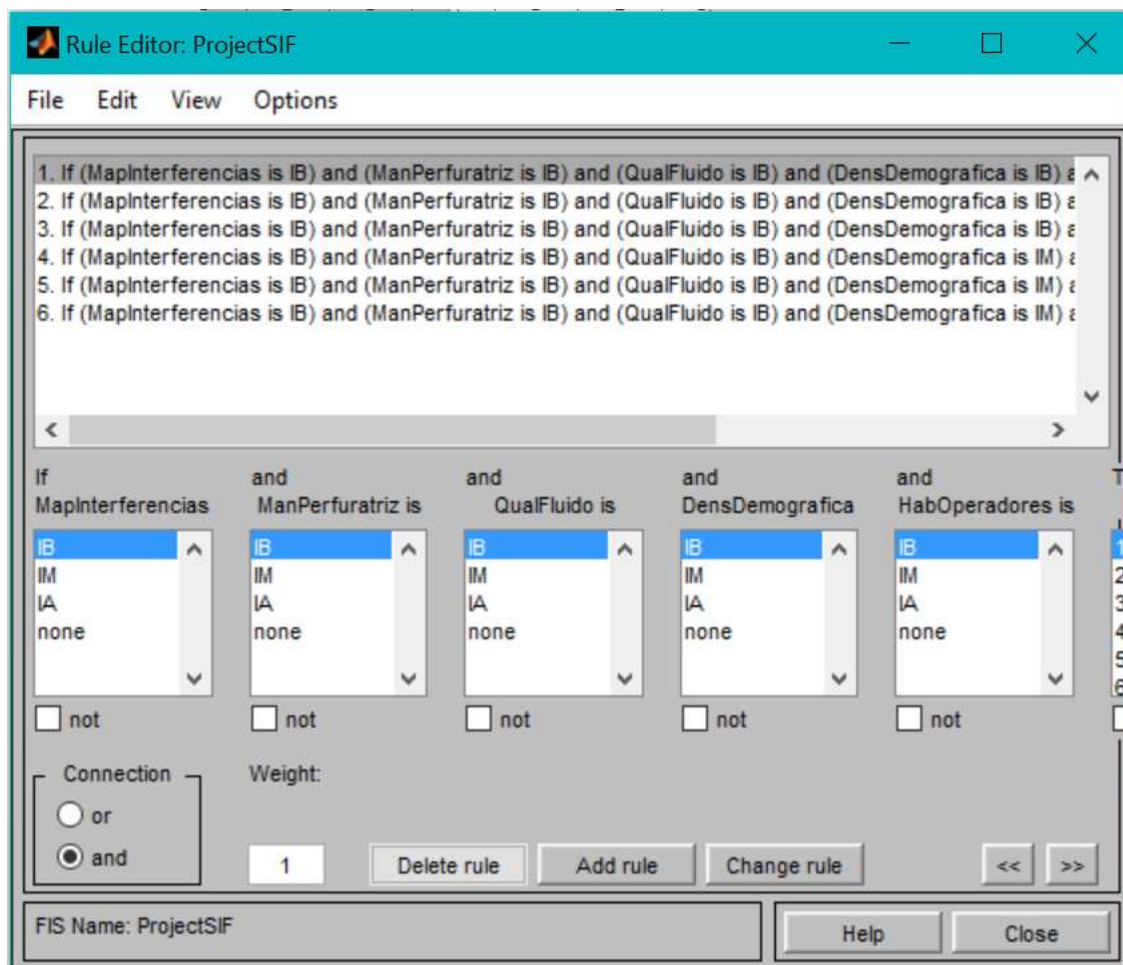
Figura 112 – Modelagem das variáveis de entrada e saída do modelo



Fonte: Autor (2016).

A base de regras contém o conjunto de inferência (SE-ENTÃO) que representam a base de conhecimento com diferentes níveis de informação, isto é, a semântica das regras fuzzy na forma de conjuntos fuzzy e a representação linguística contendo o conhecimento do especialista.

Figura 115 – Base de regras fuzzy



Fonte: Autor (2016).

A fase final compreende o desenvolvimento da interface de fácil uso que permita aos decisores calcular com facilidade os riscos de projetos futuros baseando na entrada de valores linguísticos e na saída de um valor numérico de risco que permita inferir sobre a probabilidade de riscos do projeto de interesse, conforme exposta na figura 40.

A base de regras é modelada através das respostas obtidas nos questionários e é resultado de um grupo de 243 interações resultantes dos cruzamentos de probabilidade/ impacto com os fatores disponíveis no formulário e o valor de risco global. Cada questionário respondido é modulado no SIF compondo a base de regras expressa na figura 39. Essa base de regras fornecer o conjunto de validação necessário para se calcular o risco global de um novo projeto.

Figura 118 – Interface para Cálculo de Riscos em Projetos de Perfuração Direcional

Cálculo de Riscos em Projetos de Perfuração Direcional

SOLO

Mapeamento das interferências e obstáculos sob a superfície Probabilidade X Impacto: Alto

AMBIENTE

Densidade demográfica e sensibilidade ambiental do site Probabilidade X Impacto: Baixo

EQUIPAMENTO

Manutenção e operabilidade da perfuratriz Probabilidade X Impacto: Medio

HUMANO

Experiência e habilidade dos operadores Probabilidade X Impacto: Baixo

MATERIAL

Qualidade do fluido de perfuração Probabilidade X Impacto: Baixo

Resultados

Inferir o risco estimado **Calcular**

Risco: 5

Fonte: Autor (2016).

Para calcular os riscos no projeto de interesse, basta o analista preencher os campos das variáveis de entrada com informações linguísticas e clicar no campo “Calcular” para inferir sobre o risco de um determinado projeto de perfuração direcional horizontal, considerando as variáveis de entrada dispostas no modelo. Os projetos individuais avaliados pelos experts apresentaram os seguintes resultados

Tabela 20 – Projetos avaliados pelos experts e sua respectiva pontuação de risco global

Número do Projeto	Índice Global de Risco avaliado pelo especialista (Escala 1 a 10)
Projeto 1	6
Projeto 2	8
Projeto 3	5
Projeto 4	9
Projeto 5	10
Projeto 6	7
Projeto 7	7
Projeto 8	8
Projeto 9	1

Projeto 10	4
Projeto 11	2
Projeto 12	9
Projeto 13	8
Projeto 14	10
Projeto 15	4
Projeto 16	3
Projeto 17	3
Projeto 18	9
Projeto 19	10
Projeto 20	5
Projeto 21	2
Projeto 22	1
Projeto 23	8
Projeto 24	5
Projeto 25	4
Projeto 26	4
Projeto 27	2
Projeto 28	3
Projeto 29	1
Projeto 30	9
Projeto 31	9
Projeto 32	7
Projeto 33	6
Projeto 34	4
Projeto 35	5
Projeto 36	3
Projeto 37	4
Projeto 38	3
Projeto 39	9
Projeto 40	7

Fonte: Autor (2016).

Cada projeto examinado possui um nível de risco diferenciado levando em consideração as variáveis dispostas no formulário e o nível de subjetividade do próprio especialista avaliador. O objetivo do SIF (Sistema de inferência fuzzy) é modular essa subjetividade proveniente do conhecimento tácito dos julgadores e transformá-la num padrão, baseado num conjunto predefinido de regras que possa automatizar as estimativas de risco realizadas pelo especialista.

A função precípua desse sistema é formar uma base de conhecimento que consiga traduzir as habilidades tácitas dos julgadores em conhecimento explícito, capaz de ser retido e repassado em escala no âmbito organizacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo dedica-se à apresentação das conclusões da pesquisa, a algumas propostas para pesquisas futuras e às limitações deste trabalho.

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo propor a aplicação de um roteiro para avaliação qualitativa de riscos, além de propor uma interface para estimação quantitativa dos mesmos riscos em projetos de perfuração direcional horizontal. As duas propostas apresentam mecanismos baseados em técnicas simples, porém eficientes para inferir sobre o aspecto de prevenção de falhas durante a implementação de projetos com tecnologia HDD (*Horizontal Direction Drilling*).

Os dados básicos para modelagem do sistema de inferência fuzzy foram obtidos a partir da análise de 40 projetos de perfuração direcional, onde os valores de risco foram previamente estimados por um especialista com base em julgamento subjetivo.

Os resultados apresentados, tanto qualitativos quanto quantitativos, permitem inferir que a gestão de riscos em projetos de tecnologia HDD pode ser viabilizada através da aplicação de técnicas qualitativas e quantitativas simples, que atuam no combate dos atos, condições e comportamentos que favorecem a ocorrência de acidentes.

Outro benefício relevante é o impacto que essas análises prévias podem gerar no planejamento das atividades de perfuração direcional, através do estabelecimento de uma cultura de prevenção de danos que impeça a consumação de falhas que comprometam a segurança e a viabilidade econômico-financeira desses projetos.

Outro aspecto que merece ser ressaltado é que o modelo quantitativo proposto pode ser desenvolvido provendo gestão de conhecimento e inteligência de negócio para organizações que tem a perfuração direcional como atividade principal e objetivam manter um sistema de controle mais eficiente dos riscos presentes nos empreendimentos.

O trabalho propõe um roteiro e uma interface de sistema simples que pode ser implementado sem maiores dificuldades em organizações de portes variados. Lida ainda com a possibilidade de retenção do conhecimento gerado na organização, evitando a perda desse ativo quando ocorre alguma mudança nos seus recursos humanos estratégicos.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Essa pesquisa gera oportunidades para:

- Aplicação das técnicas em organizações de outros segmentos;
- Desenvolvimento de uma interface gráfica aprimorada que permita aos decisores obter com facilidade estimativas precisas dos riscos envolvidos no projeto;
- Utilizar modelos mais complexos, como as redes neuro-fuzzy para prover um mecanismo de aprendizagem dinâmico que permita o auto ajustamento das regras de modelagem.

5.3 LIMITAÇÕES

Uma limitação importante deste trabalho consiste na baixa representatividade dos dados, o que gerou dificuldades para a aplicação de modelos matemáticos dinâmicos, capazes de promover uma melhor acurácia na previsão de riscos.

A ausência de comparação com outros modelos de análise quantitativa também pode ser compreendido como uma limitação relevante nesta pesquisa.

O sistema fuzzy proposto depende de um volume maior de dados para prover melhor acurácia ao representar o índice de risco e um ponto de fragilidade relevante é a ausência de capacidade de auto-ajustamento do modelo por intermédio da adoção de modelos matemáticos mais complexos.

REFERÊNCIAS

ABDELGAWAD M.; FAYEK, A. R. Fuzzy reliability analyzer: quantitative assessment of risk events in the construction industry using fuzzy fault-tree analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**. v. 137, n. 4, p. 294–300, Apr. 2011.

ADAMS, J. **Risco**. Tradução de Lenita Rimoli Esteves. São Paulo: Senac São Paulo, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma Brasileira ABNT NBR 15280-1 Dutos terrestres Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro. 2009.

Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado. ABEGÁS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA (ABRATT). Diretrizes dos Métodos Não Destrutivos: um guia dos métodos não destrutivos (MND) para instalação, recuperação, reparo e substituição de redes, dutos e cabos subterrâneos com o mínimo de escavação. Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.abratt.org.br/diretrizes_mnd.pdf. Acesso em: 15/Jan/2014.

AL-SHANINI, A.; AHMAD, A.; KHAN, F. Accident modelling and analysis in process industries. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. v. 32, p. 319-334, 2014.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia científica: filosofia e prática da pesquisa**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

BENINI, L. C.; M. M. JUNIOR. **Modelagem neuro-fuzzy com apoio do Matlab**. UNESP, 2008. Presidente Prudente.

BAIK, H.S.; ABRAHAM, D. M.; GOKHALE S. A decision support system for horizontal directional drilling. **Tunnelling and Underground Space Technology**. v. 18, n. 1, p. 99-109, Feb. 2003.

CARDELLA, B. **Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística**. São Paulo: Atlas, 2011.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. **Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier; ABEPRO, 2012.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHAGAS, J. F. S *et al.* **Um jogo para treinamento de operadores de sondas de perfuração terrestre**. HOLOS, ano 28, v. 1, 2012.

CHAPMAN, C.; WARD, S. **Project risk management: processes, techniques and insights**. 2. ed. Chichester: J. Wiley, 2003. v. 49.

COX, E., **Fuzzy modeling and genetic algorithms for data mining and exploration**. San Francisco: Elsevier, 2005.

DE CICCIO, F.M.G.A.F; FANTAZZINI, M. L. **Introdução à engenharia de segurança de sistemas**. 3. ed. São Paulo, FUNDACENTRO, 1994.

DIAS, L. A. **Integrated management systems in construction**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF CIB W99, 2003, Brasil. São Paulo: EPUSP, 2003.

DEZOTTI, M. C. **Análise da utilização de métodos não-destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas**. 2008. 197 f. Dissertação (Mestrado) em Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DOANE, D. P.; SEWARD, L. E. **Estatística aplicada à administração e economia**. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

EBRAT, M.; GHODSI, R. Construction project risk assessment by using adaptive-network-based fuzzy inference system: an empirical study. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 5, p. 1213–1227, Jun. 2014

FUNDACENTRO. **Prevenção de acidentes industriais maiores**. Ministério do Trabalho e Emprego, 2002.

FLEMING, P. V.; GARCIA, C. B. **Avaliação de riscos industriais e ambientais com a análise preliminar de perigos (APP) e lógica fuzzy**. ENEGEP, 1999.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GEORGY M. E.; CHANG L.; e ZHANG L. Prediction of Engineering Performance: A Neuro-fuzzy Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 131, n. 5, p. 548–557, May 2005.

GIERCZAK, M. The quantitative risk assessment of MINI, MIDI and MAXI Horizontal Directional Drilling Projects applying Fuzzy Fault Tree Analysis. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 43, p. 67–77, 2014.

GIERCZAK, M. The qualitative risk assessment of MINI, MIDI and MAXI Horizontal Directional Drilling Projects. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 44, p. 148–156, 2014.

GAWRYSZEWSKI, M.; MANTOVANINI, J. A.; e LIUNG, L. T. **Acidentes de trabalho fatais no estado de São Paulo em 1995**. São Paulo: DSST/DRT/SP, 64p. 1998.

HAYKIN, S. **Redes Neurais Princípios e Práticas**. 2 ed., SÃO PAULO: Prentice Hall. Inc., 2001.

GUILHEM, D. L. **Tecnologia de perfuração direcional nas construções de gasoduto**. São Paulo: 2006.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

JACINTHO, L. F. de O. **Redes Neuro-Fuzzy: Um Estudo de Caso em Diagnóstico de Alzheimer**. UFABC, 2010.

JANG, J.S. R. Anfis: **Adaptive-network-based fuzzy inference systems**. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, v. 23, p. 714–723, 1993.

JANG, J.; SUN, C.; MIZUTANI, E. **Neuro-fuzzy and soft computing**. PTR Prentice Hall, 1997.

KLIR G.G., YUAN, B., **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall; 1995.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: PETROBRAS, 2001.

MATHWORKS. **Fuzzy logic toolbox™ user's guide**. Natick, MA: The MathWorks Inc., 2014.

MORÉ, J. D. **Aplicação da Lógica Fuzzy na Avaliação da Confiabilidade Humana nos Ensaios não Destrutivos por Ultra-Som**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

MAXIMIANO, A. C. A. **Administração de projetos: como transformar ideias em resultados**. São Paulo: Atlas, 2010.

MA, B. *et al.* Risk evaluation for maxi horizontal directional drilling crossing projects. 2010. J. **Pipeline Syst. Eng. Pract.**, v. 1, n. 2, p. 91–97.

MURRAY, A. Pipeline technology: where have we been and where are we going? **Brazilian Petroleum and Gas Institute - IBP**, Nov. 2001.

ONSARIGO L.; ADAMTEY S.; ATALAH A. Analysis of horizontal directional drilling construction risks using the probability-impact model: a contractor's perspective. **From Underground to the Forefront of Innovation and Sustainability**. p. 1772-1783, 2014. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413692.161>. Acesso em: 10/Set/2014.

OHSAS 18001. **Sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho: requisitos**. São Paulo: Risk tecnologia, 2007.

OHSAS 18002: **Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho: Diretrizes para implementação da OHSAS 18001**. São Paulo: Risk Tecnologia, 2001.

OLIVEIRA, J. C. **Segurança e saúde no trabalho: uma questão mal compreendida**. São Paulo: 2003.

OLIVEIRA, J.C. **Gestão de riscos no trabalho: uma proposta alternativa**. Minas Gerais, Fundacentro/CEMG, 1999.

OLIVEIRA, J. de. **Acidentes do trabalho: teoria, prática e jurisprudência**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 1994.

OLIVEIRA, J. C. de. **Gestão de Segurança e Saúde do Trabalhador: uma questão para reflexão**. In: NETO, Antonio Carvalho; SALIM, Celso Amorim. Novos desafios em saúde e segurança no trabalho. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. da PUC Minas; Belo Horizonte: Ed. da FUNDACENTRO: Belo Horizonte, 2001, p. 101-123.

PMI. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)**. 5. ed. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2013.

PETRÓLEO BRASILEIRO S/A (PETROBRAS). Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/>>. Acesso em: Out/2014.

PHMSA. **Pipeline and hazardous materials safety administration** (US Department of Transportation). Significant Pipeline Incidents, 2002-2009.

ROCHA, Luís Alberto Santos et al. **Perfuração direcional**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS: IBP, 2011.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SMITH, D. J. **Reliability, maintainability and risk**. Practical methods for engineers. 8ª ed., USA: Elsevier, 2011.

THOMAS, J. E. **Fundamentos da engenharia do Petróleo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2004.

VALERIANO, D. L. **Gerência de projetos: pesquisa, desenvolvimento e engenharia**. São Paulo: Makron Books, 1998.

ZAYED, T.; MAHMOUD, M. Data acquisition and factors impacting productivity of Horizontal Directional Drilling (HDD). **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 33, p. 63-72, 2013.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**. Information and control, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, elaboração e análise**. 2 ed. - São Paulo: Atlas, 2008.