

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

DIEGO ANTONIO FRANZAO

**MODELO DE DECISÃO MCDA PARA RANQUEAMENTO DE FERRAMENTAS DE
SEGURANÇA DO TRABALHO**

BAURU/SP

2025

DIEGO ANTONIO FRANZAO

**MODELO DE DECISÃO MCDA PARA RANQUEAMENTO DE FERRAMENTAS DE
SEGURANÇA DO TRABALHO**

Texto de dissertação de mestrado apresentado como exigência para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Campus Bauru, sob orientação da Prof. Dra. Regiane Máximo Siqueira.

BAURU/SP

2025

Franzao, Diego Antonio.

MODELO DE DECISÃO MCDA PARA RANQUEAMENTO DE
FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO/ DIEGO ANTONIO
FRANZAO, 2025

151 f. : il.

Orientadora: Regina Máximo Siqueira

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2024

1. Modelo de apoio à decisão. 2. Engenharia do
Trabalho. 3. Segurança do Trabalho. I.
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia. II. MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO
PARA RANQUEAMENTO DE FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO
TRABALHO.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de DIEGO ANTONIO FRANZAO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 23 dias do mês de maio do ano de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de DIEGO ANTONIO FRANZAO, intitulada **MODELO DE DECISÃO MCDA PARA RANQUEAMENTO DE FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof.^a Dr.^a REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Faculdade de Engenharia - Câmpus Bauru, Prof. Dr. JOÃO VICTOR ROJAS LUIZ (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Faculdade de Engenharia - Câmpus Bauru, Prof. Dr. JOÃO BATISTA SARMENTO DOS SANTOS NETO (Participação Virtual) do(a) Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof.^a Dr.^a REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA



Documento assinado digitalmente
REGIANE MAXIMO SIQUEIRA
Data: 23/05/2025 16:11:53-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO: **DIEGO ANTONIO FRANZÃO DE: "MODELO DE DECISÃO MCDA PARA RANQUEAMENTO DE FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO"**

PARA:

Não há alteração de título

Bauru, 23 de maio de 2025.

Documento assinado digitalmente
gov.br REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA
Data: 23/05/2025 16:11:53-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dr^a. REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA
Orientadora



Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 17033-360 Bauru - SP
tel. (14) 3103-6108 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Laryssa, pela paciência e por me apoiar e compreender que para realização de trabalhos como este, muitas vezes é necessário foco e dedicação, sem que ela assumisse a frente de diversos assuntos rotineiros, esse trabalho não seria possível. Agradeço também por acreditar na minha capacidade, construindo um ambiente de segurança e respeito.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Regiane Máximo Siqueira, pelos constantes incentivos, compreensão e fonte de inspiração e um guia para o desenvolvimento assertivo, corrigindo a rota sempre que necessário.

Aos profissionais da minha empresa, que dedicaram parte do seu tempo e atenção para reuniões e avaliações, transferindo parte de suas experiências para composição do que somos e precisamos fazer.

A todos os meus colegas de mestrado que vivenciaram comigo todas as angústias e alegrias dessa jornada.

RESUMO

A utilização de ferramentas de segurança tem se mostrado eficaz na redução de acidentes, destacando a relevância de metodologias que aprimorem sua aplicação. Nesse contexto, métodos multicritérios têm sido empregados com diferentes objetivos, como compreender as causas de acidentes e direcionar investimentos. No entanto não foram identificadas aplicações desses métodos para criar rankings de ferramentas de SSMA (Saúde Segurança e Meio Ambiente) assim como a definição de diretrizes para sua construção. Esses rankings podem subsidiar a implementação de ações como programas e campanhas de SSMA. Este trabalho propõe um modelo para ranqueamento de ferramentas de SSMA, utilizando a metodologia *Value-Focused Thinking* (VFT) para estruturar o problema e o método PROMETHEE-ROC para realizar a ordenação das ferramentas. Um framework foi desenvolvido para guiar a aplicação do modelo, que foi testado em um estudo de caso real em uma grande empresa do setor sucroenergético. A aplicação envolveu dados e consultas a especialistas de 18 unidades localizadas em três estados brasileiros. Como resultado, temos as observações comportamentais autoavaliações de segurança como as primeiras posições, e a gestão de mudança e a CIPA nas últimas posições. Nas posições intermediárias a simulação de Monte Carlo indica que temos uma robustez da posição menor, sendo em parte reflexo de uma heterogeneidade de aplicação das ferramentas de SSMA no cenário estudado.

Palavras-chave: Modelo de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA); Segura do trabalho; PROMETHEE-ROC; VFT (*Value focus Thinking*)

ABSTRACT

The use of safety tools has proven effective in reducing the accidents at work, highlighting the importance of methodologies to enhance their application. In this context, multicriteria methods have been employed for various purposes, such as understanding the causes of accidents and directing investments. However, no applications of these methods have been identified for creating rankings of HSE (Health, Safety, Environment) tools, nor for defining guidelines for their development. Such rankings can support the implementation of actions like HSE programs and campaigns.

This study proposes a model for ranking HSE tools, utilizing the Value-Focused Thinking (VFT) methodology to structure the problem and the PROMETHEE-ROC method to rank the tools. A framework was developed to guide the model's application, which was tested in a real case study within a large company in the sugar-energy sector. The application involved data and consultations with experts from 18 units located in three Brazilian states. As a result, behavioral safety self-assessments were ranked in the top positions, while change management and internal accident prevention commissions (CIPA) were ranked last. For the intermediate positions, the Monte Carlo simulation indicates lower robustness in the ranking, partially reflecting the heterogeneity in the application of SSMA tools in the studied scenario.

Keywords: Multicriteria Decision analysis (MCDA); Work safety; PROMETHEE-ROC; VFT (Value focus Thinking)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da Dissertação.....	17
Figura 2 - Barreira entre os perigos e os acidentes com ferramentas fonte: o autor, baseado em Reason (2000)	20
Figura 3 - Tipos de Cultura de Segurança Fonte:(DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013).....	23
Figura 4 - Distribuição dos elementos da norma no ciclo do PDCA (Fonte: o autor, baseado em ISO 45001 - 2018).....	27
Figura 5 - Diagrama de gravata borboleta para fins de gerenciamento de risco de barragens de aterro de armazenamento de água Fonte: o autor baseado em Alves et al., 2023.....	28
Figura 6 - Fases do ciclo de vida do projeto de construção e aplicação da metodologia VFT Fonte: O autor baseado em ALENCAR et al., 2017.....	30
Figura 7 - Procedimento para resolver um problema de MCDA Fonte: O autor, baseado em DE ALMEIDA et al., 2015.....	42
Figura 8 - Visualização de rede (Fonte: o autor, utilizando VOSViewer).....	48
Figura 9 - Fluxograma com as etapas para identificação de estudos por meio de bancos de dados e registros fonte: o autor.....	49
Figura 10 - Publicações por país fonte: O autor.....	49
Figura 11 - Fases divergentes e convergentes da tomada de decisão e etapas na construção de uma hierarquia de objetivos fonte: O autor baseado em Marttunen et al. (2019).....	56
Figura 12- Framework de aplicação do modelo.....	57
Figura 13 - Aplicação da árvore de decisão baseada em sistema de regras Fonte: o autor, baseado em Cinelli (2020).....	58
Figura 14 - Objetivos estratégicos, fundamentais e objetivos meios Fonte: O autor.....	61
Figura 15 -Cruzamento entre os elementos de segurança em destaque na literatura e ferramentas de segurança	62
Figura 16 – Resultado PROMETHEE-ROC em formato gráfico.....	73
Figura 17 – Resultado do teste de hipótese utilizando Tau de Kendall.....	74
Figura 18 - Gráfico com a taxa de frequência de acidentes sem afastamentos da área agrícola nas empresas associadas a ÚNICA.....	94
Figura 19 - Gráfico com a taxa de frequência de acidentes sem afastamentos da área industrial nas empresas associadas a ÚNICA.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AAS - Autoavaliação de Segurança
- AHP - *Analytic Hierarchy Process*
- APR – Análise Preliminar de Riscos
- ANP - *Analytic network process*
- CCPS – *Center for Chemical Process Safety*
- CIPA – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
- DDS – Diálogo Diário de Segurança
- DEMATEL - *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*
- DPSIR - *Drivers-Pressures-State-Impact-Response*
- EAB – Etanol Açúcar e Bioenergia
- ELECTRE - *ÉLimination Et Choix Traduisant la REalité*
- FANP – *Fuzzy Analytic network process*
- FDEMATEL – *Fuzzy Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*
- FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*
- FTOPSIS – *Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*
- Gmud – Gerenciamento de Mudança
- HAZOP – *Hazard and operability study*
- IAEA - *International Atomic Energy Agency*
- INSID - Instituto Nacional de Sistemas de Informação e Decisão
- ISO - *International Organization for Standardization*
- LOTO - *Lockout Tagout*
- MCDA - *Multi Criteria Decision Analysis*
- MCDM – *Multi Criteria Decision Making*
- MoC - *Management of Change*
- MIT - *Massachusetts Institute of Technology*
- OIT – Organização internacional do Trabalho
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- OSHA - *Occupational Safety and Health Administration*
- POP – Procedimento Operacional Padrão
- PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*
- RBPS - *Risk Based Process Safety*
- ROC - *Rank Order Centroid*
- SGSST – Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho

SSO – Saúde e Segurança Ocupacional

SSMA – Saúde, Segurança e Meio Ambiente

SMA – Segurança e Meio Ambiente

TOPSIS - *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia

VFT – *Value-Fused Thinking*

LISTA DE TABELAS

Tabela 3 - Funções para os critérios.....	33
Tabela 4 - Pesos ROC para n critérios	35
Tabela 1 - Ferramentas de SSMA e seus principais usos.....	37
Tabela 2 - Método multicritério com suas aplicações em segurança do trabalho	52
Tabela 5 – Parâmetros para critérios extraídos de sistemas	65
Tabela 6 – Origem dos dados para cada ferramenta	65
Tabela 7 - Escala de avaliação do critério comunicação.....	66
Tabela 8 - Escala de avaliação do critério rotina de segurança.....	67
Tabela 9 - Escala de avaliação do critério participação dos funcionários.....	67
Tabela 10- Escala de avaliação do critério aprendizagem organizacional.....	68
Tabela 11 - Escala de avaliação do critério liderança em campo, sabendo o que fazer	68
Tabela 12 - Escala de avaliação do critério incorporar aspectos e conceitos de Segurança de Processos	69
Tabela 13 - Escala de avaliação do critério contribuição para redução de acidentes.....	69
Tabela 14 - Escala de avaliação do critério agir proativamente.....	70
Tabela 15 – Parâmetros PROMETHEE.....	71
Tabela 16 - Matriz de consequências	72
Tabela 17 – Resultado PROMETHEE-ROC	72
Tabela 18 – Tabela com a análise de sensibilidade por meio de simulações de Monte Carlo.....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	QUESTÃO E OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.2	JUSTIFICATIVA DE PESQUISA	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	CULTURA DE SEGURANÇA	21
2.2	ESTRATÉGIA, POLÍTICA E DIRECIONAMENTO DE SEGURANÇA.....	25
2.2.1	Sistema de Gestão em SSO	26
2.3	REDUÇÃO DE ACIDENTES DO TRABALHO.....	27
2.4	VFT.....	29
2.5	PROMETHEE.....	30
2.5.1	PROMETHEE II	31
2.5.2	Métodos para elicitación dos pesos.....	34
2.6	FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO	36
2.7	CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE DECISÃO.....	40
2.7.1	Caracterização do decisor e outros atores.....	42
2.7.2	Identificação dos Objetivos Gerais e específicos	43
2.7.3	Estabelecer as alternativas	43
2.8	MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	44
2.8.1	Revisão de Literatura – Métodos Aplicados em Segurança do Trabalho.....	47
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
3.1	MÉTODO UTILIZADO NA PESQUISA	55
3.2	CENÁRIO GERAL DE ESTUDO	59
3.2.1	Proposta Multimetodológica.....	59

3.2.2 Estabelecimento das alternativas	62
3.3 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO	62
3.3.1 Caracterização do contexto de decisão	63
3.4 VALIDAÇÃO DE FRAMEWORK PARA RANQUEAMENTO DE FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
4.1 RESULTADOS GERAIS DO FRAMEWORK DE ORDENAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO	64
4.2 DISCUSSÕES	75
4.3 CONCLUSÃO.....	76
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÊNDICES	91
APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE.....	91
APÊNDICE B – Entrevista com o Decisor	92
APÊNDICE C – Cálculo e dados de taxa de frequência.....	94

1 INTRODUÇÃO

Temos no mundo quase 2 milhões de mortes a cada ano de causas relacionadas ao trabalho OIT (2021). Segundo dados da previdência social no Brasil no ano de 2021, foram 536.174 acidentes do trabalho, desses 2.556 resultaram em óbito e 5.664 resultaram em incapacidades permanentes. O agronegócio participa desses acidentes com 120 óbitos e 73 incapacidades (BRASIL, 2021). O setor de cana-de-açúcar também apresentou fatalidades ao longo dos últimos anos e mesmo com a redução da força de trabalho devido a mecanização da colheita, indica-se que a atividade manual nos canaviais ficou mais letal para seus trabalhadores e atividades mecanizadas, com letalidade superior aos indicadores nacionais (LIMA e RUMIN, 2023). Ao encontro do acima mencionado, veja o que diz uma grande pesquisadora de acidentes do trabalho e sistemas de segurança do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) Nancy Leveson:

"A maioria dos acidentes é causada por uma combinação de fatores organizacionais, gerenciais, técnicos e, às vezes, sociológicos ou políticos. Prevenir acidentes requer atenção a todas as causas raiz, não apenas ao evento desencadeador em uma circunstância particular. Corrigir cada falha individual não resolve os problemas de segurança [...] se apenas corrigirmos os sintomas e ignorarmos as causas subjacentes mais profundas, é improvável a prevenção de futuros acidentes."
— Nancy Leveson, *Uma Abordagem Sistêmica para Gestão de Riscos através de Indicadores Principais de Segurança* (2014).

Os sistemas sociotécnicos são intrinsecamente complexos devido à variedade de interações que ocorrem entre humanos, tecnologias e os ambientes operacionais e organizacionais. Essas interações ocorrem em múltiplos níveis, desde o comportamento individual até processos organizacionais e dinâmicas tecnológicas. Em razão dessa complexidade, a análise de acidentes em sistemas sociotécnicos exige uma compreensão profunda da estrutura de segurança do sistema como um todo, considerando como os diversos elementos interagem e influenciam o desempenho do sistema (WANG et al., 2022). Roy e Gupta (2020) destacam que os perigos são intrínsecos às operações do processo e têm o potencial de causar sérias interrupções nos negócios quando atualizados por meio de incidentes.

A segurança é uma consideração importante não apenas pelo direito dos funcionários de trabalhar em um ambiente seguro, mas também pela necessidade de controlar a exposição pública ao risco. (ROY e GUPTA 2020).

Com o desenvolvimento da complexidade do sistema, as teorias estão em constante evolução e mudança para evitar acidentes. O desenvolvimento de teorias de acidentes passou de teorias simples, duplas e multifatoriais (WANG et al., 2022). Para uma indústria de processo típica, podem existir vários problemas de tomada de decisão de investimento em segurança, e geralmente é difícil decidir com a devida precisão quanto investimento em segurança é “bom o suficiente” (ROY e GUPTA 2020).

Diferentes trabalhos utilizam diferentes fatores para a redução de acidentes, com o mesmo propósito de reduzir acidentes do trabalho podem ser utilizadas diferentes abordagens, desde aplicar métodos para entender o que aconteceu em um grande desastre para que ele não se repita, como Düzgüna e Leveson (2018) estudando o desastre da mina de Soma que gerou mais de 300 fatalidades, ou análises de barreiras para que os acidentes não ocorram e caso aconteçam tenham o menor dano, como Mirderikvand et al. (2022) que para determinar o status de segurança de um processo e seu nível de risco, usou dois tipos de obstáculos; barreiras a montante. Sendo que as barreiras a montante são utilizadas na prevenção do acidente, já barreiras a jusante são utilizadas para mitigar os danos do acidente. Outra aplicação foi no entendimento de como funciona o comportamento humano e o que pode ser trabalhado para ter comportamentos seguros, feito por Malakoutikhah et al. (2022), utilizando o método *fuzzy best-worst* e mapas cognitivos.

O número de aplicações publicadas de MCDA aumentou rapidamente desde 2000; estes descrevem uma ampla gama de decisões públicas e corporativas, muitas das quais são de grande escala e complexas. Simultaneamente, a diversidade de métodos MCDA aplicados também aumentou em parte devido a uma tendência crescente de combinar diferentes métodos MCDA e de integrá-los com outros métodos, particularmente para lidar com incertezas (MARTTUNEN et al., 2019). A saúde e segurança ocupacional é uma área multidisciplinar voltada para a proteção dos trabalhadores e dos ambientes de trabalho, sendo a abordagem multicritério particularmente adequada para a análise de riscos em saúde e segurança ocupacional, devido à sua capacidade de lidar com múltiplos critérios que muitas vezes são conflitantes (GUL et al.; 2018). Exemplos dessas aplicações estão presentes na seção 2.6.1.2 deste trabalho.

As ferramentas de gerenciamento de riscos exigem o envolvimento de toda a equipe, superando barreiras hierárquicas para alcançar melhorias nos processos de trabalho. Elas são fundamentais na gestão estratégica moderna, auxiliando na identificação e tratamento dos riscos associados às atividades e aos negócios, com o objetivo de apoiar cada projeto e a avaliação organizacional, aumentando as chances de sucesso dos empreendimentos (DINIZIO e MARTINS, 2020).

No dia a dia de uma empresa, é comum a adoção de ferramentas com diversas

finalidades, isso também acontece na segurança do trabalho. Podendo ser utilizadas para apreciação de riscos como HAZOP (MARHAVILAS et al., 2019), ou que trabalhem a comunicação destacando o uso do diálogo diário de segurança (DDS) (NEWMAN, 2019), ou observações comportamentais (PINOS et al., 2023). Essas ferramentas combinadas, tem por objetivo construir barreiras para que os riscos não se materializem em acidentes.

A maioria dos acidentes ou incidentes e eventos perigosos podem ser evitados pelo gerenciamento de riscos e contramedidas, como procedimentos operacionais ou treinamento. (FAN et al., 2020). Esse sistema complexo com diversas possibilidades de ferramentas, envolvendo diferentes áreas e pessoas surge como uma oportunidade de aplicação de MCDA, afinal, por onde iniciar um trabalho em uma realidade com ferramentas já implementadas?

1.1 QUESTÃO E OBJETIVOS DA PESQUISA

Diante da contextualização apresentada, este estudo pretende responder à seguinte questão de pesquisa: **Como desenvolver um modelo de decisão para ranquear ferramentas de segurança do trabalho a fim de reduzir a quantidade de acidentes no trabalho?**

A partir dessa pergunta, o objetivo geral traçado neste estudo foi: Propor um modelo que crie um ranking das ferramentas de segurança do trabalho de acordo com critérios que tenham valor para o decisor. A fim de evitar sobrecarga para as pessoas que utilizam as ferramentas sem deixar de melhorar os pontos que não funcionam plenamente além de atingir o objetivo principal do trabalho, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Propor um modelo que crie um ranking das ferramentas de segurança do trabalho
- Testar o modelo desenvolvido com uma aplicação real

1.2 JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

A prevenção de acidentes de trabalho é apontada por especialistas como de extrema importância por diversos motivos: a proteção da saúde e da vida dos trabalhadores, melhoria da qualidade de vida no trabalho, redução de custos, cumprimento das normas e leis, aumento da produtividade, preservação da imagem da empresa, desenvolvimento sustentável e responsabilidade social (BRASIL - FUNDACENTRO 2023). Uma organização é responsável pela saúde e segurança ocupacional dos trabalhadores e outros que podem ser afetados por suas atividades. Esta responsabilidade inclui promover e proteger sua saúde física e mental (ISO 45001 – 2018).

Nesse sentido, é importante que sejam desenvolvidas estratégias eficazes para prevenir e reduzir os acidentes de trabalho, incluindo o uso de ferramentas e programas que promovam o

comportamento seguro, a capacitação e conscientização dos trabalhadores. Além disso, é importante que sejam realizados estudos e pesquisas para avaliar a efetividade dessas medidas e identificar novas formas de prevenção. Existe umas grandes diferenças entre culturas de empresas, provocando diferentes resultados. Os dados da taxa de frequência de acidentes sem afastamentos referente ao ano de 2022, foram fornecidos por empresa com a evolução ao longo dos últimos anos dos associados a União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA) e estão disponíveis no anexo A. Neles podemos observar que existe uma grande variação de desempenho Entre as diferentes empresas e muitas vezes entre as áreas da mesma empresa.

Apesar de a taxa de acidentes no Brasil ter caído 25% nos últimos 10 anos (BRASIL – MINISTÉRIO DO TRABALHO 2023), entre os associados da UNICA a redução foi de 11%, comparando-se os resultados de 2018 com 2022. Além disso, ao considerarmos o período de 2019 a 2022, observa-se uma tendência de elevação na taxa de acidentes (UNICA, 2022). Neste cenário, torna-se relevante a realização de um trabalho acadêmico que promova a discussão sobre ferramentas de prevenção, auxiliando assim na redução de acidentes de trabalho e pode contribuir para a disseminação de informações e conhecimentos sobre o tema. Além disso, pode fornecer subsídios para adoção de medidas preventivas por parte das empresas e dos trabalhadores e até elaboração de políticas públicas e programas de capacitação, contribuindo para a melhoria das condições de trabalho e para a redução dos índices de acidentes.

No entanto em processos ou organizações intensivas em conhecimento apresentam relevantes desafios em integrá-los, o que pode comprometer o desempenho esperado e a geração de valor para os diferentes *stakeholders* das organizações adquirentes e adquiridas (SILVA et al., 2022). Esse cenário ressalta a importância de ferramentas de apoio à decisão que possam contribuir para a gestão e prevenção de acidentes, minimizando esses obstáculos e promovendo a integração eficaz do conhecimento.

Diversos métodos de apoio à decisão multicritério (MCDA) têm sido empregados na área de segurança do trabalho, visando melhorar a gestão e a prevenção de acidentes. No entanto, como será demonstrado detalhadamente no capítulo 2.6.1.2, até o momento, esses métodos não têm sido utilizados especificamente para a ordenação de ferramentas de segurança do trabalho. Apesar da ampla utilização de MCDA, a ordenação específica de ferramentas de segurança do trabalho ainda não foi abordada, o que indica uma janela principalmente quando se tem a oportunidade de aplicações práticas.

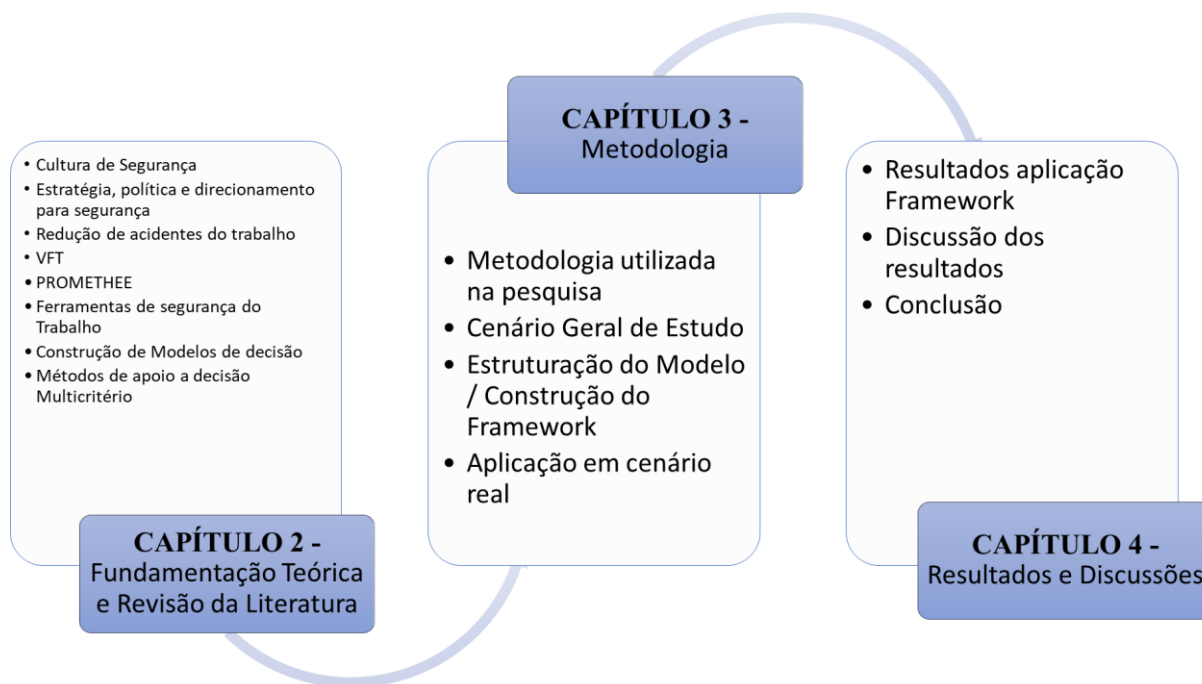


Figura 1 - Estrutura da Dissertação

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo apresenta-se as bases conceituais do estudo, com as práticas relevantes para o trabalho. A teoria do queijo suíço busca explicar a ocorrência de acidentes e falhas em sistemas complexos. Assim como no queijo suíço, essas camadas de defesa possuem falhas e imperfeições, representadas pelos buracos no queijo. Essas falhas podem ser erros humanos, ausência de barreiras físicas, falhas na análise de risco, falha na gestão de contratados, entre outros. Quando essas falhas se alinham, ocorre um acidente.

Com esse raciocínio, James Reason desenvolveu o modelo do “Queijo Suíço” também conhecido como modelo de influência do ato cumulativo, para explicar os acidentes nas organizações (WARNER, 2019, PINHEIRO et al., 2024). A teoria do queijo suíço acidentes destaca a importância de se analisar as falhas e imperfeições em cada camada de defesa, bem como as interações entre elas, para entender como os acidentes ocorrem. Além disso, ela ressalta a importância de se implementar medidas de prevenção e mitigação de riscos em todas as camadas de defesa, a fim de evitar que as falhas se alinhem e causem acidentes. A figura 2 traz uma adaptação da imagem de Reason (2000), nela os furos podem representar deficiências pelo não uso da ferramenta, ou vulnerabilidades pela qualidade na aplicação, tendo a figura exemplos de barreiras e das ferramentas que auxiliam na construção da barreira. Barreiras foram definidas como equipamentos, construções, ou regras que interrompem o desenvolvimento de um acidente

(HOLLNAGEL, 2004).

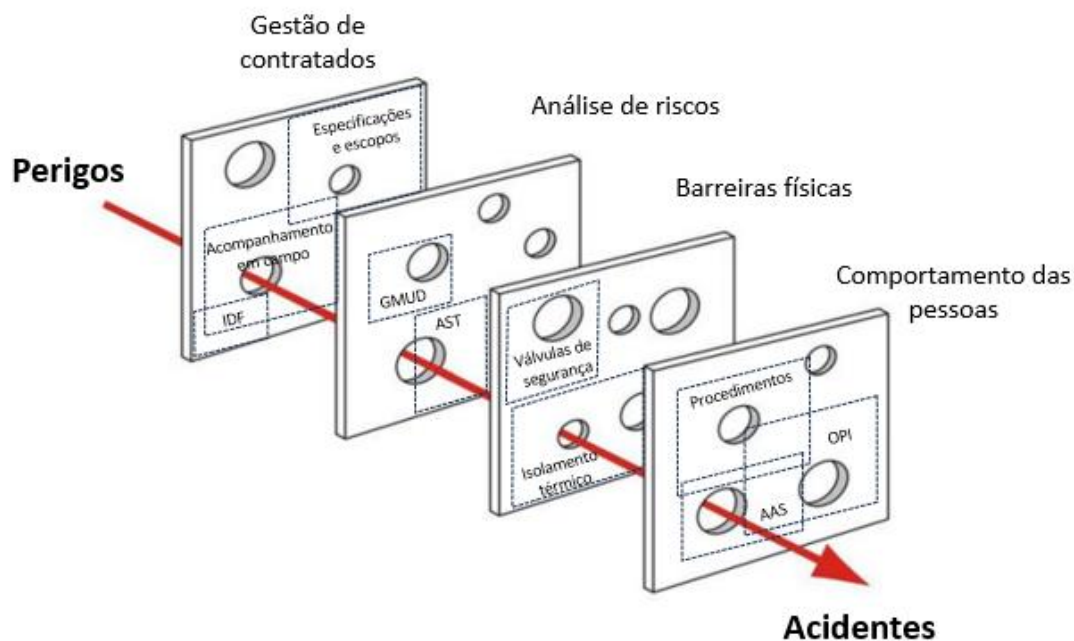


Figura 2 - Barreira entre os perigos e os acidentes com ferramentas fonte: o autor, baseado em Reason (2000)

A teoria do queijo suíço para acidentes de trabalho ilustra como falhas em diversas camadas de proteção podem se alinhar e resultar em acidentes (PINHEIRO et al., 2024). Para reduzir essas imperfeições, é possível implementar ferramentas que tornem as barreiras mais robustas ou melhorar o uso das ferramentas já existentes. No entanto é bastante importante compreender os elementos que impactam as barreiras de maneira geral (DEUS et al., 2017). A construção de modelos de decisão permite analisar, avaliar e aprimorar as estratégias de prevenção, de riscos (TOMIC, MARINKOVIC e JANOSEVIC, 2011), com isso podemos otimizar a aplicação das barreiras e ferramentas existentes para reduzir os riscos de acidentes.

Com o objetivo de embasar teoricamente a proposta desenvolvida neste trabalho, este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados à temática investigada. A escolha dos tópicos discutidos decorre diretamente do processo de estruturação do problema realizado com o apoio da metodologia Value-Focused Thinking (VFT). Durante a aplicação do VFT, em conjunto com o decisor, foram identificadas três dimensões essenciais associadas à segurança do trabalho: cultura de segurança, estratégia, política e direcionamento de segurança e redução de acidentes do trabalho.

Além desses temas centrais, também serão apresentados os fundamentos dos métodos utilizados no modelo proposto, com destaque para o próprio VFT e o método PROMETHEE, em sua variação PROMETHEE-ROC. Esses métodos são essenciais para compreender como os critérios foram definidos, organizados e aplicados na etapa de ranqueamento das ferramentas de segurança.

Assim, conforme ilustrado na Figura 1, os conteúdos deste capítulo estão organizados de forma a refletir a lógica construída na fase de estruturação do problema. A abordagem adotada visa facilitar a compreensão do leitor quanto à fundamentação conceitual utilizada e ao seu papel na aplicação prática apresentada nos capítulos seguintes.

2.1 CULTURA DE SEGURANÇA

A relevância da cultura de segurança para a prevenção de acidentes foi mencionada pela primeira vez após o desastre de Chernobyl em 1986 (Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), 1986). Chernobyl, *Three Mile Island* e outros exemplos semelhantes mostraram que, embora seja uma noção "suave" por si só, a cultura de segurança pode ter implicações de "segurança dura" na prática (ROCHA, R.; PUCCI, F.; WALTER, 2023; ZHANG et al., 2022; HAN et al., 2018). A partir desses eventos, o conceito de Cultura de Segurança passou a ser amplamente utilizado como um conjunto de valores e comportamentos relacionados à segurança e compartilhados entre os membros de uma organização, um padrão de ideias básicas compartilhadas, a serem ensinados aos novos membros como a maneira correta de perceber, pensar e sentir em relação a esses problemas (ROCHA, R.; PUCCI, F.; WALTER, 2023).

Ela foi avaliada diretamente em diversos estudos como um dos principais fatores que afetam a segurança, Xie e Liu (2019), utilizaram a cultura de segurança como um fator no estudo de acidentes com escadas rolantes. Os resultados de Fan et al. (2020), ao estudar os fatores humanos que contribuem para acidentes marítimos mostram que cultura de segurança é um dos três principais fatores. Para Ebrahimi et al. (2021) analisando os acidentes no transporte ferroviário do Canadá, identificou a cultura de segurança como uma das principais soluções para fatores organizacionais em seus acidentes.

Gonçalves Filho et al. (2011) selecionou os fatores indicativos da maturidade de cultura de segurança, realizando uma revisão de literatura de 25 estudos, sendo fatores mais frequentemente citados foram descritos a seguir:

Aprendizagem organizacional – é a forma como a organização trata as informações, como é feita a análise dos acidentes e dos incidentes, não conformidades e propõe ações de melhoria e se são implementadas e se os empregados são informados sobre estas ações, e se há busca contínua de melhorar os processos visando à segurança do trabalho (ISO 45001:2018; REASON, 2000; GONÇALVES FILHO, 2011).

Envolvimento e participação de todos – é a participação dos empregados nas questões de segurança, como na análise dos acidentes e incidentes que lhe diz respeito, na identificação e análise dos riscos do ambiente de trabalho, nas propostas de ações para melhoria da segurança do

trabalho e sua implementação, na elaboração e revisão dos procedimentos relacionados com sua atividade, no planejamento das suas atividades, e a participação em comitês de segurança, encontros de segurança etc. (CHOUDHRY; FANG; MOHAMED, 2007; GORDON; KIRWAN; PERRIN, 2007; GONÇALVES FILHO, 2011).

Aspectos relacionados a comunicação – é a forma, a conveniência e a oportunidade que é feita à comunicação sobre os temas relativos à segurança do trabalho, e se há um canal aberto de comunicação e cooperação entre os membros da equipe e superiores hierárquicos. Inclui também se comunicação chega aos empregados, se é compreendida por eles e se a organização monitora a efetividade da comunicação (EBRAHIMI et al., 2021; GLENDON; STANTON, 2000; MEARNS; WHITAKER; FLIN, 2003; GONÇALVES FILHO, 2011).

Comprometimento – é evidenciado pela proporção de recursos (tempo, dinheiro, pessoas) e suportes alocados para a gestão da segurança do trabalho, pelos status da segurança do trabalho em relação à produção, pela existência de um Sistema de Gestão da Segurança do Trabalho, em que constam a visão e objetivos da organização, definição de responsabilidades, a política de treinamento e qualificação, procedimentos, recompensas, sanções e auditorias. O verdadeiro comprometimento significa mais que políticas escritas e mencionar a importância da segurança do trabalho nos discursos, precisa haver coerência entre as palavras e a realidade (MENG et al., 2022; DEJOY et al., 2004; OLIVE, O'CONNOR; MANNAN, 2006; GONÇALVES FILHO, 2011).

De acordo com os diversos elementos comuns para trabalhar a cultura de segurança, existem várias formas de categorizar a cultura de segurança, associadas à sua maturidade. Hudson (2001) propõe um modelo dividido em cinco estágios: patológico, reativo, calculativo, proativo e construtivo, enquanto Fleming (2001), também com cinco estágios, apresenta as fases: estágio 1 – emergente, estágio 2 – gerenciando, estágio 3 – envolvendo, estágio 4 – cooperando e estágio 5 – melhoria contínua. Já a Du Pont (2024) adota um modelo com quatro fases: reativo, dependente, independente e interdependente. Neste trabalho, iremos condensar os elementos comuns dessas categorias com base na métrica utilizada por Daniellou, Simard e Boissières (2013).

A cultura de segurança pode ser compreendida como uma construção humana resultante da interação entre dois principais atores coletivos: os gestores e os empregados operacionais. A tipologia proposta para descrever essa cultura considera o grau de envolvimento e a responsabilidade que cada um desses atores assume em relação à segurança. Dessa forma, a cultura de segurança é configurada de acordo com a implicação de ambos os grupos na construção e manutenção das práticas de segurança dentro de uma organização (DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013).

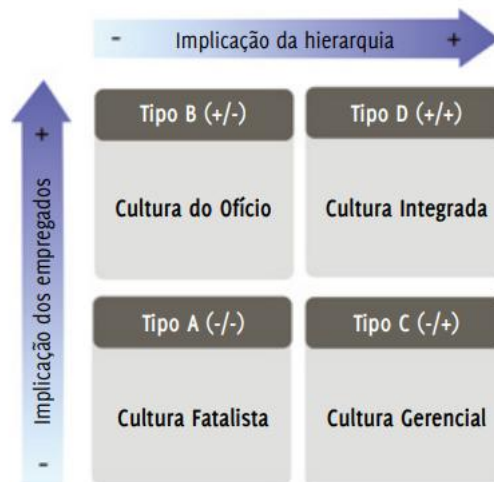


Figura 3 - Tipos de Cultura de Segurança Fonte:(DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013)

A tipologia que se segue permite apreender essa diversidade definindo quatro grandes tipos de cultura de segurança. Ela é construída a partir de que, em matéria de segurança, a cultura é uma construção humana edificada principalmente por dois atores coletivos em interação, gerenciamentos gestores e os empregados operacionais. Ora, ainda que teoricamente interessado, cada um desses atores, na prática, pode estar mais ou menos implicado, ativo e responsabilizando-se pela segurança, portanto na sua construção cultural (DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013). A tipologia é útil, pois fornece parâmetros claros para identificar a cultura dominante em uma organização, considerando que sempre existe uma predominante. Além disso, ela contribui para a compreensão da evolução histórica das culturas de segurança e para perceber as possíveis direções que elas podem seguir no futuro (ROCHA, R.; PUCCI, F.; WALTER, 2023).

A cultura fatalista (tipo A) caracteriza-se pelo baixo envolvimento tanto dos executantes quanto das lideranças, sendo os acidentes vistos como consequência do acaso. Dessa forma, os trabalhadores vítimas de acidentes graves frequentemente os associam à má sorte (DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013). No primeiro estágio, a segurança do trabalho é guiada principalmente pela obediência às regras e regulamentos, sendo considerada responsabilidade da área técnica. As melhorias são alcançadas por meio de salvaguardas de engenharia e introdução de procedimentos de controle de riscos. Os empregados, por sua vez, tendem a acreditar que a responsabilidade pela segurança é dos gerentes, sendo em grande parte imposta por eles (FLEMING, 2001), a informação é tratada como um recurso pessoal, utilizado como força política dentro da organização, não fluindo de forma aberta; sendo retida ou usada como vantagem pessoal (HUDSON, 2001), a organização como um todo só toma providências em segurança após a ocorrência de um problema, como um acidente ou uma inspeção de

segurança realizada pela autoridade competente (FERNÁNDEZ, 2019). Temos exemplos dessa mentalidade especialmente em setores como agricultura, construção civil, acidentes de trânsito e algumas indústrias. Um caso específico recente pode ser observado, os 33 mineiros presos durante dois meses em uma mina no Chile, que se consideravam sortudos e frequentemente agradeciam a Deus por estarem vivos (ROCHA; PUCCI; WALTER, 2023).

A cultura de ofício (tipo B) caracteriza-se por baixo envolvimento das lideranças e maior envolvimento dos executantes. Esse tipo de cultura foi predominante no Ocidente nos períodos industrial e pré-industrial e seus métodos se limitavam às práticas informais dos trabalhadores para evitar acidentes (DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013). É conhecido, por exemplo, que mineradores do século XVII levavam canários para minas subterrâneas para alertá-los, em caso de morte desses animais, do risco de vazamento de gás inflamável no local (ROCHA, R.; PUCCI, F.; WALTER, 2023).

A cultura de segurança Tipo C é predominante em grandes empresas de setores de alto risco, onde as lideranças têm um papel central no desenvolvimento das regras de segurança. Nesse modelo, o envolvimento dos trabalhadores geralmente se restringe à obediência às ordens, sem uma participação ativa na criação ou adaptação das normas (DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013). A organização foca na avaliação de riscos e estabelece suas normas e procedimentos de segurança (como disposições internas e procedimentos de trabalho) com base em acidentes anteriores ou regulamentações específicas. A responsabilidade pela segurança é atribuída principalmente às pessoas com funções dedicadas à área, sendo que o cumprimento das normas ocorre quando essas pessoas estão presentes no local de trabalho, com as consequências recair sobre o próprio trabalhador (FERNÁNDEZ, 2019). A liderança, por sua vez, busca implementar melhorias contínuas nos sistemas de saúde, segurança e meio ambiente, antecipando problemas antes que ocorram (FLEMING, 2001). Esse tipo de cultura, iniciou-se no fim do século XIX e se espalhou em todo o mundo, marcando o aparecimento de exigências de certificação internacionais. Nesse caso, há uma tendência de desvalorização do conhecimento acumulado pela cultura de ofício o que dificulta o desenvolvimento de confiança mútua entre trabalhadores e gestores (ROCHA, R.; PUCCI, F.; WALTER, 2023).

A cultura integrada de segurança (Tipo D) tem sido adotada por muitas empresas ao longo das últimas décadas, resultando em melhorias significativas no controle de riscos. Em contraste com os modelos em que o gerenciamento tem pouco ou nenhum envolvimento com a segurança, como ocorre na cultura fatalista (Tipo A), a cultura Tipo D promove o engajamento ativo de todos os níveis da organização (DANIELLOU, SIMARD e BOISSIÈRES, 2013). Nesse modelo, os operadores compreendem o motivo das regras de segurança e reconhecem seu valor, o que fortalece a adesão a essas normas. A segurança é encarada como

responsabilidade coletiva: os trabalhadores se cuidam mutuamente e não aceitam que ninguém viole as normas estabelecidas, sendo capazes de sugerir melhorias e soluções (FERNÁNDEZ, 2019). A segurança do trabalho é vista como um processo contínuo de aprimoramento, onde todos os membros da organização, desde a direção até os trabalhadores, têm um compromisso coletivo. Para alcançar esse estágio ideal de segurança, é necessário um processo contínuo de desenvolvimento, com valores e visão totalmente compartilhados dentro da empresa, exigindo envolvimento pessoal e ativo de todos (FLEMING, 2001). Um exemplo dessa evolução é ilustrado na construção dos procedimentos de voo, que inicialmente envolviam apenas os pilotos no *cockpit* e, passaram a incluir toda a tripulação em voo e os trabalhadores em terra. (ROCHA, R.; PUCCI, F.; WALTER, 2023).

2.2 ESTRATÉGIA, POLÍTICA E DIRECIONAMENTO DE SEGURANÇA

O direcionamento de segurança está diretamente ligado ao que se a alta liderança entende ser necessário. Liderança e comprometimento da alta direção da organização, incluindo conscientização, capacidade de resposta, suporte ativo e feedback, são fundamentais para o sucesso do sistema de gestão de SSO e o atingimento dos resultados pretendidos. (ISO 45001; 2018). A cultura é determinada, em grande parte, pela alta direção e é produto dos valores individuais e do grupo, atitudes, práticas gerenciais, percepções, competências e padrões de atividades que determinam o compromisso com, e o estilo e a proficiência de seu sistema de gestão na interação invariante do agente e do ambiente dinâmico (ISO 45001; 2018; MENG et al., 2022).

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) define que o objetivo do Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho (SGSST) é “proporcionar um método de avaliar e de melhorar comportamentos relativamente à prevenção de incidentes e de acidentes no local de trabalho, através da gestão efetiva de riscos perigosos e de riscos no local de trabalho.” (OIT, 2011).

Melhorar o desempenho dos gerentes de nível superior em relação a *feedback* adequado, treinamento e facilitação de recursos para os trabalhadores da linha de frente pode reduzir substancialmente a frequência de erros latentes nos níveis mais baixos do sistema. Decisões insuficientes dos gerentes superiores afetam negativamente as atividades de supervisão, o que pode influenciar os comportamentos dos operadores da linha de frente. (EBRAHIMI et al., 2021).

Em tomadas de decisão é necessário estruturar o problema, nesse processo a participação dos *stakeholders* é essencial. Os métodos participativos são aplicados em diversas

áreas como, engenharia, saúde e educação. Alguns exemplos de aplicação desses métodos podem ser encontrados em áreas como o planejamento do saneamento, energias renováveis, planejamento da educação, administração pública (BANA E COSTA, LOURENÇO, 2014) e saúde (KEENEY et al., 2001).

Mirderikvand et al. (2022) há uma necessidade urgente de abordar a medição dos fatores acima e melhorar sua segurança para a prevenção de explosões usando indicadores avançados. O uso de indicadores antecedentes baseados em barreiras de segurança de processo fornece as informações necessárias para os tomadores de decisão no processo de mitigação de riscos (SWUSTE et al., 2016). Atualmente, os indicadores que são utilizados na avaliação da segurança de alguns dos processos são classificados em dois grupos gerais de indicadores avançados e indicadores atrasados (PASMAN et al., 2016). Devido à importância desses indicadores para a avaliação dos níveis de segurança do processo, diversos estudos têm sido realizados.

Roy e Gupta (2020) Para uma indústria de processo típica, podem existir vários problemas de tomada de decisão de investimento em segurança, e geralmente é difícil decidir com a devida precisão quanto investimento em segurança é “bom o suficiente”. Alguns exemplos desse problema de tomada de decisão são: se uma empresa deve ou não comprar jaquetas à prova de fogo para seus funcionários; se um tanque de armazenamento de combustível deve ser à prova de fogo ou não. Esses problemas de tomada de decisão tornam-se mais intrincados à medida que aumenta o número de opções/salvaguardas para mitigar um risco específico. Por exemplo, em vez de proteger um tanque de armazenamento de combustível à prova de fogo, a empresa pode considerar a implementação de um sistema de alarme crítico. Normalmente, para uma planta de processo, em que existem vários desses problemas de tomada de decisão, é preciso tomar decisões de investimento dentro de um orçamento limitado. Em tal cenário, há necessidade de adotar uma estrutura geral de investimento em segurança que possa ajudar a alocar recursos de maneira ideal. Isso pode garantir que o retorno do investimento por meio da prevenção de acidentes seja maximizado e, ao mesmo tempo, reduzir o risco operacional residual a níveis aceitáveis.

2.2.1 Sistema de Gestão em SSO

A adoção de um sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional (SSO) destina-se a permitir que uma organização forneça locais de trabalho seguros e saudáveis, evite lesões e problemas de saúde relacionados ao trabalho e melhore continuamente seu desempenho de SSO (ISO 45001, 2018). Acidentes graves podem causar um grupo significativo de consequências, incluindo fatalidades, ferimentos, problemas de saúde, danos ambientais significativos, danos econômicos, interrupção da produção, danos punitivos e indenizatórios, aumento dos custos do

prêmio de seguro de risco e danos à reputação da empresa, sendo importante que a empresa esteja apta a desenvolver ações para prevenir esses acidentes (SANTOS et al., 2019).

A abordagem do sistema de gestão SSO aplicada na ISO 45001 é baseada no conceito *Plan-Do-Check-Act* (PDCA).

a) *Plan* (Planejar): determinar e avaliar de SSO, as oportunidades de SSO, outros riscos e outras oportunidades, estabelecer os objetivos e os processos de SSO necessários para assegurar resultados de acordo com a política de SSO da organização;

b) *Do* (Fazer): implementar, os processos conforme planejados;

c) *Check* (Checar): monitorar e mensurar atividades e processos em relação à política de SSO e objetivos de SSO, e relatar os resultados;

d) *Act* (Agir): tomar medidas para melhoria contínua do desempenho de SSO, para alcançar os resultados pretendidos;

A distribuição dos elementos da norma no ciclo do PDCA, que será seguida na estrutura do artigo, é apresentada na figura 4.

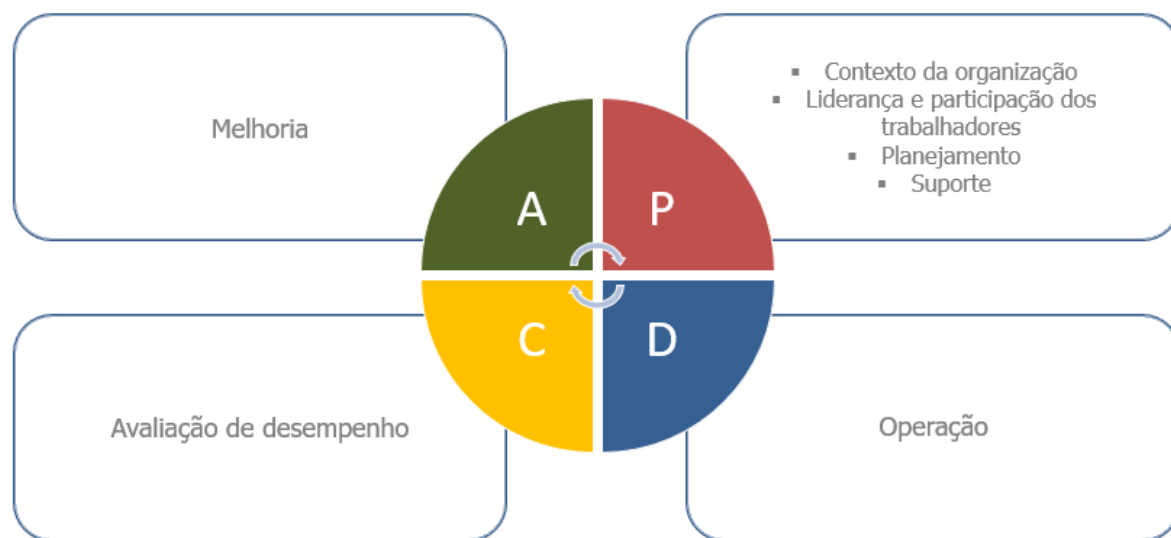


Figura 4 - Distribuição dos elementos da norma no ciclo do PDCA (Fonte: o autor, baseado em ISO 45001 - 2018).

2.3 REDUÇÃO DE ACIDENTES DO TRABALHO

O cuidado com o ambiente de trabalho, é um dever de entes públicos e privados. Veja o que foi dito pelo ministro do Trabalho e Emprego, Luiz Marinho durante a abertura da Campanha Nacional de Prevenção de Acidentes do Trabalho de 2023

As doenças ocupacionais levam mais de 2.500 pessoas a óbito no Brasil. Pessoas afastadas por doenças que, além da tragédia, impacta nas contas orçamentárias da União, dos Estados e dos Municípios, com custos e perdas também para as famílias e para a sociedade brasileira. São custos de indenizações,

previdenciários, entre vários outros. Cuidar do ambiente de trabalho, para evitar acidentes, é dever de gestor público e privado. (OIT, 2023)

Alves et al. (2023) utilizaram a ferramenta bow tie, aplicando a acidente ocorrido em Brumadinho. No centro da imagem, temos o evento, que foi rompimento da barragem, a esquerda em caixas azuis, as possíveis causas desse rompimento e no caminho as barreiras. Em caixas vermelhas a direita as consequências e no caminho barreiras que mitigariam essas consequências.

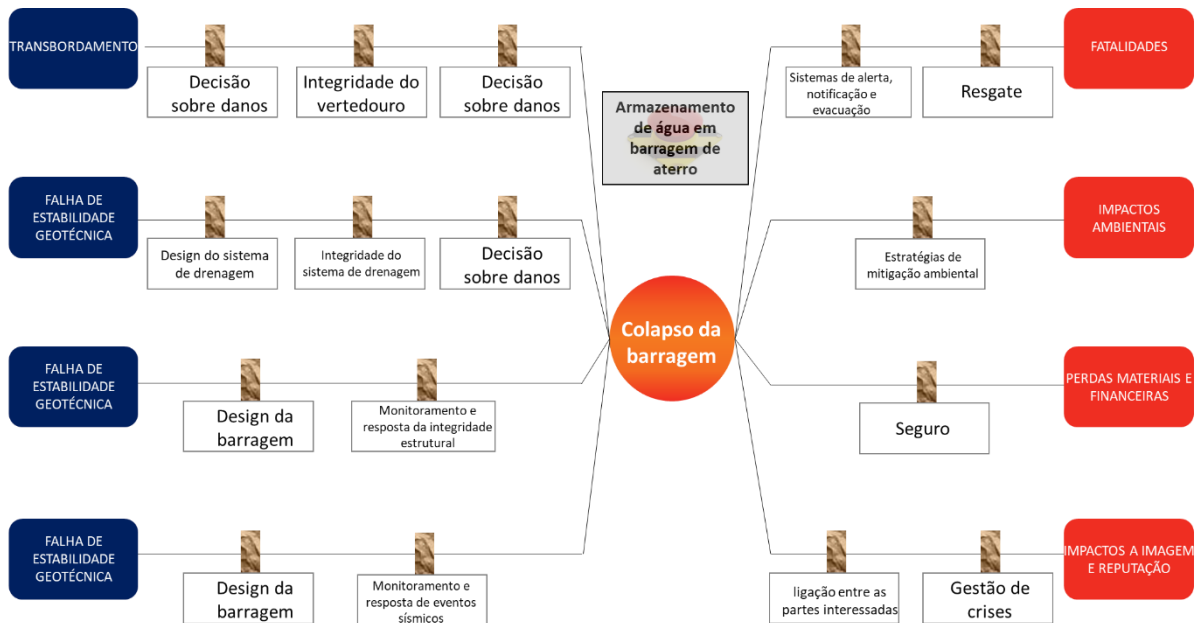


Figura 5 - Diagrama de gravata borboleta para fins de gerenciamento de risco de barragens de aterro de armazenamento de água

Fonte: o autor baseado em Alves et al., 2023

O desafio é como medir a segurança do processo por meio de indicadores antecedentes, pois isso envolve a mensuração de possíveis eventos antes que o acidente ocorra. Além disso, o autor enfatiza que a segurança não pode ser garantida apenas em indicadores de atraso. (SANTOS et al., 2019).

A complexidade dos sistemas tecnossocioeconômicos evoluiu além dos limites das atuais abordagens de prevenção de acidentes. Com os avanços da ciência e da tecnologia, os sistemas feitos pelo homem tornaram-se cada vez mais complexos (LEVESON, 2016), levando a complicações na causalidade dos acidentes e aumento da vulnerabilidade do sistema. Essas mudanças ultrapassaram os limites dos modelos e abordagens tradicionais de prevenção de acidentes (HOVDEN et al., 2010).

Existe uma lacuna entre pesquisa e prática na prevenção de acidentes. A maioria do pessoal de segurança tem uma capacidade limitada de prevenir acidentes e sofre de recuperação incompleta, mal-entendido de abordagens e julgamento incorreto de situações reais nos processos de recuperação e aplicação do método (BATRES et al., 2014). Sendo que a falta de informações de segurança resulta em decisões errôneas (WANG et al., 2022).

Assegurar a adequada planificação, competências, formação etc., no âmbito da gestão de condutores ferroviários, maquinistas, manutenção de viaturas etc.; ganha significativa importância para a redução de descarrilamentos e colisões de trens. (EBRAHIMI et al., 2021). O investimento em segurança pode afetar significativamente o desempenho dos negócios organizacionais. É, portanto, importante alocar recursos monetários em várias fontes de risco de forma a economizar custos futuros ao evitar acidentes (ROY e GUPTA, 2020).

Os indicadores de atraso não são úteis o suficiente durante a melhoria contínua do sistema de gestão de segurança, pois estão centrados em medir algo que já ocorreu, como o índice de acidentes. Então, faz-se necessário o uso de indicadores antecedentes, pois atuam de forma proativa, antecipando a deterioração do desempenho dos sistemas de segurança (SANTOS et al., 2019).

2.4 VFT

Existem vários métodos que podem ajudar na estruturação de um problema. um analista procura promover uma conversa engajada e estruturada, encorajar os proprietários do problema a ver a situação de diferentes perspectivas e facilitar a síntese da informação. O Pensamento Focado no Valor (*Value-Focused Thinking* - VFT) foi introduzido por Keeney (1992) como um método inovador para a tomada de decisões, enfatizando a importância de articular valores fundamentais antes de identificar alternativas. Diferentemente do pensamento focado em alternativas, que é reativo e limitado às opções já existentes, o VFT é proativo, guiando os tomadores de decisão a explorar oportunidades e criar alternativas alinhadas com os valores identificados.

O VFT integra métodos qualitativos e quantitativos na análise de sistemas complexos, fundamentando-se em princípios como ética, diretrizes para a ação, trocas de valores e atitudes diante dos riscos (SMITH et al., 2020). Na metodologia do VFT, os critérios surgem a partir da identificação dos valores fundamentais que contextualizam a decisão, proporcionando uma estrutura clara para a formulação de objetivos estratégicos, objetivos fundamentais e objetivos meios (ALENCAR et al., 2017). Os objetivos fundamentais estão relacionados aos fins que os decisores valorizam, sendo a razão principal do interesse na situação decisória, e orientam as tomadas de decisão no nível estratégico de uma organização. Por outro lado, os objetivos meios representam os recursos e ações necessários para alcançar os objetivos fundamentais, funcionando como os meios para se atingir os fins desejados (MORAIS et al., 2013; KEENEY, 1992).

O método tem sido amplamente aplicado em diferentes áreas. Por exemplo, Merrick et al. (2005) usaram o VFT para analisar decisões de segurança em uma operadora de petroleiros, enquanto Smith et al. (2020) o empregaram para avaliar o impacto da tecnologia blockchain em

uma organização financeira. Em operações militares, Logullo et al. (2022) combinaram o VFT com o método Rich Picture para estruturar problemas e analisar critérios conforme os objetivos fundamentais da decisão.

Uma característica central do VFT é a articulação de objetivos de decisão, que são definidos em termos de contexto, objeto e direção de preferência (SHENG; FUI-HOON; SIAU, 2005). Essas características permitem uma análise profunda dos valores envolvidos e garantem que as alternativas propostas estejam alinhadas com as prioridades do contexto decisório.

Além disso, o VFT também se destaca por seu papel na criatividade aplicada à tomada de decisões. Ele incentiva a geração de alternativas mais robustas e alinhadas aos valores fundamentais, permitindo que o processo decisório não apenas resolva problemas, mas também identifique novas oportunidades estratégicas. Um fluxo sobre as etapas da utilização do VFT é apresentado por Alencar et al. (2017)

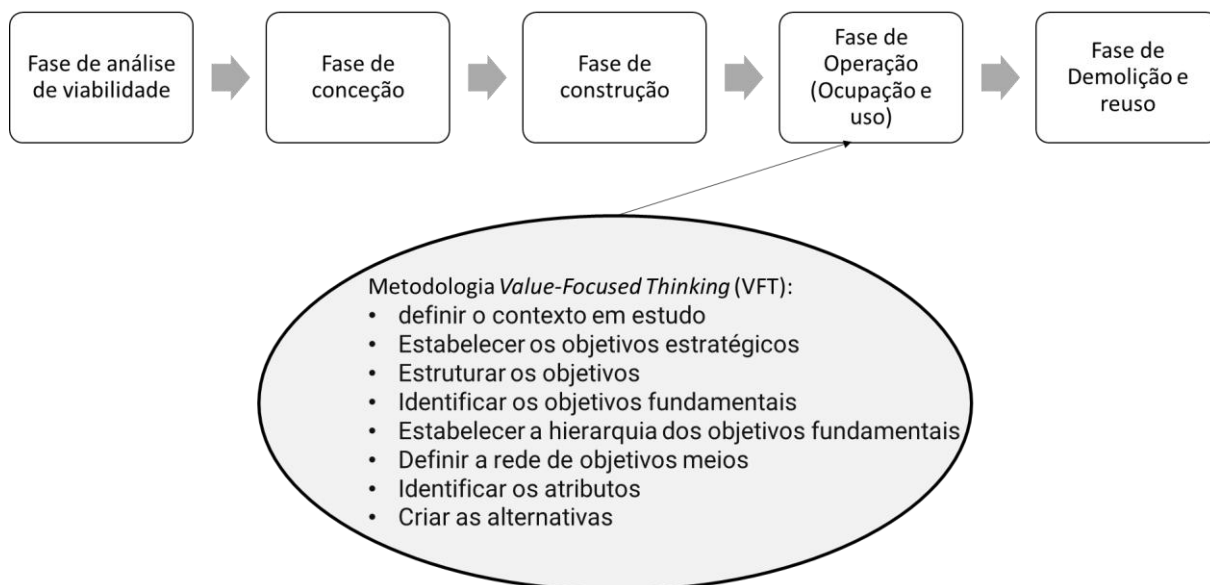


Figura 6 - Fases do ciclo de vida do projeto de construção e aplicação da metodologia VFT Fonte: O autor baseado em ALENCAR et al., 2017

2.5 PROMETHEE

O método PROMETHEE é um método multicritério de tomada de decisão, ele trabalha com uma classificação bastante simples na concepção e aplicação em comparação com outros métodos de análise multicritério. Está bem adaptado a problemas onde um número finito de ações alternativas deve ser classificado considerando vários critérios, por vezes conflitantes (BEHZADIAN, et al., 2010).

Os métodos de apoio a decisão podem ser vistos como um auxílio para tornar claro um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, sendo esses conflitantes, na maioria dos casos. Neste contexto, frequentemente faz-se uso de métodos que utilizam a abordagem de superação, a fim de selecionar um subconjunto de um conjunto finito de alternativas ou mesmo ordená-las. Em geral, os métodos de superação não permitem compensações ilimitadas de grandes diferenças, além disso, levam em conta o fato de que pequenas diferenças entre avaliações alternativas nem sempre são significativas, admitindo um modelo mais flexível do problema (BARROS, 2015; CAVALCANTE e De ALMEIDA, 2005).

Sendo um método de classificação superior, a abordagem PROMETHEE enfatiza a importância das informações de avaliação fornecidas por especialistas e requer menos contribuições (YU et al. 2023), sendo um método de fácil entendimento, de modo que os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm algum significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. Ele é baseado na comparação mútua de cada par de alternativas em relação a cada um dos critérios selecionados (TÓMIC et al. 2011; DELGADO, et al., 2023).

A família PROMETHEE abrange diversos métodos, incluindo PROMETHEE I, II, III, IV, V, VI e o PROMETHEE GAIA, que oferece uma representação gráfica das análises realizadas.

Os métodos PROMETHEE I e II são direcionados à problemática de ordenação: o PROMETHEE I fornece um ranking parcial, permitindo a existência de incomparabilidades entre alternativas, enquanto o PROMETHEE II gera um ranking completo, eliminando a incomparabilidade entre alternativas. O PROMETHEE III e o PROMETHEE IV foram desenvolvidos para tratar problemas decisórios mais sofisticados, envolvendo componentes estocásticos (DE ALMEIDA et al., 2016). O PROMETHEE IV, em particular, aborda situações em que o conjunto de alternativas é contínuo. Já o PROMETHEE V combina o PROMETHEE II com a programação inteira binária (0-1), sendo destinado à problemática de portfólio. Por sua vez, o PROMETHEE VI é adequado para cenários em que o decisor não está disposto ou apto a definir com precisão os pesos atribuídos aos critérios (DE ALMEIDA et al., 2016).

2.5.1 PROMETHEE II

A seguir são apresentadas as etapas para aplicação do método PROMETHEE II, eles são utilizados em problemas multicritério do tipo:

$$\text{Max} \{ g_1(x), g_2(x), \dots, g_j(x), \dots, g_k(x) \ \forall x \in A \}$$

Onde A é um conjunto finito enumerável de n ações potenciais em $g_j(a)$, $j=1,2,\dots,k$, k critérios, que são as aplicações de A sobre o conjunto dos números Reais. Cada critério tem unidade própria e não tem restrições no caso em que certos critérios são para maximizar e outros

são para minimizar. A utilização do PROMETHEE II exige o conhecimento de alguns conceitos utilizados em sua fase de construção da relação de sobreclassificação, tais conceitos são apresentados a seguir:

- w_j é o peso de cada critério e significa a importância que o critério tem.
- $g_j(a)$ é o valor ou o desempenho da alternativa “a” em relação ao critério j.
- $P_j(a,b)$ é a função de preferência, valor que varia de zero a um e representa o comportamento ou atitude do decisor frente às diferenças proveniente da comparação par a par entre as alternativas, para um dado critério. A preferência pode assumir valores na escala de 0 a 1, e combinações de relações são possíveis de representar usando as seguintes relações:

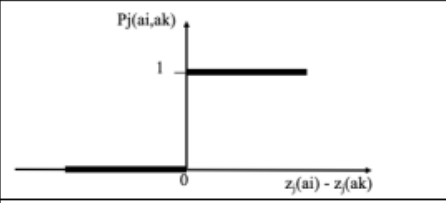
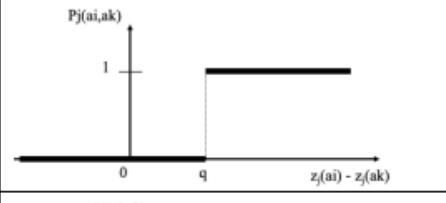
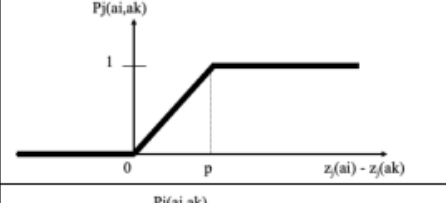
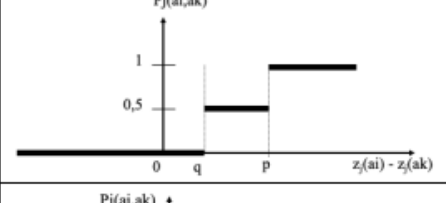
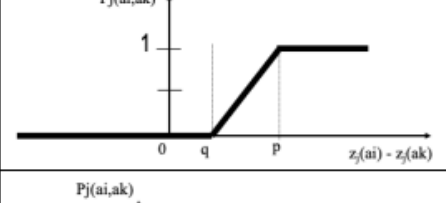
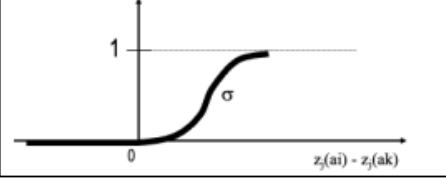
- $F(a, b)=0$ sem preferências, indiferença,
- $F(a, b)\approx 0$ preferência fraca $f(a)>f(b)$,
- $F(a, b)\approx 1$ forte preferência $f(a)\gg f(b)$,
- $F(a, b)=1$ preferência estrita $f(a)\gg\gg f(b)$.

Segundo De Almeida (2010), existem seis formas básicas para a função $F_i(a,b)$. O decisor pode representar suas preferências optando por aquela que mais se alinhe aos seus critérios. A tabela 2 detalha as funções para os critérios.

- Função Critério Usual: assume o valor 1 para diferenças de desempenho positivas e assume valor 0 para diferenças negativas ou iguais a 0.
- Função Quase Critério (U-shape): assume o valor 1 se a diferença de desempenho for maior que um parâmetro pré-definido q, que representa o limiar de indiferença entre as duas alternativas. A função assume valor 0 se a diferença for menor ou igual a q.
- Função Limite de Preferência (V-shape): assume o valor 1 se a diferença de desempenho for maior que um parâmetro pré-definido p, que representa o limiar de preferência estrita entre as duas alternativas. Assume o valor 0 se a diferença for negativa. Se a diferença estiver entre 0 e p, o valor da função é dado por uma equação linear.
- Função Pseudocritério (critério de nível): assume o valor 1 se a diferença de desempenho for maior que o limiar de preferência p. Assume o valor 0 se a diferença for menor ou igual ao limiar de indiferença q. Se a diferença for um valor entre q e p, a função assume o valor 1/2.
- Função Critério Linear: assume o valor 1 se a diferença de desempenho for maior que o limiar de preferência p. Assume o valor 0 se a diferença for menor que o limiar de indiferença q. Se a diferença for um valor entre q e p, o valor da função é dado por uma equação linear.

- Função Critério Gaussiano: segue a distribuição normal para diferenças de desempenho positivas e assume valor 0 para diferenças negativas. A função de preferência permanece crescente para todos os desvios e não tem descontinuidades. Requer a definição de apenas um parâmetro, o desvio padrão.

Tabela 1 - Funções para os critérios

Critério Usual		$P_j(ai, ak) = \begin{cases} 1 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) > 0 \\ 0 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) \leq 0 \end{cases}$
Quase Critério (U-shape)		$P_j(ai, ak) = \begin{cases} 1 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) > q \\ 0 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) \leq q \end{cases}$
Limite de Preferência (V-shape)		$P_j(ai, ak) = \begin{cases} 1 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) > p \\ \frac{z_j(ai) - z_j(ak)}{p} & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) \leq p \\ 0 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) \leq 0 \end{cases}$
Pseudocritério		$P_j(ai, ak) = \begin{cases} 0 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) \leq q \\ 0,5 & \text{se } q < z_j(ai) - z_j(ak) \leq p \\ 1 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) > p \end{cases}$
Critério Linear		$P_j(ai, ak) = \begin{cases} 0 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) \leq q \\ \frac{z_j(ai) - z_j(ak) - q}{p - q} & \text{se } q < z_j(ai) - z_j(ak) \leq p \\ 1 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) > p \end{cases}$
Critério Gaussiano		$P_j(ai, ak) = \begin{cases} 0 & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{[z_j(ai) - z_j(ak)]^2}{2\sigma^2}} & \text{se } z_j(ai) - z_j(ak) > 0 \end{cases}$

Fonte: Reis e Schramm (2022).

- q representa um limite de indiferença, o maior valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$ abaixo do qual existe uma indiferença.
- p representa o limite de preferência, o menor valor para $[g_i(a) - g_i(b)]$ acima do qual existe uma preferência estrita.
- $\Pi(a,b)$ é o grau de sobreclassificação de a em relação a b, também é chamado de índice de preferência multicritério. É calculado por:

$$\Pi(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j F_j(a,b) \quad \text{onde, } W = \sum_{j=1}^n w_j$$

• $\Phi^+(a)$ é chamado de fluxo de saída e representa a média de todos os graus de sobreclassificação de a , com respeito às todas as alternativas, é dado pela expressão:

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(a,b)}{n-1}$$

Quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa.

• $\Phi^-(a)$ é chamado de fluxo de entrada, representa a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as outras alternativas, é dado pela expressão:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(b,a)}{n-1}$$

Quanto menor $\Phi^-(a)$, melhor é a alternativa.

O decisor deve, então, estabelecer para cada critério um peso w_j sendo que o significado dos pesos dos critérios corresponde diretamente ao grau de importância dos critérios, para métodos de superação (De ALMEIDA et al., 2015). De acordo com o modo com que a preferência do decisor aumenta com a diferença entre o desempenho das alternativas para cada critério $[g_j(a) - g_j(b)]$, ele pode definir uma função $F_j(a,b)$ que assume valores entre zero e um. Estes valores aumentam se a diferença de desempenho, ou a vantagem de uma alternativa em relação à outra aumenta. E, são iguais a zero, se o desempenho de uma alternativa é igual ou inferior ao desempenho da outra.

Estabelecidas as intensidades de preferências, obtém-se o grau de sobreclassificação $\Pi(a,b)$ para cada par de alternativas (a,b) .

2.5.2 Métodos para elicitación dos pesos

Uma das dificuldades em utilizar o método PROMETHEE II é determinar a importância de cada critério. A importância de cada critério no processo decisório é refletida no modelo por meio da atribuição de pesos. A distribuição desses pesos é uma etapa crucial nos modelos multicritérios, pois pode impactar diretamente a tomada de decisão. (ALFARES e DUFFUA, 2016; SILVA, 2018). Além disso, uma série de outros procedimentos que utilizam de pesos substitutos foram desenvolvidos (BARRON; BARRET, 1996; CASTRO, 2023).

Um exemplo disso é a abordagem proposta por Morais et al. (2015), PROMETHEE-ROC, em que as preferências do decisor relacionadas à indicação dos pesos dos critérios é conduzida pelo procedimento do ROC, permitindo a minimização do esforço cognitivo do decisor.

O ROC é um método de informação parcial, que usualmente requer a ordenação dos critérios de acordo com sua importância relativa. O ROC foi proposto formalmente apresentado em Barron e Barrett (1996). Esta regra utiliza os vértices de um simplex para definir o peso centroide para cada critério (CLEMENTE, 2015). Este método reduz o erro máximo de cada peso de critério, identificando o centroide de todos os pesos possíveis (SILVA, 2018). Os pesos “w” são determinados para cada critério, tal que: $w_1 \geq w_2 \geq w_3 \dots w_n$, onde a somatória dos pesos deve ser igual a 1. A partir da equação calcula-se os pesos dos critérios ordenados, em que n é o número de critérios e $j=1,2,3\dots n$ é a posição do critério ordenado.

$$w_i(ROC) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{j}$$

A tabela 3 apresenta os resultados dos pesos para utilização obtidos com a aplicação da equação para n de 2 até 8.

Tabela 2 - Pesos ROC para n critérios

Posição	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6	n = 7	n = 8
1	0,7500	0,6111	0,5208	0,4567	0,4083	0,3704	0,3397
2	0,2500	0,2778	0,2708	0,2567	0,2417	0,2276	0,2147
3		0,1111	0,1458	0,1567	0,1583	0,1561	0,1522
4			0,0625	0,0900	0,1028	0,1085	0,1106
5				0,0400	0,0611	0,0728	0,0793
6					0,0278	0,0442	0,0543
7						0,0204	0,0334
8							0,0204

Fonte: ROBERTS e GOODWIN (2002)

A aproximação dos pesos atribuídos pelo ROC é adequada para contextos em que os pesos nominais estão sujeitos à restrição de soma igual a 1. Entretanto, quando os pesos nominais são determinados sem restrições iniciais, o Rank Order Distribution (ROD) é implementado, oferecendo aproximações mais precisas do que o ROC para esses casos de pesos irrestritos (ROBERTS e GOODIN, 2002).

Existem outros métodos com a mesma finalidade, como o Variable-slope linear (VSL) que apresenta a relação entre os pesos e ordenação lineares dos critérios, assumindo uma função de inclinação linear em relação ao número de critérios. A expressão matemática para definir os pesos (W) é descrita na seguinte fórmula:

$$W_{r,n} = 100 - \left(3.19514 + \frac{37.75756}{n} \right) (r - 1), \quad 1 \leq n \leq 21$$

Onde, n: é número de critérios; r: posição do critério de acordo com a importância relativa.

Outra possibilidade é o método dos cartões, Simos (1990) apresentou o SIMOS

Weighting Method, que permite aos decisores pensarem e expressarem suas percepções em uma estrutura hierárquica de diferentes conjuntos de critérios em um dado cenário. Esta técnica informa aos especialistas os dados necessários para atribuição de valores quantitativos ao conjunto de critérios.

Este procedimento pode ser descrito em cinco passos:

1) Cada decisor seleciona n cartões coloridos, que representam os n critérios do problema. Em cada cartão, é descrito o nome do critério e seu objetivo. Cartas em branco são utilizadas para separar as cartas coloridas, caso seja necessário;

2) O decisor organiza os cartões do menos essencial ao mais essencial. É permitido ao decisor agrupar cartões de diferentes cores em uma mesma posição, indicando que estes critérios apresentam pesos semelhantes;

3) os decisores inserem os cartões brancos entre os cartões coloridos para expressar sua preferência. Quanto maior o número de cartões brancos, maior a diferença entre os pesos dos critérios; e

4) Os pesos médios são calculados e normalizados de acordo com a ordenação das cartas coloridas e o distanciamento destas cartas, definido pelo número de cartas brancas entre as cartas coloridas.

Para finalizar a discussão sobre o método PROMETHEE e as possíveis combinações para elicitación de pesos, é relevante considerar os recursos tecnológicos que podem apoiar sua aplicação. Tais recursos facilitam a implementação dos métodos e oferecem suporte computacional e analítico aos tomadores de decisão. Para o método PROMETHEE, destacam-se os softwares PROMCALC e DECISION LAB, que auxiliam na aplicação dos métodos e na melhoria da qualidade das decisões com suporte computacional (BEHZADIAN et al., 2010). Apesar disso, o PROMETHEE é um método simples o suficiente para ser aplicado sem a necessidade de pacotes especializados, como demonstrado por Delgado et al. (2022), que utilizou o Excel para selecionar campanhas de segurança do trabalho.

Neste trabalho, será empregado o produto tecnológico do Instituto Nacional de Sistemas de Informação e Decisão (INSID), denominado *ROC Surrogate Weights for PROMETHEE Ranking with Monte Carlo Sensitivity Analysis and Kendall Test*. Essa ferramenta permite a aplicação do PROMETHEE II com elicitación de pesos por meio da metodologia ROC, além de realizar análises de sensibilidade com simulação de Monte Carlo e testar a aderência dos resultados utilizando o teste de Tau de Kendall. Por sua robustez e abrangência, este produto é considerado apropriado e completo para os objetivos deste estudo.

2.6 FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO

A literatura concebe as ferramentas de gestão de riscos como metodologias desenvolvidas para avaliar os riscos presentes em projetos ou processos produtivos, sendo aplicadas com o objetivo de fornecer subsídios que fundamentem a tomada de decisões dos gestores. Essas ferramentas são especialmente úteis na adoção de medidas para evitar potenciais problemas, contribuindo, assim, para a redução dos impactos sobre a produção, os trabalhadores e os equipamentos (SILVA et al., 2010; DINIZIO e MARTINS, 2020).

As ferramentas de segurança do trabalho podem ter diferentes aplicações, uma delas está ligada ao estudo da maturidade da cultura de segurança. Ele é importante, visto que conhecendo o estágio de maturidade de uma empresa, os gestores conseguem priorizar esforços e recursos para as áreas que necessitam de melhorias, a fim de, desenvolver uma cultura de segurança, constituindo-se como um instrumento fundamental para o Sistema de Gestão de Segurança no Trabalho (MARCHI, PEREIRA E BURTET; 2018).

A observação comportamental é uma ferramenta que se baseia na análise do comportamento dos colaboradores durante o trabalho para promover a conscientização e o apoio entre eles (FREITAS, 2018).

Tabela 3 - Ferramentas de SSMA e seus principais usos

Ferramenta	Principais usos
DDS	Esta iniciativa consiste em reuniões breves e regulares, conduzidas diariamente antes do início das atividades laborais, nas quais os colaboradores discutem questões de segurança específicas relacionadas às suas tarefas. Por meio do DDS, os trabalhadores têm a oportunidade de compartilhar preocupações, identificar riscos potenciais e propor soluções, contribuindo assim para a prevenção de acidentes e a promoção de um ambiente de trabalho seguro (FRANCO et al., 2023).
Observação comportamental	Essa prática envolve a observação direta dos comportamentos dos trabalhadores em relação às práticas de segurança, permitindo identificar padrões, tendências e áreas de risco. Ao analisar os comportamentos individuais, as organizações podem implementar intervenções direcionadas, como treinamento específico ou modificação de procedimentos, para promover uma cultura de segurança mais robusta e sustentável (ISMAIL et al., 2012; DEJOY, 2005).

Intervenção, STOP ou direito de recusa	O direito de recusa é uma ferramenta de proteção ao trabalhador, que permite a interrupção de atividades diante de um risco grave e iminente à sua segurança, saúde ou de terceiros. Entretanto, sua aplicação é paradoxalmente limitada e ineficaz na prevenção de acidentes quando passa a ser visto sob uma perspectiva punitiva, sendo tratado como uma obrigação ou dever do trabalhador (CALVO et al., 2020; LIMA, RABELO e CASTRO, 2015).
Investigações de incidentes	A investigação de incidentes é um processo de relato, acompanhamento e análise que inclui: (1) um procedimento formal para investigar incidentes, com equipe, execução, documentação e acompanhamento, e (2) a análise de tendências para identificar recorrências. O processo também gerencia a resolução e documentação das recomendações. Embora em algumas instalações seja usado para atribuir culpa, o foco deve estar em desenvolver recomendações que tratem das causas sistêmicas, visando solucionar as causas subjacentes relacionadas ao sistema, em vez de buscar culpados (CCPS, 2024).
Autoavaliações de segurança	Autoavaliação de Segurança (AAS) é uma ferramenta para todos utilizarem antes de começar a trabalhar. Os três passos simples da AAS são: avaliar o risco, analisar como reduzir o risco e agir para garantir operações seguras (ISMAIL et al., 2012).
FMEA	o FMEA (<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>) é uma metodologia amplamente utilizada para identificar e analisar potenciais falhas em processos industriais. O FMEA é uma abordagem sistemática que visa examinar os modos de falha, suas causas e os efeitos dessas falhas sobre o sistema como um todo (DINIZIO e MARTINS, 2020).
Gestão de mudança (Gmud) ou <i>Management of Change</i> (MoC)	O gerenciamento de mudanças (MOC) é uma ferramenta de gestão de riscos do RBPS, garantindo que alterações em processos não introduzam novos perigos ou aumentem riscos existentes sem conhecimento. O MOC envolve revisão e autorização de mudanças no design, operações, organização ou atividades, assegurando que novos perigos não surjam e que riscos atuais não aumentem. Inclui também etapas para notificar o pessoal afetado e manter atualizados os

	documentos relevantes, como procedimentos e informações de segurança de processos (CCPS, 2024)
Análise Preliminar de Riscos (APR) / Padrão operacional seguro ou Procedimento operacional padrão (POP)	É a documentação do planejamento do trabalho repetitivo, projetado para atingir um padrão de qualidade e minimizar erros recorrentes. Dessa forma, a empresa assegura diversos aspectos, como saúde e segurança no trabalho, proteção ao meio ambiente, além da redução de perdas e retrabalho (PAULA et al., 2022), ela tem como objetivo determinar os riscos que podem estar presentes na fase operacional de um processo, ainda na fase de concepção ou desenvolvimento do sistema ou processo (BARBOSA, PINHEIRO e CRISÓSTOMO, 2021).
Lockout Tagout (LOTO)	O Lockout Tagout (LOTO) é um procedimento de segurança que visa garantir a desenergização completa de máquinas e equipamentos durante intervenções, utilizando dispositivos de bloqueio e etiquetagem para evitar a reativação acidental. Ele é aplicado em conformidade com as NRs 10, 12 e 13, e envolve a identificação de fontes de energia, a criação de procedimentos específicos, o treinamento dos trabalhadores e auditorias regulares para assegurar a eficácia do sistema (TOSMANN, 2022).
Comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA)	A CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes) é uma comissão com o objetivo de prevenir acidentes no trabalho, conforme estabelecido pela legislação trabalhista, especialmente a Norma Regulamentadora NR-5. A CIPA é composta por representantes dos empregadores e empregados, atuando em conjunto para identificar riscos no ambiente de trabalho, promover ações preventivas e conscientizar os trabalhadores sobre medidas de segurança. O foco principal é garantir a saúde e segurança no ambiente de trabalho, visando reduzir incidentes (MELO, 2023)

As ferramentas de segurança do trabalho desempenham um papel importante na construção de uma cultura organizacional. Essas ferramentas não apenas contribuem para a implementação das estratégias de segurança da empresa, mas também reforçam a importância do comprometimento contínuo com a segurança. Como apontado por Galdino et al. (2016), a aplicação eficaz dessas ferramentas depende diretamente de profissionais qualificados, pois sua implementação inadequada pode levar a resultados equivocados, comprometendo a eficácia das

ferramentas. Vale destacar que nesta seção são descritas um número maior do que as que farão parte da aplicação prática, isso é natural uma vez que as empresas não aplicam todas as ferramentas de SSMA, sendo esta uma base para facilitar que o decisor defina quais ferramentas estarão na matriz de consequências.

2.7 CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE DECISÃO

Para escolher uma alternativa, a partir de um conjunto de alternativas possíveis, em um problema clássico de otimização, há uma função objetivo a ser maximizada ou minimizada. Em um problema multicritério, há mais de um objetivo a ser considerado e em muitas situações, esses objetivos são conflitantes. Esses objetivos estão associados aos possíveis resultados que resultarão da escolha de uma alternativa (ALMEIDA et al., 2015). Nesse contexto, uma pessoa normalmente examina apenas dois ou três fatores de cada vez, pois a análise simultânea de mais fatores seria muito difícil. Portanto, sem ferramentas de apoio à decisão, os tomadores de decisão tendem a simplificar o problema, reduzindo-o a um nível compreensível (NORDIC COUNCIL OF MINISTERS, 1997).

Para lidar a complexidade de problemas reais temos um crescente interesse pelo estudo dos processos de tomada de decisão que tem impulsionado uma significativa evolução no tema. Hoje em dia, metodologias multicritério são amplamente adotadas em diversas organizações, com o uso de sistemas complexos de apoio à decisão. Diante disso, torna-se fundamental examinar os elementos e as etapas envolvidas no processo de apoio à decisão multicritério (DE ALMEIDA E COSTA, 2002).

Um modelo é uma representação formal e simplificada de uma realidade. Ele descreve um sistema ou situação real, permitindo sua análise e facilitando a obtenção de conclusões sobre seu funcionamento e desempenho (DE ALMEIDA, 2013).

O processo de apoio multicritério à decisão, conforme exemplificado por Belton e Stewart (2002) apresenta as principais variáveis envolvidas. Existem 3 estágios do processo metodológico, desde a identificação do problema até o desenvolvimento de um plano de ação baseado nos resultados. Esse processo é composto por três fases principais – estruturação do problema, construção do modelo e utilização do modelo para informar – que se desdobram em um ciclo de cinco etapas. Os autores descrevem essas fases da seguinte maneira:

a) **Estruturação do problema** – Fase caracterizada pelo pensamento divergente, onde o objetivo é expandir a questão em estudo para investigar e entender sua complexidade.

b) **Construção do modelo** – Etapa onde o pensamento é mais convergente. O foco é capturar a essência da questão, utilizando uma representação complexa que acrescente detalhes e

informações mais precisas.

c) **Utilização do modelo para informar** – Nesta fase, é necessário pensar criativamente sobre as opções a serem implementadas, além de realizar uma síntese dos resultados obtidos.

Outra abordagem utiliza alguns procedimentos para a construção de um modelo de decisão multicritério. O processo de decisão típico é composto por oito etapas, sendo o primeiro passo selecionar o método de decisão multicritério mais adequado ao tipo de problema. Em seguida, o decisor, junto com o analista deve definir os requisitos da decisão, estabelecer os objetivos, identificar as alternativas, avaliar os critérios, escolher e aplicar a ferramenta de decisão e, por fim, verificar a solução (SABAEI et al., 2015).

A abordagem deste trabalho utiliza o procedimento de refinamento sucessivo para a resolução de problemas de MCDM/A. O processo de construção do modelo é mostrado na figura 5, sendo que o procedimento possui três fases principais, cada uma com vários passos. As duas primeiras fases estão relacionadas à etapa de design do modelo. Primeiro, uma fase preliminar é conduzida, na qual os principais elementos do problema de MCDM/A são abordados e o PSM pode ser aplicado para a estruturação do problema. (DE ALMEIDA et al., 2015).

Na segunda fase, é realizado o modelamento de preferências e escolhido o método MCDM/A. Ao final desta segunda fase, o modelo de decisão está pronto para ser aplicado. A segunda fase é a mais flexível de todas; na verdade, os três passos desta fase podem ser realizados quase simultaneamente, explorando um processo mais rico e esclarecedor. Um modelo MCDM/A já construído é uma entrada para a terceira fase, embora ainda possa ser alterado, devido à possibilidade de retornar para revisar etapas anteriores no processo de refinamento sucessivo (DE ALMEIDA et al., 2015).

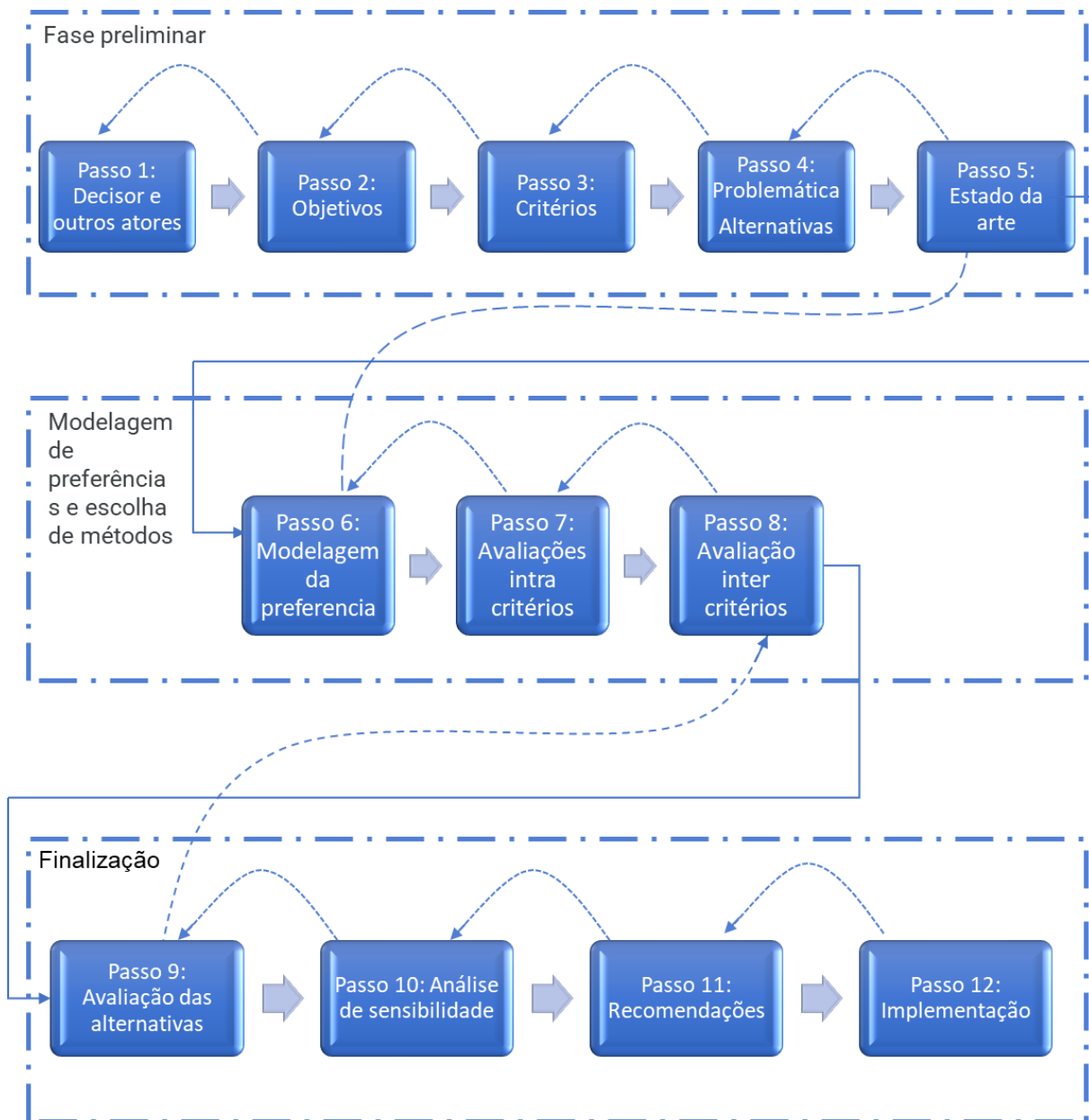


Figura 7 - Procedimento para resolver um problema de MCDA Fonte: O autor, baseado em DE ALMEIDA et al., 2015

2.7.1 Caracterização do decisor e outros atores

Dentro de uma organização para cada tipo de decisão as pessoas podem ocupar um papel diferente, na figura – 7 ficam explicitas esses papéis. Os *Stakeholder*, passam o direcionamento do que no contexto atual são a estratégia da empresa para os diferentes temas, definindo o decisor e munindo-o com informação. Embora possa parecer simples, é essencial identificar claramente quem fornecerá as preferências para o problema. Isso pode envolver uma decisão individual ou uma decisão em grupo (VELOSO, 2023). O decisor, é quem interpretando esse contexto estrutura os projetos, transformando a estratégia em objetivos gerais e específicos, que terão ações e acompanhamento.

O analista apoia o decisor na construção de um modelo e métodos que são capazes de

captar não apenas as ideias do decisor, mas também de especialistas internos e externos da organização, organizando o porquê cada decisão está sendo tomada, estabelecendo para isso um cruzamento entre as características do problema em pauta e a literatura existente sobre o tema. Nas decisões em grupo, decisões com mais de um decisor, o analista também pode desempenhar o papel de facilitador, também chamado de moderador, promovendo a interação entre os decisores (DE ALMEIDA, 2013).

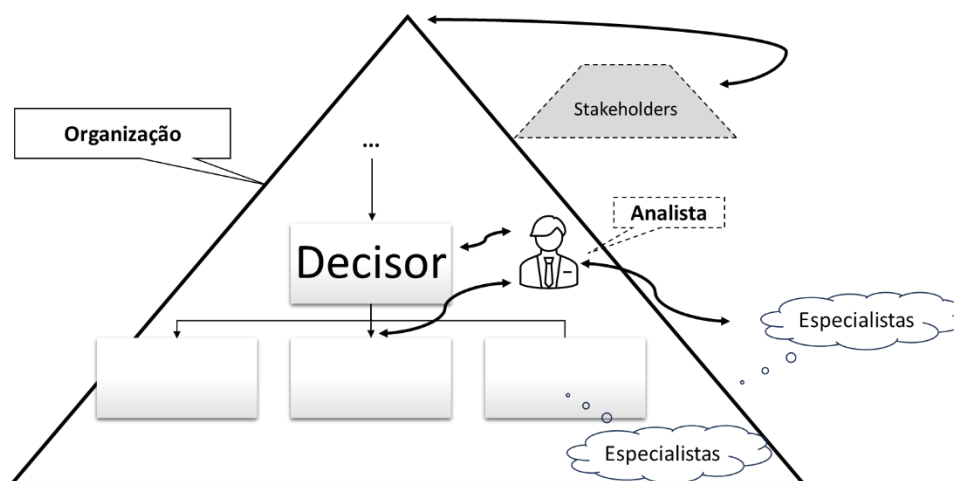


Figura 8 - Caracterização do decisor no modelo de decisão fonte: O autor, adaptado de De Almeida (2015)

2.7.2 Identificação dos Objetivos Gerais e específicos

A fase de definição dos objetivos e critérios do problema de decisão é essencial para o modelo decisório, pois estabelece os elementos que serão avaliados ao comparar as alternativas. A articulação clara de objetivos pode melhorar fortemente a qualidade de um processo de tomada de decisão (KEENEY, 1992). Definir os objetivos e organizá-los como uma hierarquia é uma etapa central e talvez a mais desafiadora e demorada na Análise de Decisão Multicritério (MARTTUNEN et al., 2019).

Um objetivo é uma declaração de algo que se deseja alcançar. É caracterizado por três características: um contexto de decisão, um objeto e uma direção de preferência. (KEENEY, 1992).

2.7.3 Estabelecer as alternativas

As metodologias convencionais de tomada de decisão sempre tentaram avaliar alternativas; a diferença está na base dessa avaliação. Se os objetivos estiverem incompletos ou não claramente definidos, os dados para avaliar alternativas provavelmente não são tão úteis quanto poderiam ser. Se os valores não forem explicitamente especificados, os julgamentos de valor implícitos podem não ser apropriados para a decisão que está sendo tomada. Mais importante ainda, se o modelo de valor não for baseado em julgamento e lógica sólidos, os insights baseados na avaliação com esse modelo de valor não podem ser sólidos (KEENEY, 1992).

Os processos de pensamento de uma pessoa sobre quais alternativas são possíveis estão

ancorados e, portanto, ela não é criativa na criação de alternativas e pode se contentar com uma alternativa consideravelmente menos desejável do que outras que poderiam ter sido desenvolvidas. No pensamento focado em valor, ao contrário, o modelo de valor orienta a busca por alternativas criativas na direção que se deve seguir (KEENEY, 1992).

Algumas alternativas de ferramentas ou temas que precisam ser trabalhados são recorrentes, Inspeção pela supervisão: Métodos mais robustos de treinamento e inspeção. (EBRAHIMI et al., 2021) Avaliação das condições no local. O departamento de segurança avalia a segurança do sistema, incluindo inspeção de dados e inspeção no local, e usa a lista de verificação de segurança e métodos de avaliação de risco para inspecionar rigorosamente e pontuar o sistema. (WANG et al. 2022). Procedimentos: Otimizar proativamente a prevenção de acidentes através do desenvolvimento de procedimentos específicos para embarcações de pesca e treinamento para tripulações de embarcações de recreio (FAN et al. 2020; MENG et al., 2022). Observações comportamentais: estratégias de alerta para funcionários e design adequado de ambiente de descanso no local de trabalho (EBRAHIMI et al., 2021). Treinamentos: Métodos mais robustos de treinamento e inspeção, treinamento de funcionários para lidar com fadiga e distúrbios do sono (EBRAHIMI et al., 2021).

Embora as teorias e abordagens tradicionais de prevenção de acidentes possam realmente alcançar efeitos preventivos sólidos, elas são adequadas apenas para acidentes tradicionais de sistemas simples e, como mencionado acima, as ameaças decorrentes de novas tecnologias estão sempre além da pesquisa contemporânea de prevenção de acidentes. Atualmente, os componentes da maioria dos sistemas e o ambiente em que estão inseridos sofreram grandes mudanças, acompanhadas pelo surgimento de novos tipos de ameaças, expondo assim as limitações das abordagens tradicionais de prevenção de acidentes (WANG et al., 2022).

2.8 MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO MULTICRITÉRIO

Em linhas gerais, as decisões são formuladas por processos que definem as diretrizes de uma operação. Os processos decisórios eram focados em um único objetivo ou consideravam condições para atender a uma única perspectiva, evidenciando a busca pela melhor solução. Entretanto, as limitações, o risco e a influência de vários fatores sobre o processo decisório conduzem os agentes de decisão a buscarem metodologias mais flexíveis e adequadas à descrição do contexto (CLEMENTE, 2015).

Os métodos de apoio à tomada de decisão multicritério (MCDA) são aplicados em contextos em que múltiplos critérios conflitantes precisam ser considerados. A tomada de decisão envolve a identificação e seleção de alternativas para encontrar a solução mais adequada, levando

em conta diversos fatores e as expectativas dos avaliadores (RIVAS, 2016). Este processo ocorre dentro de um ambiente de decisão, caracterizado pela coleta de informações, alternativas, valores e preferências disponíveis no momento da escolha. Esses métodos auxiliam na estruturação do processo decisório, proporcionando uma avaliação mais organizada e transparente, facilitando a comunicação dos resultados e promovendo decisões mais fundamentadas e alinhadas com os objetivos estabelecidos (RIVAS, 2016; MONTIS et al., 2000).

Na presença de objetivos conflitantes entre si, uma solução ótima dificilmente existirá e a busca passa a ser pela solução de melhor compromisso em relação a todos os objetivos considerados (REIS e SCHARAMM, 2022). O MCDA engloba um conjunto de métodos e abordagens, tanto quantitativas quanto qualitativas, que ajudam a organizar e priorizar diferentes critérios, cada um com sua importância relativa, aos quais são atribuídos pesos distintos. Esses métodos são particularmente úteis em lidar com problemas complexos, permitindo a sua divisão em critérios menores, facilitando assim a análise, o debate e a identificação das concordâncias e discordâncias entre as alternativas (SOUZA, SANTOS e CINTRA, 2018).

Um dos primeiros passos no estudo de um problema de decisão multicritério é a identificação das problemáticas. As problemáticas de decisão estão relacionadas ao tipo de resposta que o decisor espera obter (INFANTE, 2019). Uma problemática refere-se à forma de categorizar um tipo de problema de decisão, de acordo com o modo como o decisor deseja comparar as alternativas disponíveis. As problemáticas no MCDA orientam o processo de decisão ao definir se o objetivo é selecionar a melhor alternativa, classificá-las em uma ordem de preferência, ou simplesmente agrupar as opções em categorias específicas. Dessa maneira, a escolha da problemática adequada direciona o método multicritério a ser utilizado.

Nos problemas de decisão, o decisor deseja realizar uma escolha sobre as alternativas, de acordo com uma das problemáticas – aqui uma problemática diz respeito à forma de classificar um tipo de problema de decisão, a partir da forma como o decisor deseja comparar as alternativas do conjunto em questão (DE ALMEIDA, 2013).

Existem quatro tipos de problemáticas, de acordo com Roy (1996):

- Problemática $P.\alpha$, a problemática de escolha de uma alternativa;
- Problemática $P.\beta$, a problemática de classificação, alocação das alternativas em classes ou categorias pré-definidas;
- Problemática $P.\gamma$, a problemática da ordenação das ações;
- Problemática $P.\delta$, a problemática de descrição das ações e o seu conjunto de consequências.

Por sua vez, Belton e Stewart (2002) acrescentam outras duas classes:

- Problemática de portfólio: considera as características individuais para cada

alternativa e a forma como elas interagem;

- Problemática de design: identificar ou criar novas alternativas de decisão, de acordo com as metas definidas pelo MCDA.

Os métodos de apoio à decisão multicritério podem ser organizados em duas grandes famílias: os métodos de agregação a critério único de síntese e os métodos de sobreclassificação (ALMEIDA et al., 2015). Os primeiros, representados por abordagens como a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) e o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), utilizam a racionalidade compensatória, permitindo que um desempenho inferior em um critério seja compensado por um desempenho superior em outro, estabelecendo *trade-offs* entre os critérios (KEENEY; RAIFFA, 1976). Por outro lado, os métodos de sobreclassificação, como os das famílias ELECTRE (*Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*) e PROMETHEE, exploram a racionalidade não compensatória. Nesse caso, as preferências são determinadas por subconjuntos de critérios que favorecem as alternativas, sem que exista compensação entre desempenhos distintos (ROY, 1996; BRANS & VINCKE, 1985).

A escolha do método mais adequado não depende apenas da definição entre compensatórios e não compensatórios. Outras características do problema e do contexto decisório desempenham um papel central na seleção do método. Entre essas características, destacam-se a possibilidade de lidar com dados incomparáveis, o tratamento de dados parciais ou completos, o tipo de variáveis envolvidas (binárias, contínuas, ordinais), e a quantidade de decisores envolvidos no processo. Além disso, aspectos como a existência de incertezas, o significado dos pesos atribuídos aos critérios e os efeitos de normalização também devem ser considerados (CINELLI et al., 2020; LANGHANS, REICHERT e SCHUWIRTH, 2014).

Para abordar essas complexidades, Cinelli et al. (2020) propõem uma taxonomia abrangente que auxilia analistas na escolha do método multicritério mais apropriado. Essa taxonomia organiza os métodos em três fases principais: formulação do problema, construção da recomendação de decisão e características qualitativas e suporte técnico. Essa abordagem não apenas compara os diferentes métodos MCDA, mas também apresenta um sistema de apoio que recomenda métodos ou subconjuntos de métodos adequados às características específicas do problema em análise.

A ampla variedade de métodos disponíveis evidencia que a escolha inadequada pode comprometer a qualidade das soluções propostas, negligenciando aspectos cruciais do problema ou desalinhando as recomendações das reais necessidades dos decisores (CINELLI et al., 2020). Portanto, compreender as potencialidades e limitações de cada abordagem, bem como as características do problema em questão, é muito importante para garantir que o processo decisório seja bem-sucedido.

2.8.1 Revisão de Literatura – Métodos Aplicados em Segurança do Trabalho

A compreensão dos principais métodos multicritérios aplicados à segurança do trabalho contribui para o avanço na prevenção de acidentes e na criação de ambientes de trabalho mais seguros. Através da análise da literatura existente, é possível identificar quais problemas têm sido abordados com essas metodologias e como elas podem apoiar a tomada de decisões mais eficazes. Estudos utilizam métodos multicritérios para avaliar barreiras (MENG et al., 2020), avaliação da cultura de segurança (ZHANG et al., 2022), classificação das causas de incidentes (EBRAHIMI et al., 2021), o que demonstra a flexibilidade dessas ferramentas para lidar com a complexidade das decisões no contexto da segurança do trabalho. Na sequência veremos os métodos multicritérios, que, até o momento, tem sido abordada na literatura.

2.8.1.1 Revisão de literatura

Vários métodos de apoio a decisão multicritério tem sido aplicados na área de segurança do trabalho. Para entender como os trabalhos acadêmicos tem utilizado essas ferramentas na redução de acidentes, inicialmente foram utilizados os termos (“*safety work*” ou “*safety culture*” ou “*process safety*” “ISO 45001” ou “OSHA”) e os termos (*Accident prevention*), aplicado a base Scopus.

Esses termos foram escolhidos partindo das palavras-chave de artigos da área de segurança do trabalho e refinados por um processo iterativo onde o resultado era avaliado utilizando-se o VOSviewer com o resultado apresentado na figura 8.

A primeira linha traz palavras ligadas a segurança do trabalho, ou certificações ligadas a segurança do trabalho com o objetivo de ampliar o total de publicações ligadas a segurança do trabalho. Já o termo de prevenção de acidentes direciona o aspecto de segurança do trabalho que se deseja trabalhar, deixando ainda em aberto o melhor link com a tomada de decisão multicritério.

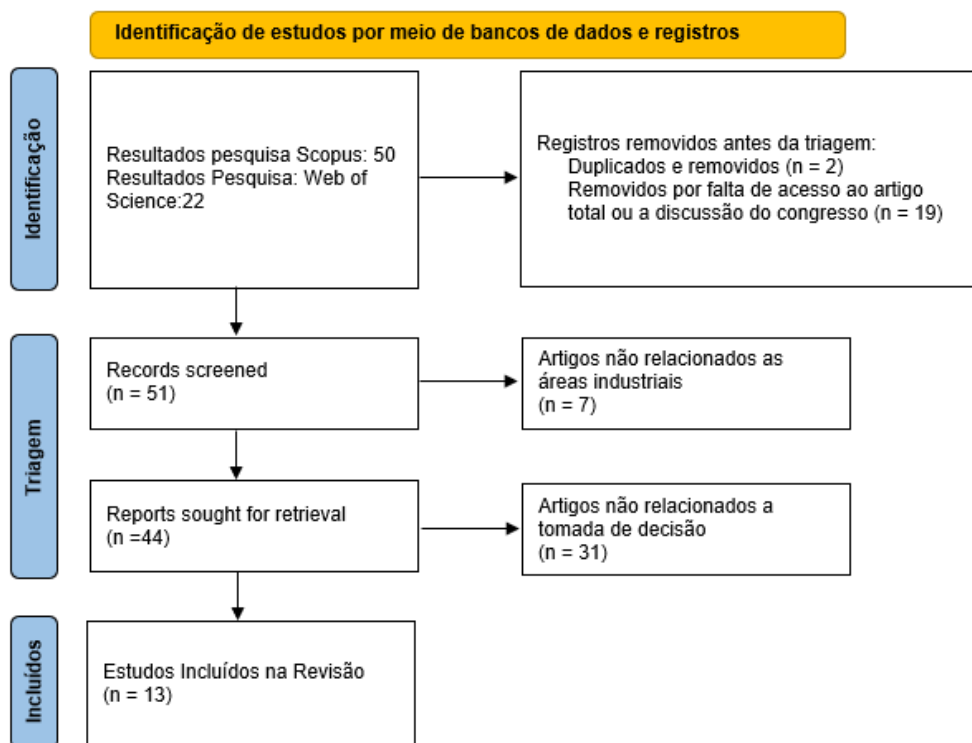


Figura 9 - Fluxograma com as etapas para identificação de estudos por meio de bancos de dados e registros fonte: o autor

Podemos identificar que o país com maior quantidade de publicações sobre tomada de decisão aplicada a segurança é a China, seguida pelo Irã com participações de Brasil, Canadá, Turquia, Índia, Grécia a publicação Inglaterra e China. Essa distribuição é ilustrada na figura 10 – publicações por país.

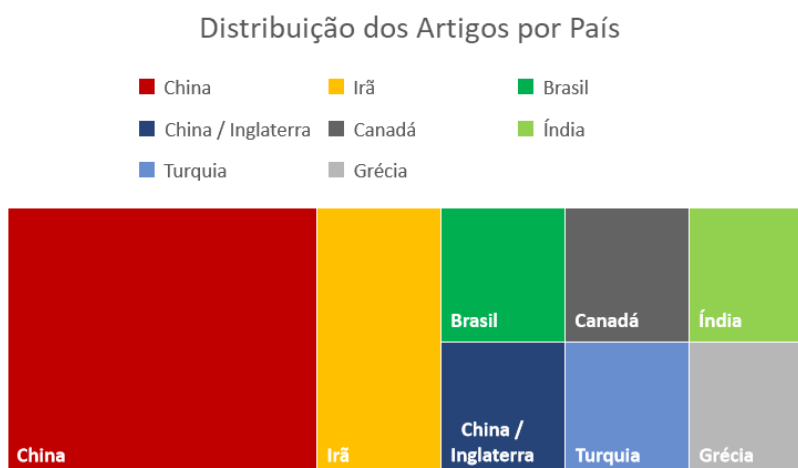


Figura 10 - Publicações por país fonte: O autor

A pesquisa científica cumpre um papel social e acadêmico essencial: produzir conhecimento novo e relevante, capaz de transformar a realidade por meio de descobertas significativas. Nesse sentido, ela deve ser vista como uma oportunidade de crescimento e inovação, orientada por uma metodologia rigorosa e pela compreensão das diferentes abordagens

possíveis para investigar um fenômeno (LUNETTA & GUERRA, 2023). A identificação de lacunas no conhecimento científico é reconhecida como o ponto de partida para uma pesquisa relevante e bem fundamentada. Lacunas são questões que ainda não foram exploradas ou completamente resolvidas no corpo teórico de determinada área. (LUGOBONI, 2017). Essa pesquisa identificou o uma lacuna na aplicação de modelos de apoio a tomada de decisão multicritérios aplicados a ferramentas de segurança do trabalho e a partir disso seguirá sua discussão.

2.8.1.2 Métodos Multicritérios aplicados a problemas no contexto da segurança do trabalho

Grande parte das publicações utilizou um ou mais métodos de apoio a tomada de decisão multicritério. A tabela 2 traz cada método com os contextos de utilização e seus papéis na solução desses problemas. O método DEMATEL foi o mais utilizado, seguido pelo ANP, Delphi e TOPSIS, sendo em algumas aplicações combinadas com o Fuzzy e até mesmo entre si. Também foram utilizados os métodos Fuzzy Best-Worse, mapas cognitivos e AHP.

O método DEMATEL é uma técnica de análise de decisão que tem sido amplamente utilizada em diversas áreas, como engenharia, gestão, economia, entre outras. O objetivo principal do método é fornecer uma estrutura sistemática para avaliar e analisar as relações entre os elementos de um sistema complexo, a fim de apoiar a tomada de decisões. Ele é baseado em uma abordagem matemática que permite a modelagem de um sistema complexo em termos de suas inter-relações. Segundo (EBRAHIMI et al., 2021; ZHANG et al., 2022). Uma vantagem é que ele pode encontrar as relações de causa e efeito nos problemas de tomada de decisão, além de permitir a visualização das inter-relações entre os fatores e ajudar os tomadores de decisão a perceber quais fatores têm impactos mútuos em outro fator. Além disso, o DEMATEL é usado para avaliar o ranking de alternativas e calcular os pesos dos fatores de avaliação.

O processo de análise começa com a identificação dos elementos do sistema e suas inter-relações. Em seguida, é realizada uma avaliação das relações entre os elementos, utilizando uma matriz de decisão. Essa matriz é preenchida com valores que indicam a força e a direção das relações entre os elementos.

O mapa de influência é uma ferramenta poderosa para a tomada de decisões, pois permite identificar os elementos mais críticos do sistema e as relações mais importantes entre eles. Com base nessas informações, é possível desenvolver estratégias para melhorar o desempenho do sistema e minimizar os riscos associados às decisões.

O método DEMATEL foi o mais aplicado, para decisões de segurança, sendo que Zhang et al. (2022), utilizou o método, combinado ao ANP para avaliação de cultura de segurança em

uma usina nuclear da China, enquanto Mirderikvand et al. (2022) utiliza a mesma combinação, para avaliação das barreiras na ocorrência de explosões na perfuração de poços de petróleo

Em resumo, o método DEMATEL é uma técnica poderosa para a análise de sistemas complexos e para a tomada de decisões. Sua abordagem matemática permite a modelagem de sistemas complexos em termos de suas inter-relações, o que facilita a identificação dos elementos mais críticos do sistema e a definição de estratégias para melhorar o desempenho do sistema. Por isso, o método DEMATEL tem sido amplamente utilizado em diversas áreas e é uma ferramenta valiosa para os profissionais que precisam tomar decisões em ambientes complexos e dinâmicos.

A técnica fornece aos tomadores de decisão uma transformação de julgamentos subjetivos em medidas objetivas. Sua simplicidade matemática e flexibilidade, fez com que o AHP se tornasse uma poderosa ferramenta matemática para a tomada de decisão. A técnica AHP realiza comparações pareadas para medir a importância relativa dos elementos em cada nível da hierarquia e avalia alternativas no nível mais baixo da hierarquia para tomar a melhor decisão entre múltiplas alternativas (SIPAHI; TIMOR, 2010; MIRDERIKVAN et al., 2022).

O ANP pode simplificar problemas complexos, incluir fatores intangíveis e tangíveis e priorizar indicadores. Além disso, o ANP evita a hipótese do AHP, em que cada fator dentro do mesmo nível é independente (EBRAHIMI et al., 2021). Ele foi desenvolvido em um tipo de metodologia de decisão eficaz que poderia descrever com precisão a relação entre questões objetivas (ZHANG et al., 2022). A lógica fuzzy normalmente é utilizada de forma combinada com outros métodos como o ANP e DEMATEL para lidar com a imprecisão e a incerteza relacionadas aos problemas de decisão. (ZHANG et al., 2022; MALAKOUTIKHAH et al., 2022).

A técnica de ordem de preferência por similaridade com a solução ideal (TOPSIS) foi originalmente desenvolvida por Hwang e Yoon em 1981, desenvolvido por Yoon em 1987 e aperfeiçoado por Hwang, Lai e Liu em 1993 (PAVIC e NOVOSELAC, 2013). A estratégia de solução ideal poderia ser selecionar as alternativas com a menor distância geométrica da solução ideal positiva e a maior distância geométrica da solução ideal. Fan et al. (2020), traz uma série de exemplos de aplicação do método TOPSIS para prevenção de acidentes marítimos.

Fuzzy Best Worse - Considerando a imprecisão frequentemente representada nos dados de decisão devido à falta de informações completas e a ambiguidade decorrente do julgamento qualitativo dos tomadores de decisão, os valores nítidos dos critérios podem ser inadequados para modelar a tomada de decisão multicritério da vida real. O método melhor-pior (BWM), foi então estendido ao ambiente difuso (GUO e ZHAO, 2017). Ele é basicamente um método de comparação pareada com os extremos (BEEMSTERBOER, HENDRIX e CLAASSEN, 2018).

A variedade de métodos multicritérios disponíveis reflete a complexidade e a diversidade das situações de tomada de decisão. Como cada método tem suas características e abordagens

específicas, nenhum único método seria capaz de resolver todos os problemas de forma eficaz. A escolha do método mais adequado depende de uma série de considerações relacionadas ao contexto do problema e aos critérios de decisão envolvidos (GUITOUNI e MARTEL, 1998). Na tabela 1, serão apresentados os métodos multicritérios utilizados acima assim como os problemas que eles buscam resolver e as razões para a escolha de cada um.

Tabela 4 - Método multicritério com suas aplicações em segurança do trabalho

Método	Problema	Justificativa
DEMATEL	<p>Segurança do voo, pela interação e comportamento da tripulação (MENG et. al, 2020).</p> <p>Avaliação da cultura de segurança para as usinas nucleares em operação (ZHANG et al., 2022)</p> <p>Avaliação de barreiras que previnem explosão durante a perfuração de poços de petróleo (MIRDERIKVAN et al., 2022)</p> <p>Classificação das causas de incidentes de perdas ferroviárias (EBRAHIMI et al., 2021)</p> <p>Incidentes relacionados a</p>	<p>O grau de influência, fatores-chave e a relação causa-e-efeito; para analisar o mecanismo de interação tripulação de voo.</p> <p>Determinação dos pesos dos critérios. Foi utilizado um método híbrido de Fuzzy DEMATEL, combinado com o Fuzzy ANP para determinação dos pesos dos critérios.</p> <p>Cálculo do benchmark de segurança dos indicadores de desempenho usando uma abordagem de agregação ponderada com base no método ANP (DANP) baseado em DEMATEL. Nesta abordagem, a interação entre os critérios e as dimensões do problema é calculada pelo método DEMATEL. Em seguida, os pesos influentes dos critérios e dimensões são calculados usando DEMATEL-ANP com base no conceito básico de ANP.</p> <p>Calcular a influência ponderada de cada subcategoria nos descarrilamentos e colisões dos trilhos principais</p> <p>Estabelecer uma estrutura hierárquica</p>

	escadas rolantes (XIE e LIU, 2019)	dos fatores de influência e para distinguir fatores de causa e fatores de efeito
ANP	<p>Avaliação da cultura de segurança para as usinas nucleares em operação (ZHANG et al., 2022)</p> <p>Avaliação de barreiras que previnem explosão durante a perfuração de poços de petróleo (MIRDERIKVAN et al., 2022)</p> <p>Classificação das causas de incidentes de perdas ferroviárias (EBRAHIMI et al., 2021)</p>	<p>Determinação dos pesos dos critérios. Foi utilizado um método híbrido de Fuzzy DEMATEL, combinado com o Fuzzy ANP para determinação dos pesos dos critérios.</p> <p>Cálculo do benchmark de segurança dos indicadores de desempenho usando uma abordagem de agregação ponderada com base no método ANP (DANP) baseado em DEMATEL. Nesta abordagem, a interação entre os critérios e as dimensões do problema é calculada pelo método DEMATEL. Em seguida, os pesos influentes dos critérios e dimensões são calculados usando DEMATEL-ANP com base no conceito básico de ANP.</p> <p>Identificar relações causais entre diferentes subcategorias.</p>
TOPSIS	<p>Prevenção de acidentes marítimos na perspectiva de fatores humanos (FAN et al., 2020)</p> <p>Avaliação da cultura de</p>	<p>Explicar as prioridades entre diferentes estratégias e a formulação de decisões de prevenção de acidentes marítimos. Neste estudo, tipos de acidentes são tratados como critérios (Colisão, afundamento etc.), e as estratégias selecionadas pela análise estatística são alternativas (e informação, ordem clara e cultura de segurança etc.).</p> <p>Estabelecer o Ranking das alternativas.</p>

	segurança para as usinas nucleares em operação (ZHANG et al., 2022)	Combinado com a lógica Fuzzy, para lidar e resolver com eficiência a imprecisão dos dados, foi utilizado para criar o ranking de cada função no nível de cultura de segurança de acordo com os pesos estabelecidos pelo FANP combinado com o FDEMATEL.
AHP	Priorizar riscos e pontos críticos de controle em uma planta de dessalinização de petróleo bruto (MARHAVILAS et al., 2019)	Priorização dos riscos no canteiro de obras da planta
Fuzzy Best - Worst	Modelar os fatores que afetam comportamentos inseguros (MALAKOUTIKHAH et al., 2022)	Avaliar a “força” dos fatores que afetam os comportamentos inseguros

Fonte: O autor

Após a apresentação da tabela, que resume os métodos utilizados, os problemas que visam resolver e as justificativas para sua aplicação. A formulação de um problema muitas vezes se revela mais crucial do que a solução em si, sendo uma etapa importante no processo de tomada de decisão. Além disso, a forma como o problema é estruturado pode influenciar significativamente as preferências do decisor, o que torna a escolha do método mais adaptada ao contexto de decisão ainda mais importante (GUITOUNI e MARTEL, 1998). A partir disso, é possível explorar, no próximo tópico, com o VFT, que auxilia na definição clara e precisa das questões a serem analisadas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção apresenta, em detalhes, o passo-a-passo metodológico da pesquisa, todos os detalhes necessários para a realização da dissertação. Propõe também uma abordagem multimetodológica utilizando o VFT para estruturação dos dados e o PROMETHEE-ROC, o modelo será aplicado em uma grande empresa do setor sucroenergético, para reduzir acidentes do trabalho.

3.1 MÉTODO UTILIZADO NA PESQUISA

Quanto à forma de abordagem, os métodos de pesquisa podem ser classificados em qualitativos e quantitativos. O enfoque quantitativo utiliza a coleta de dados para testar hipóteses, com a utilização de medição numérica e análises estatísticas apresentar um modelo representativo de um sistema real. Nesse tipo de abordagem o pesquisador é a fonte do saber (SAMPAERI et al. 2006; MERGULHÃO, 2007). Nessa abordagem o processo de pesquisa assume o raciocínio dedutivo a partir do qual começa-se com uma teoria geral e busca-se, por meio da pesquisa, testar hipóteses derivadas desta teoria (PATIAS E HOHENDORFF 2019).

Por outro lado, a pesquisa qualitativa baseia-se na multiplicidade e subjetividade da realidade, valorizando as experiências e percepções dos indivíduos. A realidade é construída pelos sujeitos envolvidos na pesquisa, e o raciocínio segue uma lógica indutiva, partindo do específico para o geral. Nesse contexto, a teoria não é pré-existente, mas emerge das percepções dos participantes (PATIAS e HOHENDORFF, 2019; MERGULHÃO, 2007).

Os métodos de análise multicritérios também podem ser analisados sob duas perspectivas: prescritiva e construtiva. A abordagem construtiva é caracterizada por um processo evolutivo e interativo entre o pesquisador e os tomadores de decisão, com trocas frequentes de informações. Já a abordagem prescritiva envolve a descrição de todos os elementos que interferem na decisão, além das preferências dos decisores em relação a esses elementos (GOMES, 2007). Este estudo adota o enfoque construtivo, pois parte do princípio de que as preferências dos decisores não preexistem, sendo construídas de forma interativa com o suporte das ferramentas utilizadas.

A estruturação eficaz do problema é um elemento muito importante no uso de MCDA, uma vez que as fases subsequentes de análise dependem fortemente desse processo inicial. A diversidade de métodos MCDA aplicados tem crescido, em parte devido à integração de diferentes abordagens e à incorporação de métodos complementares para lidar com incertezas.

Este capítulo apresenta o cenário de estudo, contemplando alguns dados e informações sobre a segurança do trabalho. Contempla também o método escolhido para a pesquisa, bem como o instrumento de pesquisa, o modelo de referência desenvolvido e todos os procedimentos

para a coleta e análise dos dados levantados. Sendo proposto uma abordagem multimetodologia desenvolvida a partir do VFT combinado com os fundamentos do PROMETHEE-ROC. O modelo será aplicado no contexto de uma grande empresa brasileira do ramo sucroenergético, uma abordagem construtivista, como desenhado por De Almeida et al. (2015), consistindo em um processo interativo onde o decisor interage com o analista com o apoio de algum método de forma a construir uma solução para o problema enfrentado. A figura 12 ilustra as fases de atuação dos métodos, organizadas em uma sequência lógica uma fase divergente para a estruturação do problema até a fase convergente com a avaliação das possibilidades em uma matriz de decisão.

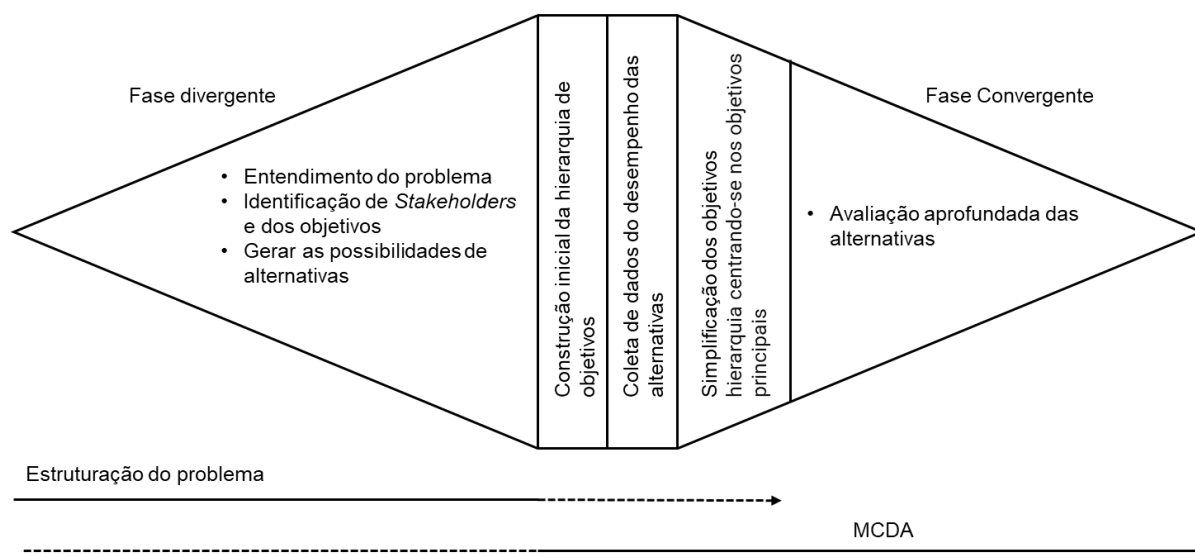
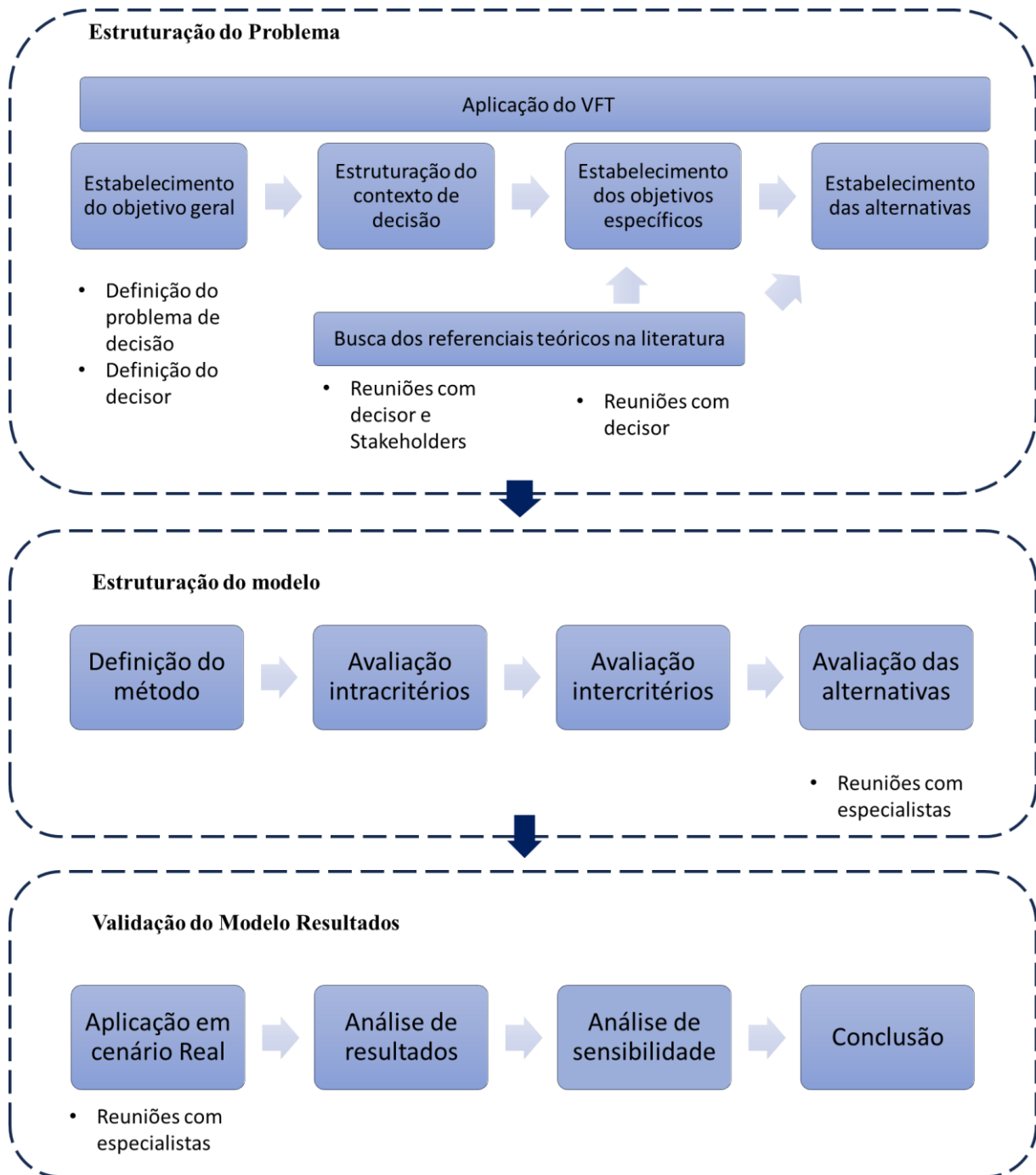


Figura 11 - Fases divergentes e convergentes da tomada de decisão e etapas na construção de uma hierarquia de objetivos fonte: O autor baseado em Marttunen et al. (2019)

O pensamento focado no valor consiste essencialmente em duas atividades: primeiro decidir o que você quer e depois descobrir como consegui-lo. A maneira mais óbvia de identificar objetivos é envolver-se numa discussão sobre a situação de decisão. O processo requer significativa criatividade e pensamento árduo, você começa perguntando ao tomador de decisão: "O que você gostaria de alcançar em esta situação?" As respostas fornecem uma lista de objetivos potenciais e uma base para uma investigação mais aprofundada (KEENEY, 1992).

As etapas da proposta multimetodologia são apresentadas no esquema da Figura 13, seguindo a estrutura desenhada em Almeida et al. (2015), adaptado para o objeto de estudo, com a visão de aplicação do modelo para situação real.

Figura 12- Framework de aplicação do modelo



Fonte: autor

Para reduzir acidentes de trabalho, diferentes abordagens metodológicas podem ser adotadas, resultando na aplicação de métodos distintos. Roy e Gupta (2020) investigaram a otimização da alocação de recursos na indústria de óleo e gás, enquanto Meng et al. (2022) analisaram a cultura de segurança em uma planta de energia nuclear. Além disso, estudos avaliaram o impacto do comportamento seguro em setores como aviação, transporte ferroviário no Canadá e transporte marítimo. Cada uma dessas abordagens ilustra a diversidade metodológica possível no enfrentamento de desafios relacionados à segurança.

Os limiares de comparação pareada desempenham um importante papel para tratar a incerteza na medição do desempenho e a hesitação por parte do tomador de decisão (DM). Os limiares de indiferença são utilizados para representar a diferença máxima aceitável entre duas alternativas, tornando-as indiferentes. Por outro lado, os limiares de preferência definem a diferença mínima necessária no desempenho para que uma alternativa seja totalmente preferida em relação à outra. A figura 14 apresenta a aplicação da árvore de decisão proposta por Cinelli et al. (2020), como parte da visão geral deste trabalho. Essa aplicação auxiliou no processo de seleção do método PROMETHEE II, fornecendo uma estrutura clara para identificar o método mais adequado às características do problema analisado.

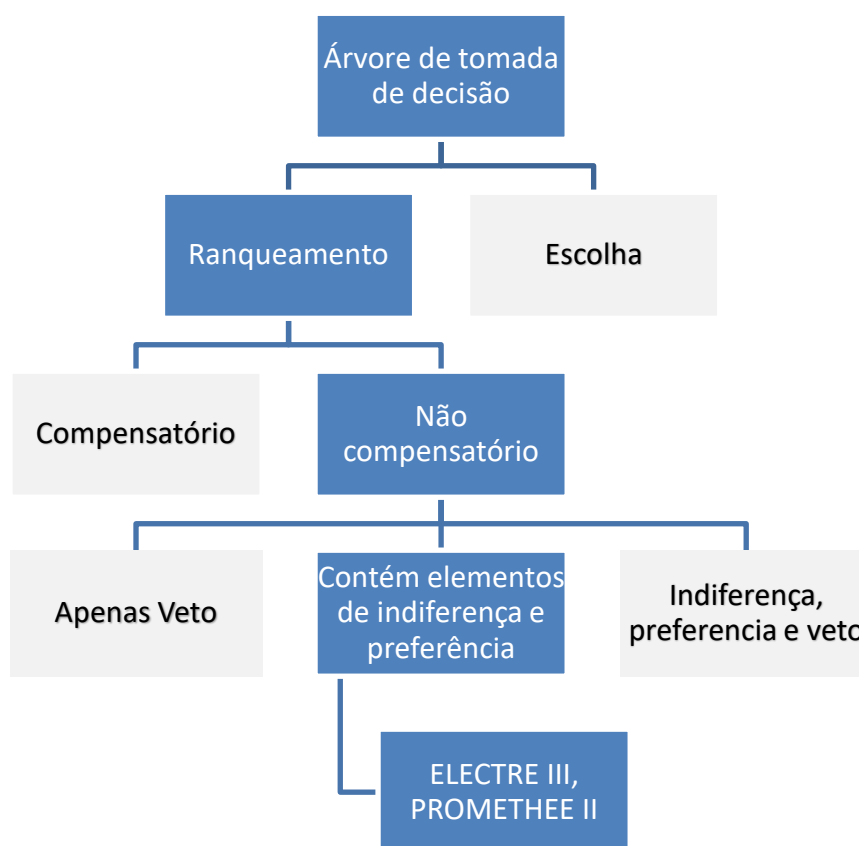


Figura 13 - Aplicação da árvore de decisão baseada em sistema de regras Fonte: o autor, baseado em Cinelli (2020)

Dentre essas possibilidades optou-se pelo PROMETHEE II em vez do ELECTRE III. Isso por considerá-lo mais simples, flexível em termos de ajustar os pesos dos critérios e a importância relativa de cada critério, sendo bastante importante em um contexto em que as ações estratégicas estão em andamento, facilitando revisitar o trabalho futuramente. Sendo essa uma consideração importante para esse problema de tomada de decisão.

O método PROMETHEE II é para agregar informações e indicar os valores de desempenho dos critérios. No entanto, a definição precisa dos pesos atribuídos a cada critério, que representam a importância relativa de cada um, pode ser uma tarefa complexa para os decisores. Isso representa uma oportunidade para aplicar métodos que facilitem a análise de

informações imprecisas sobre os critérios em um modelo de decisão baseado em métodos de *outranking* (MORAIS et al., 2015; BARRON e BARRETT, 1996).

Considerando isso, foi incorporado um método para elicitación de preferências, sendo que uma abordagem comumente utilizada é a informação ordinal sobre os critérios, que requer apenas a ordenação de prioridade de um conjunto de elementos. Dessa forma, é possível aplicar metodologias que auxiliem na conversão dos pesos, transformando a informação ordinal em valores numéricos a serem inseridos nos modelos de decisão (CLEMENTE et al., 2015).

3.2 CENÁRIO GERAL DE ESTUDO

O cenário de estudo desta dissertação está inserido em uma realidade complexa, marcada pela persistência de elevados índices de acidentes de trabalho no Brasil. Apesar da disponibilidade e aplicação de diversas ferramentas voltadas à segurança do trabalho, o país registrou 2.888 acidentes fatais em 2023 (Brasil, 2024). Esses dados abrangem todas as empresas que reportam informações ao E-Social. No entanto, para a aplicação do *framework* proposto neste trabalho, o foco recai sobre uma grande empresa de capital aberto do setor sucroenergético.

A problemática está centrada no uso de ferramentas de Segurança, Saúde, Meio Ambiente e Qualidade (SSMA), com os gerentes dessa área desempenhando um papel de stakeholders no processo de decisão. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram selecionados engenheiros e coordenadores de setores participantes, com base nos objetivos do estudo.

Este trabalho busca o ranqueamento das ferramentas de segurança do trabalho o ranking possibilita a identificação de pontos que precisam ser trabalhados, oferecendo diferentes possibilidades de ação para melhorar os processos de segurança no ambiente de trabalho.

3.2.1 Proposta Multimetodológica

Uma metodologia é um conjunto estruturado de diretrizes ou atividades para ajudar as pessoas a empreender pesquisa ou intervenção. métodos multicritério é uma abordagem que busca aproveitar as vantagens de diferentes métodos e técnicas de MCDA para obter uma análise mais robusta e confiável. Essa combinação pode ser feita de diferentes maneiras, dependendo do objetivo e das características do problema de decisão. (MINGERS; BROCKLESBY, 1997).

Em casos de grande complexidade, vários aspectos de avaliação estão presentes. A busca pela estruturação adequada do contexto de decisão pode ser facilitada pela utilização de uma abordagem formal para estruturação de problemas em combinação a metodologias de

decisão multicritério. As abordagens de estruturação de problema incluem metodologias gerais, tais como, mapas cognitivos, DPSIR, SWOT etc. Segundo Marttunen et al. (2017), a combinação entre métodos estruturantes e métodos de decisão multicritério tem atraído cada vez mais atenção nos últimos 20 anos, tanto de uma perspectiva conceitual quanto prática.

A estruturação é criticamente importante para as técnicas MCDM pois as fases subsequentes são fortemente influenciadas por ela.

A utilização de mais de um método combinado promove o aumento do nível de confiança dos resultados, sintetiza os resultados oriundos de várias abordagens, permite a modelagem de fenômenos complexos e otimiza a implementação lógica de uma abordagem teórica (MORAN-ELLIS et al. 2006). A combinação do VFT com o PROMETHEE-ROC pode trazer benefícios, aproveitando as vantagens de ambos os métodos para realizar uma análise multicritério mais completa e robusta como uma análise mais completa e robusta dos critérios e alternativas, levando em consideração tanto os valores e objetivos dos tomadores de decisão quanto as preferências entre as alternativas.

O VFT, detalhado na Seção 2.7, desempenha é utilizado na identificação e organização dos objetivos fundamentais, diferenciando-os de metas intermediárias ou operacionais (KEENEY, 1992). Essa abordagem evita confusões entre meios e fins, ao mesmo tempo que fornece uma estrutura clara para avaliar alternativas com múltiplos critérios, como as ferramentas de segurança. O alinhamento com os valores e objetivos dos decisores facilita o ranqueamento das ferramentas mais eficazes para melhorar a segurança no ambiente de trabalho.

Complementando o VFT, o PROMETHEE-ROC, descrito na Seção 2.8, permite uma comparação sistemática e a ordenação de alternativas com base em múltiplos critérios. Utilizando preferências por pares, o método agrega as comparações individuais em uma ordenação geral, trazendo objetividade e rigor ao processo de decisão.

Neste estudo, os conceitos dessas metodologias foram integrados em um modelo sociotécnico, com procedimentos de agregação projetados para auxiliar os decisores na tomada de decisões. Para aumentar a aderência do modelo ao contexto real, foi realizada uma análise de sensibilidade com a simulação de Monte Carlo. Essa análise permitiu avaliar a robustez do modelo em diferentes cenários, sendo os resultados validados pelo cálculo do coeficiente de Kendall's Tau, garantindo consistência na ordenação final das alternativas.

Diversos componentes envolvidos nos processos de tomada de decisão contribuem para a complexidade do modelo, tais como a existência de diferentes perspectivas, valores e preferências, sendo estes uns dos principais focos da análise de decisão multicritério, desenvolvidos especificamente para apoiar a avaliação sistemática de múltiplas alternativas e

objetivos (MARTTUNEN; LIENERT; BELTON, 2017).

Para auxiliar na obtenção de informações junto ao tomador de decisão, foi elaborado um questionário semiestruturado, aplicado durante uma reunião online. No início da conversa, foi esclarecido que as perguntas seriam utilizadas em um trabalho acadêmico, garantindo o anonimato do decisor e ressaltando que os resultados poderiam ser aproveitados pela empresa, material este presente no apêndice A.

O questionário, baseado nos trabalhos de Keeney (1992) e Saccardo (2024), foi desenvolvido de forma a combinar perguntas abertas com diretrizes específicas, assegurando que todos os aspectos necessários para a construção do modelo fossem abordados, sem restringir a liberdade de resposta do decisor. Tanto as perguntas quanto as respostas obtidas estão disponíveis no Anexo B.

Com os itens da entrevista, foi possível realizar o cruzamento entre a expectativa do decisor e a literatura. A partir daí definir os critérios para atingir os objetivos, e desenvolver as alternativas. Na figura 15 estão o objetivo estratégico de Ranqueamento de ferramentas de Segurança do trabalho, com os objetivos fundamentais de fortalecer a Cultura de segurança, Redução de acidentes do trabalho e melhorar o direcionamento de segurança. Vale destacar o aparente antagonismo entre alguns elementos, como o de ter uma rotina que otimize o tempo, porém tenha mais oportunidades de comunicação, incorpore aspectos de segurança de processos.

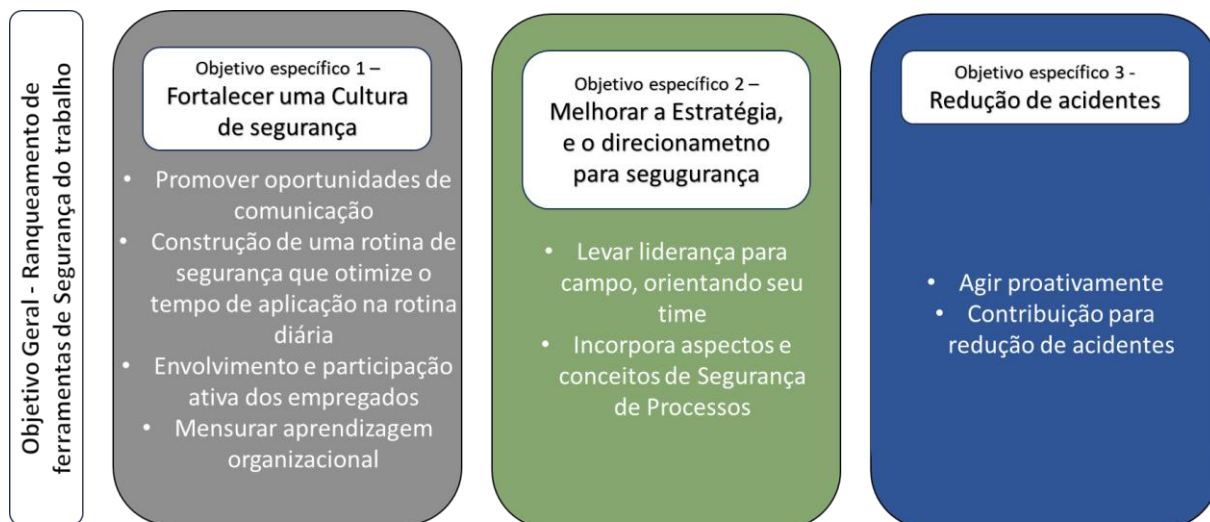


Figura 14 - Objetivos estratégicos, fundamentais e objetivos meios Fonte: O autor

Vale destacar que esses objetivos e critérios foram discutidos com o decisor, sendo com ele realizado pequenos ajustes para representarem de forma mais assertiva a ideia do programa.

3.2.2 Estabelecimento das alternativas

Segundo Bana e Costa e Beinat (2010), um descritor é um conjunto ordenado de níveis de impactos (quantitativos ou qualitativos) associados a um critério. Deve ser formulado de maneira objetiva e definido com base na realidade desejável, não sendo influenciado pelos interesses ou ações de decisores. Seu desenvolvimento é necessário para a melhor compreensão do contexto de decisão.

Uma vez caracterizada cada ferramenta, com a participação do decisor é possível realizar um cruzamento entre os principais elementos da literatura e as ferramentas já existentes, realizando uma avaliação crítica se as alternativas existentes hoje são suficientes ou precisariam ser construídas novas ferramentas. O resultado desse cruzamento é apresentado na figura 16.

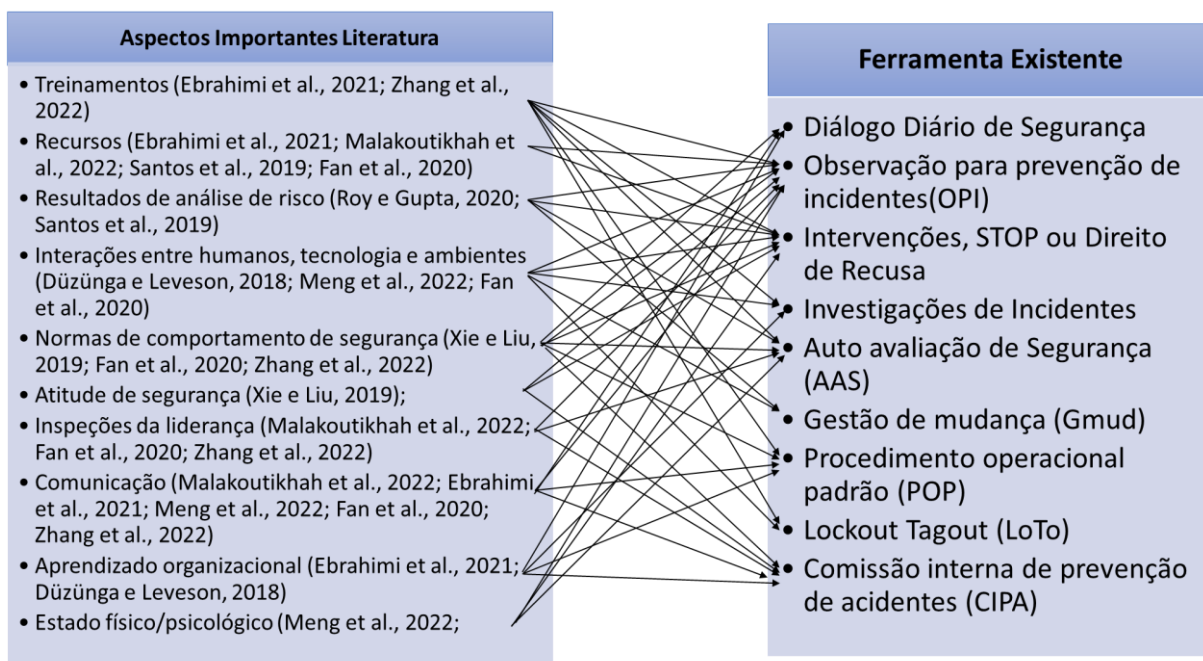


Figura 15 -Cruzamento entre os elementos de segurança em destaque na literatura e ferramentas de segurança

Pelo cruzamento entre a literatura e as ferramentas utilizadas, podemos identificar que cada item da literatura tem mais de uma ferramenta cumprindo esse papel, com isso verificamos que não são necessárias novas alternativas para esse trabalho. Entretanto algumas ferramentas como OPI e Intervenção, cumprem parte do papel de 8 e 6 itens respectivamente. Logo, essas ferramentas são muito importantes e precisam ser muito bem trabalhadas.

3.3 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Nessa seção é apresentada a construção das escalas de valor e pesos dos critérios. Para aplicação da ferramenta de apoio a decisão o projeto passou por 3 fases principais, que são: (1) caracterização do contexto de decisão e (2) estruturação do modelo (3) Aplicação do framework

em um caso real. A caracterização do contexto de decisão identificou o decisor. Na estruturação do modelo houve a definição da árvore de valor e descritores de impacto. As subseções seguintes descrevem as etapas utilizadas na construção do projeto.

3.3.1 Caracterização do contexto de decisão

Pretende-se construir um modelo de apoio a criação de um ranking das ferramentas de SSMA, uma vez criado o ranking ele pode ser utilizado pela empresa de diversas formas, um entendimento mais imediato é que as ferramentas em posições mais baixas no ranking precisam ser trabalhadas, podendo fazer parte de campanhas e programas da empresa. Por outro lado, as ferramentas que funcionam melhor podem ser utilizadas para assuntos estratégicos.

Em janeiro de 2023 foi realizada a primeira reunião de alinhamento com os gerentes das áreas de segurança e meio ambiente para discussão de um programa de segurança, onde foi apresentado o projeto de pesquisa do mestrado. Foi discutida a importância do trabalho para a redução de acidentes e eles que são os stakeholders da área de SMA, explicitaram quem é o decisor corporativo para esse projeto.

Ela é Engenheira de Produção, com especialização em Engenharia de segurança do trabalho. Atua na área de segurança do trabalho desde 2009, tendo atuado em diversas empresas, sendo especialista em comunicação voltada para segurança do trabalho e coordenadora na área corporativa em melhoria contínua para SSMA, com reporte direto ao *boarding* da empresa. Participou da elaboração de diversos projetos de construção de cultura de segurança e sistemas de gestão integrada, ou seja, seu conhecimento e sua experiência no assunto foram considerados decisivos.

3.4 VALIDAÇÃO DE FRAMEWORK PARA RANQUEAMENTO DE FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO

A partir das respostas coletadas, foram construídas as dimensões de resultado e os critérios que as representam. Teremos a partir dessas informações a coleta de informações de sistemas e a contribuição de especialistas, para este estudo foram considerados especialistas engenheiros ou coordenadores de SSMA que tivessem mais de 5 anos na área e pelo menos mais de 2 anos na empresa.

Para a aplicação do framework, é necessário definir os atores que participarão desse contexto de decisão. A escolha dos especialistas deve levar em consideração o nível de maturidade da cultura de segurança da organização e a adequação das pessoas para avaliar as ferramentas de segurança.

Em culturas classificadas como menos maduras, onde as ações de segurança são predominantemente motivadas por cobranças externas – seja por exigências legais ou pela atuação da equipe de segurança como um órgão fiscalizador – os especialistas mais indicados tendem a ser os próprios membros da equipe de segurança do trabalho (FREITAS e SILVA, 2022). Nesses cenários, a capacidade de comparação entre as ferramentas pode ser mais limitada, dependendo do grau de envolvimento direto desses especialistas. Para o envolvimento de figuras operacionais nesse cenário, podem ser utilizados métodos de comparação com dados parciais.

Já em organizações com maior maturidade em cultura de segurança, a abordagem se expande para incluir uma visão mais ampla e integrada. Nesses casos, a gestão de segurança evolui para considerar aspectos organizacionais que promovem o amadurecimento do sistema, como capacitação contínua dos funcionários, incentivo ao reconhecimento de comportamentos seguros, *benchmarking*, análise detalhada de ocorrências com identificação de causas básicas, e a implementação do ciclo PDCA aplicado às ferramentas de segurança (FREITAS e SILVA, 2022). Aqui outros usuários e líderes, garantindo uma avaliação mais robusta e representativa, além de fomentar uma comunicação eficaz entre líderes e liderados.

Tendo isso em vista, para que conseguissem avaliar as ferramentas de modo coerente, tendo uma vivência mínima necessária para entender como cada ferramenta funciona, mas também uma visão de contexto de segurança do trabalho. Adicionalmente para este *framework* foram ouvidas pessoas de realidades diferentes, sendo que a atuação dos participantes abrangia 18 unidades produtoras de Etanol, Açúcar e Bioenergia distribuídos em 8 polos geográficos e 3 estados brasileiros diferentes, além de pessoas que tem atuação corporativa, atuando em todas as unidades produtoras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS GERAIS DO FRAMEWORK DE ORDENAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO

Seguindo o fluxograma apresentado na figura 13. Foram utilizados dados extraídos diretamente de sistemas organizacionais, complementados por informações obtidas por meio de um questionário estruturado com base em uma escala Likert de 5 pontos. A utilização de escalas pré-determinadas reduz a subjetividade das escolhas dos decisores ao transformar variáveis linguísticas em valores numéricos. Por exemplo, escalas podem variar de ‘Muito Baixa’ a ‘Muito Alta’ (DENI, SUDANA e SASMITA, 2013).

Tabela 5 – Parâmetros para critérios extraídos de sistemas

Pergunta	Unidade de medida	Função
Essa ferramenta promove quantas oportunidades de comunicação direta entre líderes e liderados dentro do mês?	Número absoluto	Max
Avaliando como essa ferramenta ajuda a contruir uma rotina de segurança, quantas horas da rotina são dedicadas a essa ferramenta?	horas	Min
Qual a % de funcionários envolvidos no uso dessa ferramenta?	%	Max

Complementando as informações acima, temos uma tabela que traz descaracterizado o nome do software que contém a origem dessas informações.

Tabela 6 – Origem dos dados para cada ferramenta

Alternativas:	Sistema
DDS	LP + PB
Observação comportamental	ALWEB
Intervenção, STOP ou direito de recusa	Link F. + PB
Investigações de incidentes	ALWEB
Autoavaliações de segurança	CLF + PB
Gestão de mudança (Gmud) ou Management of Change (MoC)	SISP
Padrão operacional seguro ou Procedimento operacional padrão (POP)	SUIT
Lockout Tagout (LoTo)	APR/PTT + PB
Comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA)	LP + PB

Para garantir a consistência na atribuição de pontuações, as escalas foram previamente validadas junto ao decisor antes de serem enviadas aos especialistas. Essa etapa é essencial para assegurar que os especialistas compreendam a escala e apliquem forma coerente. Na tabela 7 temos uma lista com os critérios e as fontes de dados que serão detalhados.

Tabela 7 - Critérios e fonte de dados

Critérios	Fonte
C1 Oportunidades de comunicação	Sistema
C2 Horas da rotina dedicadas	Sistema
C3 % de funcionários envolvidos	Sistema
C4 Identificação de causas básicas	Consulta Especialistas
C5 Ida dos líderes para as atividades de campo	Consulta Especialistas
C6 Incorporação dos conceitos de segurança de processos	Consulta Especialistas
C7 Decisiva na contribuição para redução de acidentes	Consulta Especialistas
C8 Proatividade	Consulta Especialistas

No critério relacionado à cultura de segurança, que avalia se a ferramenta promove uma comunicação clara e assertiva, serão analisados registros disponíveis em sistemas. Será mensurado o número de interações realizadas pela liderança com as equipes utilizando a ferramenta ao longo de um mês. Um maior número de interações indica uma melhor promoção de comunicação por parte da ferramenta.

Tabela 8 - Escala de avaliação do critério comunicação

Essa ferramenta promove quantas oportunidades de comunicação direta entre líderes e liderados dentro do mês?	
<p>Para Ebrahimi et al. (2021) comunicações eficazes faz parte de uma cultura de segurança robusta e reduz erros comportamentais</p>	

A pergunta relativa à rotina de segurança é melhor representada pela função de um quase critério dentre as 6 funções apresentadas em De Almeida (2010), onde é estabelecido um parâmetro de indiferença q. Ela também é avaliada por meio de relatórios de sistemas para as ferramentas que possuem registros, sendo que o uso semanal das ferramentas que possuem o uso todas as semanas promovem a construção da rotina de segurança. Para aquelas que não apresentarem o uso semanal, será atribuída 0 horas por semana. As interações podem ser realizadas várias vezes ao dia, uma vez por dia, uma vez por semana ou por mês, com duração que varia de 10 minutos a uma hora (FREITAS, 2022). Sendo assim, a partir de 0,5 hora de diferença na interação semanal será preferível a ferramenta com menor duração.

Tabela 9 - Escala de avaliação do critério rotina de segurança

Avaliando como essa ferramenta ajuda a contruir uma rotina de segurança, quantas horas da rotina são dedicadas a essa ferramenta?	
Os líderes de todos os níveis devem fazer inspeções, observações e dar orientações sobre o local regularmente (ZHANG et al., 2022)	

A pergunta relativa ao envolvimento e participação ativa dos empregados também é melhor representada pela função de um quase critério, com um parâmetro de indiferença q . Novamente a avaliação é por meio de relatórios de sistemas para as ferramentas que possuem registros, sendo que o uso semanal das ferramentas que possuem o uso todas as semanas promovem a construção da rotina de segurança. Como essa pergunta permite uma segmentação proporcional a quantidade de funcionários do cenário avaliado, é adotado um limiar de indiferença na realização das comparações, sendo que itens com diferenças percentuais menores do que 5%, serão considerados como equivalentes nas comparações.

Tabela 10 - Escala de avaliação do critério participação dos funcionários

Qual a % de funcionários envolvidos no uso dessa ferramenta?	
A participação dos empregados nas questões de segurança, como na análise dos acidentes e incidentes que lhe diz respeito, na identificação e análise dos riscos do ambiente de trabalho, nas propostas de ações para melhoria da segurança do trabalho e sua implementação, na elaboração e revisão dos procedimentos relacionados com sua atividade (Gonçalves Filho et al., 2011)	

Tabela 11- Escala de avaliação do critério aprendizagem organizacional

Considerando a aprendizagem organizacional, o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta auxilia na identificação de causas básicas sendo bastante efetiva em evitar recorrências?		
1	Forma como a organização trata as informações, como é feita a análise dos acidentes e dos incidentes, se são propostas ações de melhoria e se são implementadas e se os empregados são informados sobre estas ações, e se há busca contínua de melhorar os processos visando à segurança do trabalho (Gonçalves Filho et al., 2011)	Discordo totalmente
2		Discordo parcialmente
3		Não concordo nem discordo
4		Concordo parcialmente
5		Concordo totalmente

A presença da liderança em campo orientando, realizando inspeções, reforçando as ferramentas é como um importante fator, principalmente nos trabalhos com destaque para cultura de segurança, como Fan et al. (2020), Zhang et al. (2022) e Gonçalves Filho et al. (2011).

Tabela 12 - Escala de avaliação do critério liderança em campo, sabendo o que fazer

Considerando a liderança em campo, o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta promove a ida dos líderes para as atividades de campo, orientando seu time		
1	Liderança e suporte adequados devem ser dados quando em serviço, com ordens claras e pensamento em precaução (Fan et al., 2020)	Discordo totalmente
2		Discordo parcialmente
3		Não concordo nem discordo
4		Concordo parcialmente
5		Concordo totalmente

Tabela 13 - Escala de avaliação do critério incorporar aspectos e conceitos de Segurança de Processos

Considerando a segurança de processos sendo voltada para a não ocorrência de perdas de contenção e trabalhando fortemente com análise do risco operacional o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta promove a incorporação dos conceitos de segurança de processos?		
1		Discordo totalmente
2	Fatores, como a formação, a autorização de trabalho, os procedimentos de gestão e muitas outras questões sistemáticas, podem ser considerados em abordagens de segurança de processos (Mirderikvand et al., 2022)	Discordo parcialmente
3		Não concordo nem discordo
4		Concordo parcialmente
5		Concordo totalmente

Tabela 14 - Escala de avaliação do critério contribuição para redução de acidentes

Considerando o impacto do uso de ferramenta para a redução de acidentes o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta é decisiva na contribuição para redução de acidentes de alto potencial e com lesão a pessoas?		
1	A prevenção de acidentes é necessária para salvaguardar a vida e a saúde das pessoas, bem como facilitar o desenvolvimento industrial e social. A prevenção de acidentes é muito importante para promover o desempenho da segurança nas organizações. É fundamental a realização de estudos de prevenção de acidentes para reduzir ainda mais ou mesmo eliminar os acidentes comuns	Discordo totalmente
2		Discordo parcialmente
3		Não concordo nem discordo
4		Concordo parcialmente
5		Concordo totalmente

Tabela 15 - Escala de avaliação do critério agir proativamente

Quanto a proatividade da ferramenta, é adequado dizer que:		
1	Os indicadores reativos não são o suficiente para promover a melhoria contínua do sistema de gestão de segurança, pois estão centrados em medir algo que já ocorreu, como o índice de acidentes. Então, faz-se necessário o uso de indicadores próativos, antecipando a deterioração do desempenho dos sistemas de segurança (Santos et al., 2019).	Esta ferramenta age no reforço positivo, no que as pessoas acreditam para que tudo saia como esperado
2		Ação quando temos desvios / situações indesejadas
3		Ação quando temos quase acidentes
4		Ação quando temos acidentes
5		Essa Ferramenta age após graves acidentes com severas consequências

Após a descrição dos critérios de avaliação, é necessário considerar o processo de agregação do conhecimento em cenários onde mais de um especialista tenha contribuído para a avaliação das ferramentas de SSMA. Essa etapa busca consolidar diferentes percepções em uma análise coerente antes da aplicação do modelo de avaliação. De acordo com De Almeida et al. (2012), quando múltiplos especialistas avaliam o mesmo conjunto de ações, suas percepções podem variar devido a diferenças em seus backgrounds e experiências, mesmo que seus objetivos não sejam conflitantes. Essas variações podem oferecer uma perspectiva mais abrangente, mas exigem um processo estruturado para ponderar as opiniões. Neste framework, como resultado para as consultas aos especialistas foi considerada a moda das respostas.

Tabela 16 – Parâmetros PROMETHEE

Código do critério	Parâmetro PROMETHEE	Peso Critério (Resultado ROC)	Tipo de função de preferência	Limiar de indiferença
C1	Essa ferramenta promove quantas oportunidades de comunicação direta entre líderes e liderados dentro do mês?	15%	Preferencial usual (U shape)	0
C2	Avaliando como essa ferramenta ajuda a contruir uma rotina de segurança, quantas horas da rotina são dedicadas a essa ferramenta?	8%	Quase critério (V shape)	0,5
C3	Qual a % de funcionários envolvidos no uso dessa ferramenta?	2%	Quase critério (V shape)	0,05
C4	Considerando a aprendizagem organizacional, o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta auxilia na identificação de causas básicas sendo bastante efetiva em evitar recorrências?	11%	Preferencial usual (U shape)	0
C5	Considerando a liderança em campo, o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta promove a ida dos líderes para as atividades de campo, orientando seu time?	34%	Preferencial usual (U shape)	0
C6	Considerando a segurança de processos sendo voltada para a não ocorrência de perdas de contenção e trabalhando fortemente com análise do risco operacional o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta promove a incorporação dos conceitos de segurança de processos?	3%	Preferencial usual (U shape)	0
C7	Considerando o impacto do uso de ferramenta para a redução de acidentes o quanto você concorda com a afirmação de que essa ferramenta é decisiva na contribuição para redução de acidentes de alto potencial e com lesão a pessoas?	5%	Preferencial usual (U shape)	0
C8	Quanto a proatividade da ferramenta, é adequado dizer que: (proativa)	21%	Preferencial usual (U shape)	0

Tabela 17 - Matriz de consequências

Alternativas \ Critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
DDS	19,8	0,2	79%	2	2	3	3	4
Observação comportamental	11,1	3,3	41%	5	5	4	5	4
Intervenção, STOP ou direito de recusa	2,5	0,3	22%	4	3	5	5	4
Investigações de incidentes	0,9	3,5	17%	5	5	3	4	1
Autoavaliações de segurança	0,7	0,1	87%	3	4	5	4	5
Gestão de mudança (Gmud)	0,0	4,2	0,1%	4	2	4	4	4
Procedimento operacional padrão (POP)	1,1	1,0	74%	2	4	4	4	3
Lockout Tagout (LoTo)	1,4	2,0	15%	2	3	4	5	5
Comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA)	0,0	0,5	3%	2	2	1	2	2

Para as perguntas que não tem suas respostas diretamente de sistemas é necessário entender o formato para coleta das informações. Para esta fase foram consultados especialistas pessoas que atendessem os seguintes requisitos. Formação: graduação em engenharia, pós-graduação em engenharia de segurança do trabalho. Cargo: Engenheiros, coordenadores ou gerentes de segurança do trabalho. Experiência: Mais de 5 anos de atuação na área e mais de 2 anos dessa atuação na empresa.

Tabela 18 – Resultado PROMETHEE-ROC

Ranking	Ferramenta	Positive Flow, Φ^+	Negative Flow, Φ^-	Net Flow, Φ^o
1	Observação comportamental	0,68	0,15	0,53
2	Autoavaliações de segurança	0,60	0,27	0,33
3	Intervenção, STOP ou direito de recusa	0,52	0,30	0,22
4	Lockout Tagout (LoTo)	0,50	0,36	0,13
5	Investigações de incidentes	0,48	0,42	0,06
6	Padrão operacional seguro ou Procedimento operacional padrão (POP)	0,42	0,45	- 0,03
7	DDS	0,31	0,45	- 0,15
8	Gestão de mudança (Gmud) ou Management of Change (MoC)	0,19	0,59	- 0,40
9	Comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA)	0,07	0,77	- 0,70

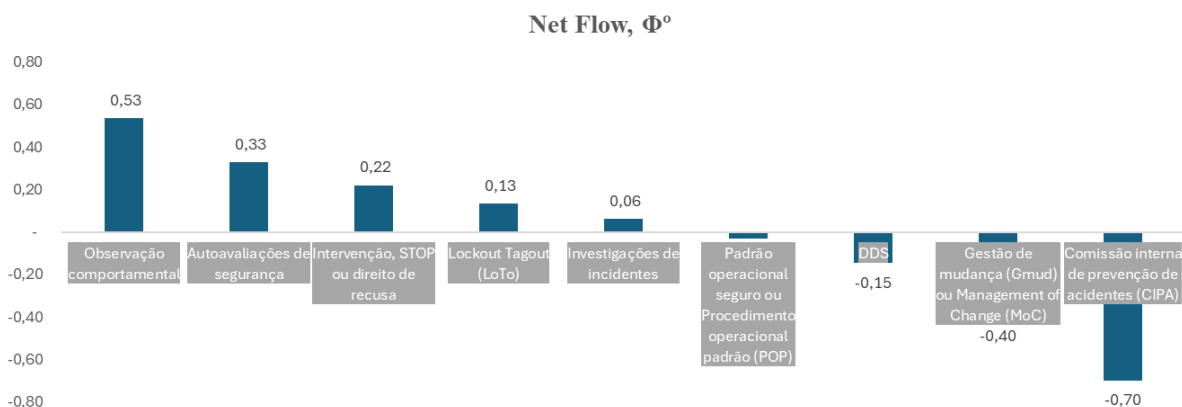


Figura 16 – Resultado PROMETHEE-ROC em formato gráfico

O resultado do ranking das ferramentas de SSMA tem a OPI na primeira posição, seguida da Autoavaliação de segurança, Investigações de acidentes, Intervenções, LOTO, POP, DDS e nas últimas posições o Gmud e CIPA. Porém a diferença de fluxo nas extremidades é maior do que a diferença nas posições intermediárias, sendo que a diferença entre POP e DDS está na terceira casa decimal. Para complementar esses resultados foi utilizada a análise de sensibilidade dos resultados através de um teste de Monte Carlo, que é uma técnica computacional que utiliza amostras aleatórias geradas a partir de distribuições de probabilidade para simular e analisar sistemas complexos. Ele permite calcular a variável dependente de um modelo, realizando simulações repetidas, geralmente centenas de milhares de vezes, para observar as variações nos resultados (DE ALMEIDA et al., 2015). A principal vantagem desse método é sua capacidade de testar múltiplas combinações de variáveis independentes simultaneamente, gerando uma distribuição do valor esperado da variável dependente. É amplamente utilizado em áreas como física, matemática e finanças para lidar com incertezas e variabilidades nos dados. (CASCAES, RODRIGUES e SCHNEIDER, 2020).

Nesta aplicação foi realizada 1 simulações, variando o parâmetro de pesos e as respostas em 10% para mais e 10% para menos e os resultados estão apresentados na tabela 17, temos o percentual de vezes em que essa ferramenta apareceu em cada posição do ranking nas simulações de Monte Carlo.

Tabela 19 – Tabela com a análise de sensibilidade por meio de simulações de Monte Carlo

Alternative/Position	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
Observação comportamental	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Autoavaliações de segurança	0%	94%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Intervenção, STOP ou direito de recusa	0%	6%	72%	23%	0%	0%	0%	0%	0%
Lockout Tagout (LoTo)	0%	0%	22%	61%	16%	1%	0%	0%	0%
Investigações de incidentes	0%	0%	0%	16%	70%	12%	1%	0%	0%
Padrão operacional seguro ou Procedimento operacional padrão (POP)	0%	0%	0%	1%	14%	72%	14%	0%	0%
DDS	0%	0%	0%	0%	1%	14%	84%	1%	0%
Gestão de mudança (Gmud) ou Management of Change (MoC)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	99%	0%
Comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Podemos observar resultados robustos, para os resultados de OPI, Autoavaliação de segurança nas primeiras posições e Gmud e CIPA nas últimas. Os resultados das demais ferramentas tem uma variação maior de posição nas simulações.

De maneira complementar, foi realizado um teste estatístico de correlação para analisar a precisão dos resultados da análise de sensibilidade. Esse teste considera um nível de significância para aceitar ou rejeitar a hipótese de que há associação entre dois resultados em cada caso do processo de simulação (MORAIS et al., 2015). A informação de entrada para a realização do teste é o nível de significância para alfa, sendo utilizado o coeficiente tau de Kendall para testar a correlação.

Para calcular o coeficiente tau de Kendall e testar a correlação entre a simulação e o resultado original foi discutido com o decisor e assumido um nível de significância de 5%.

The Kendall correlation test aims to verify the similarity between the original ranking and the rankings obtained in the sensitivity analysis.

Hypothesis Test: (2)

- Null Hypothesis: "There is no association between the rankings (original and the simulated ones) under analysis for the specified significance level."
- Alternative Hypothesis: "There is association between the rankings (original and the simulated ones) under analysis for the specified significance level."

Select the significance Level (α): (2)

The Null Hypothesis is: Rejected

- This indicates that there is correlation between the original ranking and the rankings obtained in the sensitivity analysis.

Figura 17 – Resultado do teste de hipótese utilizando Tau de Kendall

A rejeição da hipótese de que não existe associação entre o ranking original e as simulações valida os resultados obtidos, indicando que as simulações são robustas e tem

correlação com os dados originais. A figura 18 é o resultado do produto do INSIDE para a simulação realizada.

4.2 DISCUSSÕES

O processo de apoio a tomada de decisão multicritério, principalmente quando utiliza métodos para estruturação de problemas, tem o potencial de contribuir para a resolução de problemas, desde as etapas de estruturação. Isso ocorre porque o processo prevê a elicitação de quem é o decisor, promove discussões sobre aspectos importantes do contexto de decisão e com esse problema não foi diferente. O produto deste projeto, o Ranking das ferramentas, oferece a empresa uma oportunidade de refletir sobre como as ferramentas de maior impacto na construção de cultura de segurança, no desenvolvimento do conhecimento de segurança e processo e que reduzem acidentes do trabalho estão sendo aplicadas. Esse ranking pode subsidiar decisões, como a aquisição de um software específico para apoiar a realização e o acompanhamento de diálogos diários de segurança, ou a criação de um treinamento sobre como realizar observações comportamentais, adequando-a ao tempo previsto pela ferramenta.

Antes mesmo da criação do Ranking, a análise das ferramentas utilizadas já proporcionou resultados que ajudam a compreender melhor o cenário do estudo. No critério C3, destacam-se as ferramentas DDS e AAS, que apresentaram bom desempenho, pois são ferramentas que devem ser utilizadas por todos os envolvidos e com elevada frequência. Neste mesmo critério as ferramentas GMUD e a CIPA têm um desempenho mais baixo, pois o GMUD só é utilizado quando há uma mudança e a CIPA possui uma expectativa traçada na NR5 e para atingi-la são envolvidas poucas pessoas e em situações específicas pré-determinadas. As ferramentas que têm uma metodologia para identificação de causa em seu fluxo de utilização, como a investigação de incidentes e OPI, tiveram os melhores desempenhos no critério C4.

Outro resultado importante é a avaliação da investigação de incidentes com baixo desempenho no critério C8, sendo considerada pouco proativa, o que faz sentido uma vez que essa ferramenta é a resposta aos eventos. Embora distorções possam existir em algumas realidades, em que ferramentas conceitualmente proativas não foram avaliadas como tal, o resultado compilado revelou que das outras ferramentas avaliadas apenas a CIPA também obteve a classificação de ferramenta reativa, sendo considerada uma ferramenta que só entra em ação quando ocorrem acidentes, o que resultou em um baixo desempenho no critério C8.

Resultados surpreendentes surgiram ao analisar o desempenho do DDS no critério C4, no qual a ferramenta foi classificada com desempenho baixo. A surpresa se deve ao fato de que, na percepção dos especialistas, o DDS deveria ser uma das principais formas de comunicação para evitar recorrências, mas sua avaliação média foi de "discordo parcialmente". O DDS

também teve desempenho abaixo do esperado no critério C5, refletindo uma lacuna na participação da liderança durante os DDS.

No critério C2, a avaliação da OPI foi surpreendente, já que, no protocolo de uso da ferramenta, a observação deveria durar entre 20 e 30 minutos, mas os resultados indicaram que a duração média foi de 7 a 10 vezes superior a esse tempo.

Com base nas avaliações de acordo com os critérios estabelecidos pelo decisor, com apoio do método ROC, foram ordenadas as opções. A observação comportamental (OPI) ficou na primeira posição, seguida pela autoavaliação de segurança, intervenções, LOTO e investigações de acidentes, nessa ordem, todas com um fluxo positivo. O ranking foi completado pelas ferramentas DDS, GMUD e CIPA, ocupando, respectivamente, as últimas posições, sendo essas três ferramentas caracterizadas por fluxos negativos.

A posição das extremidades no ranking apresentou alta robustez, como indicado pela simulação de Monte Carlo, que considerou uma dispersão de 10% para mais ou para menos nos valores das respostas. Para a primeira e nona posição, em 100% dos valores simulados, não houve alteração de posição, com as ferramentas com as ferramentas de observação comportamental e a CIPA respectivamente. Para a Autoavaliação de segurança e Gmud, a permanência em suas posições originais ocorreu em 94% e 99% das simulações, indicando uma robustez muito alta. As demais ferramentas, exceto o LOTO, mantiveram suas posições em mais de 70% das simulações, enquanto o LOTO manteve a quarta posição do ranking em 61% das simulações, subiu para terceiro em 22% e caiu para quinto em 16%.

Esses resultados sugerem que apesar de existirem distorções comentadas acima, as observações comportamentais são e autoavaliações de segurança são as ferramentas que melhor auxiliam a empresa a cumprir seus objetivos de construção de cultura de segurança e de forma proativa e fornecendo um direcionamento para segurança, sendo canais mais promissores para mensagens importantes. No mesmo sentido é necessário o aprimoramento de como são utilizadas as CIPAs, uma vez que, embora seja um requisito legal e não possa ser substituída por outra ferramenta, é possível adotar ações que aprimorem suas contribuições para a segurança do trabalho, especialmente nos pontos de maior valor.

4.3 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvido um modelo de comparação das ferramentas de segurança do trabalho por meio de um ranking. Todas as fases do desenvolvimento do modelo, desde a estruturação do problema utilizando o método VFT, passando pelo aprofundamento teórico, até a aplicação prática por meio de um framework, proporcionaram valiosas reflexões tanto no âmbito acadêmico quanto na aplicação prática para a empresa. A metodologia proposta,

embora tenha sido desenvolvida para uma empresa específica, mostrou-se suficientemente flexível para ser aplicada em outras organizações, pois avaliou diferentes realidades e demonstrou sua aderência a essas diferentes situações.

De forma geral, o ranking desenvolvido pode orientar a empresa a direcionar esforços estratégicos em áreas como comunicação, treinamentos e aquisição de sistemas, promovendo mudanças na forma de utilização de algumas ferramentas de segurança. O cruzamento com a base científica contribui para a discussão sobre quais ferramentas são realmente necessárias e quais aspectos são mais relevantes para a segurança. No entanto, uma limitação deste trabalho é que, embora tenha abordado diversos aspectos importantes da literatura, não foram avaliadas todas as ferramentas disponíveis, como o FEMEA, que é uma ferramenta comum no mercado, mas não utilizada na empresa estudada.

Outros trabalhos podem ser feitos utilizando informações parciais, possibilitando a inclusão de participantes que por não terem a visão que permitisse a comparação total das ferramentas, não participaram deste trabalho.

Por fim, pode-se concluir que o objetivo deste trabalho foi atingido e o apoio à decisão multicritério, através da combinação de uma estrutura multimetodológica estruturando através do VFT e desenvolvendo um framework, se mostrou útil para a criação de um ranking de ferramentas de segurança do trabalho, permitindo compreensão e estruturação do problema. O modelo possibilitou que o decisor não limitasse sua análise apenas a parâmetros objetivos, possibilitou também o julgamento subjetivos em consultas a especialistas. Com isso, o framework de apoio a decisão pode ser aplicado em outras empresas, para auxiliar na estruturação de um plano de trabalho, ou em cenários de empresas mais novas, na seleção de implementação de ferramentas de segurança do trabalho.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6

ALENCAR, M. H., JUNIOR, L. P., ALENCAR, L. H. Structuring objectives based on value-focused thinking methodology: Creating alternatives for sustainability in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 62-73, 2017.

ALFARES, H. K.; DUFFUAA, S. O. Simulation-Based Evaluation of Criteria RankWeighting Methods in Multi-Criteria Decision-Making. **International Journal of Information Technology e Decision Making**, v. 15, n. 1, p. 43-61, 2016.

ALVES, D.; OLIVEIRA, C. F.; MARSAL, S. C.; SOUZA, R. N.; FONSECA, L. P. C.; Monitoring and reporting dam safety operational risks based on bow tie methodology; **Process**

Safety Progress; p. 1 – 16; 2023.

BANA E COSTA, C. A.; BEINAT, E. Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública. *Investigação operacional*, v.3, 2010.

BANA E COSTA, C.A.; LOURENÇO, J.C.; OLIVEIRA, M.D.; BANA E COSTA, J.C.
A Socio-technical Approach for Group Decision Support in Public Strategic Planning: The Pernambuco PPA Case. *Group Decision and Negotiation*, v. 23, n. 1, p. 5-29, 2014.

BARBOSA, R. S.; PINHEIRO, F. A.; CRISÓSTOMO, A. P.; Principais Metodologias de Gerenciamento de Riscos: Uma Revisão Bibliográfica; **Revista multidisciplinar de psicologia**, v 15, n 56, p. 803 – 822, 2021.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E.; Decision Quality Using Ranked Attribute Weights; **Management Science**, v.42, n 11, p. 1515-1523, 1996.

BARROS, R. G.; SOBRAL, M. F. F.; Aplicação da Metodologia Multicritério na Seleção de Projetos em uma Incubadora de Empresas de Pernambuco; **RAI – Revista de Administração e Inovação**; v.12, n.2, p. 180 – 199, 2015.

BATRES, R; FUJIHARA, S.; SHIMADA, Y.; FUCHINO, T.; The use of ontologies for enhancing the use of accident information; **Process Safety and Environmental Protection**; v. 92, p 119-130, 2014.

BEEMSTERBOER, D. J. C.; HENDRIZ, E. M. T.; CLAASSEN, G. D. H.; On solving Best-Worse Method in Multi-criteria decision-making; **IFCA (International Federation of Automatic Control)** Hosting by Elsevier ltd. 2018.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B., ALBADVI, A., AGHDASI, M.; PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications; **European Journal of Operational Research**; v.200, p 198-215, 2010.

BELTON, V.; STEWART, T.; Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. **Springer Science e Business Media**; Nova York 2002.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method. **Management Science**,

v. 31, p. 647-656, 1985.

BRASIL. Fundacentro - Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho. **Prevenção de acidentes do trabalho.** Disponível em <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2023/junho-1/27-de-julho-e-o-dia-nacional-da-prevencao-de-acidentes-do-trabalho>. Acesso em 26/08/2023.

BRASIL. Ministério da Previdência Social. **Dados estatísticos – Saúde e Segurança do Trabalhador 2021.** disponível em https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/acidente_trabalho_incapacidade,. Acesso em 23/08/2023.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **No Brasil foram registrados 2.888 acidentes fatais em 2023, segundo dados do eSocial.** disponível em [No Brasil foram registrados 2.888 acidentes fatais em 2023, segundo dados do eSocial — Ministério do Trabalho e Emprego](#). Acesso em 16/12/2024.

CALVO; D. S. C.; FERREIRA, J. A.; CUNHA, D. M.; MENDES, D. P.; As contribuições do direito de recusa a trabalho perigoso para a organização dos processos produtivos; **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 16, n. 2, p. 102-123, 2020.

CASCAES, B. P.; RODRIGUES, L. J.; SCHNEIDER, P. S. Análise de sensibilidade usando o método de Monte Carlo aplicada à instalação de um SFCR. In: **Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2**. Porto Alegre: Atena, CAPÍTULO 4, 2020.

CASTRO, G.O.; Modelo de classificação baseado na adaptação do método PROMETHEE-ROC; **Dissertação de mestrado em Engenharia de produção**, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, p. 30, 2023.

CAVALCANTE, C. A. V.; DE ALMEIDA, A. T. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 279-296, 2005.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY (CCPS); **Introduction to Management of Change**; American Institute of Chemical Engineers, EIN: 13-1623892, 2024. Disponível em

[Introduction to Management of Change | AIChE](#). Acesso em 19 de agosto 2024.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY (CCPS); **Introduction to Incident Investigation**; American Institute of Chemical Engineers, EIN: 13-1623892, 2024. Disponível em [Introduction to Incident Investigation | AIChE](#). Acesso em 19 de agosto 2024.

CINELLI, M.; KADZINSKI, M.; GONZALEZ, M.; SLOWINSKI; How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy; **Omega**; v. 96, 2020.

CHOUDHRY, R. M.; FANG, D.; MOHAMED, S.; The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art; **Safety Science**; v. 45, p. 993–1012, 2007.

CLEMENTE, T.R.N. Estudo de pesos substitutos para o método PROMETHEE II e aplicação em modelo para avaliação de tecnologias críticas; **Doutorado em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Pernambuco**, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, p. 132 Recife, 2015.

DANIELLOU, F.; SIMARD, M.; BOISSIÈRES, I. A cultura da segurança. In: DANIELLOU, F.; SIMARD, M.; BOISSIÈRES, I. (Org.). **Fatores humanos e organizacionais da segurança industrial: um estado da arte**. Fundação por uma Cultura de Segurança Industrial, 2013. cap. 10.

DE ALMEIDA, A. D.; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. F. D. Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações. **Atlas**, São Paulo, 2012.

DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, J. A., COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T.; A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff; **European Journal of Operational Research**, v. 250, p. 179-191, 2016.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA-FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V.; Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis; **Springer**, v.231, 2015.

DE ALMEIDA, A.T. Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão

multicritério. São Paulo: **Atlas**, 2013.

DE ALMEIDA, A. T.; O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão. Recife: **Editora Universitária**, 2010.

DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S.; Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. **Gestão e Produção**, v.9, n.2, p. 201 - 214, 2002.

DEJOY, D. M.; SCHAFFER, B. S.; WILSON, M. G.; VANDENBERG, R., J.; BUTTS, M. M.; Creating safer workplaces: assessing the determinants and role of safety climate; **Journal of Safety Research**; v. 35, p. 81-90, 2004.

DEJOY, D. M.; Behavior change versus culture change: Divergent approaches to managing workplace safety; **Safety Science**; v. 43, p. 105 - 129, 2005.

DELGADO, C. M.; MESSIAS, V. S.; VIANNA, D. S.; MEZZA, E. B. M.; VIANNA, M. F. D.; Prevenção de acidentes de trabalho: seleção de campanhas pelo método híbrido AHP-PROMETHEE; **International Journal of Scientific Management and Tourism**; v.9, n 3; p. 1702 – 1721; 2023.

DENI, W.; SUDANA, O.; SASMITA, A.; Analysis and Implementation Fuzzy Multi-Attribute Decision Making SAW Method for Selection of High Achieving Students in Faculty Level. **International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)**, Mahebourg, v. 10, n. 1, p. 674-680, jan. 2013.

DEUS, R. M.; VIEIRA, K. R. O.; FRANZAO, D. A.; MARIANO, E. B. Indicadores múltiplos de sustentabilidade: barreiras, motivadores e desafios para o desenvolvimento humano. **REUNIR: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 7, n. 1, p. 65-81, 2017. DOI: 10.18696/reunir.v7i1.492.

DINIZIO, M. C. D.; MARTINS, P. E. S.; Ferramentas de gerenciamento de riscos na engenharia de segurança do trabalho: Um estudo de revisão bibliográfica; **Ideias e Inovação**; v.5, n 3; p. 83 – 96; 2020.

DU PONT; **DU PONT Personal Protection**. [S. l.], 2024. Disponível em: [Descubra o que a sustentabilidade e a DuPont têm em comum!](#) Acesso em: 22 dez. 2024.

DÜZGÜNA, H. S.; LEVESON, N.; Analysis of soma mine disaster using causal analysis based on systems theory (CAST); **Safety Science**; v110, p. 37-57, 2018.

EBRAHIMI, H; SATTARI, F.; LEFSRUD, L.; MACCIOTTA, R.; Analysis of train derailments and collisions to identify leading causes of loss incidents in rail transport of dangerous goods in Canada; **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**; v. 72, 2021.

FAN, S.; ZHANG, J.; BLANCO-DAVIS, E.; YANG, Z.; YAN, X.; Maritime accident prevention strategy formulation from a human factor perspective using Bayesian Networks and TOPSIS; **Ocean Engineering**; v. 210; 2020.

FERNÁNDEZ, R. H.; La curva de Bradley en el sector minero. **Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas**, n. 15, p. 12-19, 2019.

FLEMING, M; Safety culture maturity model. Colegate, Norwich: **Health and Safety Executive**, 2001.

FRANCO, L. E. A. O.; CRUZ, B. L.; CARNEIRO, D. F. C.; MÁXIMO, G. O. S.; A importância do diálogo diário de segurança (DDS): Uma revisão de literatura; **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 8, 2023.

FREITAS, R. C.; Cultura preventiva: análise de implantação do programa de segurança do trabalho DuPont na empresa Mosaic Fertilizantes Cajati; **Segurança do Trabalho: experiências exitosas**; v. 2, 2022.

FREITAS, D.; SILVA, M. C. V. C.; Relato de experiência: Análise da maturidade da cultura de segurança de empresas de grande porte utilizando o método Hearts & Minds. **Revista Proteção**, n. 361, 2022.

GALDINO, S. V.; REIS, E. M. B.; SANTOS, C. B.; SOARES, F. P.; LIMA, F. S.; CALDAS, J. G.; PIEDADE, M. A. C. R.; OLIVEIRA, A. S. Ferramentas de qualidade na gestão dos serviços de saúde: revisão integrativa de literatura. **Revista Eletrônica Gestão & Saúde**, Brasília, v. 7, 2016. ISSN 1982-4785.

GLENDON, A. I.; STANTON, N. A.; Perspectives on safety culture; **Safety Science**; v. 34; p. 193- 214; 2000.

GOMES, L. F. A. M. Teoria da decisão. São Paulo: Thomson, 2007.

GOMES, P. J. M., Processos de fusão e aquisição em Portugal: Estudo do caso da aquisição da empresa Obelisco S.A. pela holding Desafios SGPS, S.A. Dissertação de Mestrado. **Instituto superior de contabilidade e administração do porto politécnico do porto**, 2021.

GONÇALVES FILHO, A. P.; ANDRADE, J. C. S.; MARINHO, M. M. O.; Cultura e gestão da segurança no trabalho: uma proposta de modelo; **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 205-220, 2011.

GORDON, R.; KIRWAN, B.; PERRIN, E.; Measuring safety culture in a research and development centre: A comparison of two methods in the Air Traffic Management domain; **Safety Science**; v. 45; p. 669 – 695; 2007.

GUI TOUNI, A.; MARTEL, J. M.; Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, v. 109, p. 501-521, 1998.

GUL, M.; CELIK, E.; GUMUS, A. T.; GUNERI, A. F. A fuzzy logic based promethee method for material selection problems. Beni-Suef University: **Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 7, n. 1, p. 68 – 79, 2018.

GUO, S.; ZHAO, H. Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications; **Knowledge-Based Systems**; v. 121, p 23 – 31, 2017.

HOLLNAGEL, E.; Barriers and accident prevention. Aldershot: **Ashgate**, p. 226, 2004

HOVDEN, J.; ALBRECHTSEN, E., HERRERA, I. A.; Is there a need for new theories, models and approaches to occupational accident prevention?; **Safety Science**; v.48, p 950 – 956, 2010.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Summary report on the post accident review on the Chernobyl accident**. Safety Series No. 75-INSAG-1. Viena, 1986.

INFANTE, R. P.; Método de decisão multicritério para problemas de classificação com múltiplos tipos de dados imperfeitos. **Tese de doutorado em engenharia de produção**, Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, Santa Barbara d’Oeste, p. 20,2019.

INSID – INSTITUTO NACIONAL DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E DECISÃO. *ROC Surrogate Weights for PROMETHEE Ranking with Monte Carlo Sensitivity Analysis and Kendall Test*. Disponível em: http://15.229.155.120/PrometheeRoc/SU_PXOMO_WF1.dll/EXEC/0/0xerh7g1pyjdp41b7yp2x1mw3at5. Acesso em: 10 dez. 2024.

ISMAIL, F.; HASHIM, A. E.; ISMAIL, W. Z. W.; KAMARUDIM, H.; BAHAROM, Z. A.; Behaviour Based Approach for Quality and Safety Environment Improvement: Malaysian Experience in the Oil and Gas Industry; **Social and Behavioral Sciences**, v. 35, p. 586 – 594, 2012.

KEENEY, R.L. Value-Focused Thinking: A path to creative decisionmaking. **Harvard University Press**, Cambridge, 1992.

KEENEY, R.L., RAIFFA, H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, **Wiley**, New York, 1976.

KEENEY, S.; HASSON, F.; MCKENNA, H.P. A critical review of the Delphi technique as a research methodology for nursing. **International Journal of Nursing Studies**, v.38, n.2, p. 195-200, 2001.

LANGHANS, S. D.; REICHERT, P.; SCHUWIRTH, N. The method matters: A guide for indicator aggregation in ecological assessments, **Ecological Indicators**, v.45, p. 494-507, 2014.

LEVESON, N. G; Engineering a Safer World; **Systems Thinking Applied to Safety**; 1º edição. Cambridge/Massachusetts, Londres, Inglaterra. Engineering Systems, p – 61; 2016.

LEVESON, N. G.; A Systems Approach to Risk Management through Leading Safety Indicators. **Elsevier Ltd: Reliability Engineering e System Safety**, v. 136, p. 17–34, 2015.

LIMA, F.; RABELO, L.; CASTRO, M.; Paradoxos e contradições do direito de recusa. **Conectando saberes**. Belo Horizonte: Editora Fabrefactum, p. 173-211, 2015.

LINSTONE, H.A.; TUROFF, M. Delphi: A brief look backward and forward.

Technological Forecasting and Social Change, v. 78, n. 9, p. 1712-1719, 2011

LOGULLO, Y., BIGOGNO-COSTA, V., SILVA, A. C. S., BELDERRAIN, M. C. A prioritization approach based on VFT and AHP for group decision making: a case study in the military operations. **Production**, n. 32, 2022.

LUGOBONI, L.; Identificação de uma lacuna de pesquisa. **Liceu On-line**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 1-199, 2017. ISSN 2179-5975.

LUNETTA, L.; GUERRA, D.; Metodologia da pesquisa científica e acadêmica; **Revista Owl** v.1, n.2, 2023.

MALAKOUTIKHAH, M., ALIMOHAMMADLOU, M., JAHANGIRI, M., RABIEI, H., FAGHIHI, S. A., KAMALINIA, M., Modeling the factors affecting unsafe behaviors using the fuzzy best–worst method and fuzzy cognitive map. **Applied Soft Computing**, v.114, 2022.

MARCHI, A.; PEREIRA, D. G.; BURTET, M.; Mensurando a Maturidade da Cultura de Segurança no Trabalho: uma revisão das ferramentas existentes; **Revista de Ciencias Empresariales y Sociales**; v. 1; n. 1; p. 76 – 106; 2018.

MARHAVILAS, P.K., FILIPPIDS, M., KOULINAS, G.K., KOULOURIOTIS, D.E., The integration of HAZOP study with risk-matrix and the analytical-hierarchy process for identifying critical control-points and prioritizing risks in industry – A case study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.62, 2019.

MARTTUNEN, M.; HAAG, F.; MUSTAJOKI, J.; LIENERT, J.; Methods to inform the development of concise objectives hierarchies in multi-criteria decision analysis; **European Journal of Operational Research**; 277, pg. 604 – 620, 2019.

MARTTUNEN, M.; LIENERT, J.; BELTON, V. Structuring problems for Multi- Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. **European Journal of Operational Research**, v. 263, n. 1, p. 1–17, 2017.

MEARNS, K.; WHITAKER, S. M.; FLIN, R.; Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments; *Safety Science*; v. 41, p. 641–680, 2003.

MELO, N. J. G.; Importância da CIPA para as empresas – uma revisão bibliográfica; **Revista Ibero-Americana de Humanidades**, Ciências e Educação. São Paulo, v.9, n.03, 2023. ISSN - 2675 –3375

MENG, B.; LU, N.; LIN, C.; ZHANG, Y.; SI, Q.; ZHANG, J.; Study on the influencing factors of the flight crew's TSA based on DEMATEL–ISM method; **Cognition, Technology e Work**; v. 24, p. 275 – 289, 2022.

MERGULHÃO, R. C. (2006). Estruturação do Uso da Medição de Desempenho para Programa Seis Sigma. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Produção, 116 p.

MERRICK, J. R., GRABOWSKI, M., AYYALASOMAYAJULA, P., HARRALD, J. R. Understanding Organizational Safety Using Value-Focused Thinking. **Risk Analysis**, v. 25, ed. 4, p. 1029-1041, 2005.

MINGERS, J.; BROCKLESBY, J. Multimethodology : Towards a Framework for Mixing Methodologies. **Omega**, v. 25, n. 5, p. 489–509, 1997.

MIRDERIKVAND, H., RAZAVIAN, F., NAKHAE, A., GHIASABADI, B. M., GHOLAMNIA, R., A barrier risk-based evaluation model for drilling blowouts. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.74, 2022.

MONTIS, A. D.; TORO, P. D.; DROSTE-FRANKE, B.; OMANN, I.; STAGL, S. Criteria for quality assessment of MCDA methods. **3rd Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics**, n. section 5, p. 30, 2000.

MORAIS, D. C.; ALENCAR, L. H.; COSTA, A. P. C. S.; KEENEY, R. L.; Using value-focused thinking in Brazil. **Pesquisa Operacional**, v. 33, n. 1, p. 73-88, 2013.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T.; ALENCAR, L. H.; CLEMENTE, T. R. N.; CAVALCANTI, C. Z. B.; PROMETHEE-ROC Model for Assessing the Readiness of Technology for Generating

Energy; **Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering**, v.15, 2015.

NEWMAN, S.; GOOD, N.; Communication in the workplace: Defining the conversations of supervisors; **Journal of Safety Research**; v. 70, p 19 – 23, 2019.

NORDIC COUNCIL OF MINISTERS. *The Use of Decision-aid Methods in the Assessment of Risk Reduction Measures in the Control of Chemicals*. TemaNord, 1997, n. 622. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 1997. ISBN 92-893-0139-2. ISSN 0908-6692.

OIT. **ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO**. OMS/OIT: Quase 2 milhões de pessoas morrem a cada ano de causas relacionadas ao trabalho; disponível em <https://www.ilo.org/brasilia/noticias/lang--pt/index.htm>, 2021. Acesso em 23/08/2023.

OIT – **ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO**. Sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho: um instrumento para uma melhoria contínua. Turim: Ciência Gráfica, 2011.

PATIAS, N. D.; HOHENDORFF, J. V.; Critérios de Qualidade para Artigos de Pesquisa Qualitativa; **Psicologia em Estudo**; v. 24, 2019.

PASMAN; H. J.; Risk Control of Complex Systems: Can safety performance indicators be more informative?; **Hazards**, v.26; 2016.

PAULA, C. S. de; OLIVEIRA, M. C.; CHACON FILHO, J. C. BONINI, L. M. M.; NUNES, S. F.; Implementação de procedimento operacional padrão (POP) numa fábrica de tratores: um estudo de caso; **Revista Ibero-Americana de Humanidades**, Ciências e Educação. São Paulo, v.8, n.11, 2022. ISSN -2675 –3375.

PAVIC, Z.; NOVOSELAC, V.; Notes on TOPSIS Method; **International Journal of Research in Engineering and Science**; v. 1, n. 2, p 5 – 12, 2013.

PINHEIRO, L. D.; GOMES, R. X. S.; FREITAS, M. C. S.; MACIEL, F. D.; GOTO, E. S.; BREVES, J. B. de C.; PIRES, F. S.; Teoria do queijo suíço para redução e controle de consumo em um Centro Integrado de Inclusão e Reabilitação: um relato de experiência. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, 24(4), 2024; e15912. <https://doi.org/10.25248/reas.e15912.2024>

PINOS, A. J. C.; GARCÍA, M. N. G.; BAPTISTA, J. S.; RODRIGUES, F.; Geometric interpretation of risk and prevention, by implementation of the “Level of Preventive Action” risk assessment method; **Safety Science**, v 167, 2023.

RAIZEN; Quem Somos. *In*: RAÍZEN. **História e Reconhecimento**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/sobre-a-raizen/quem-somos/historias-e-reconhecimentos>. Acesso em: 17 set. 2023.

REASON, J.; Human error: models and management. **The BMJ**, 2000; 320 :768.

REIS, A. C. B.; SCHRAMM, V. B.; Guia para Aplicação da Análise Multicritério em Análise de Impacto Regulatório (AIR) no Inmetro; **Projeto de Melhoria da Qualidade Regulatória - PN 15.2099.8-019.00**; Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro; Brasília, 2022.

RIVAS, R. E. G.; Uso do método multicritério para a tomada de decisão operacional tendo em conta riscos operacionais, à segurança, ambientais e à qualidade. **Dissertação de mestrado em Engenharia Industrial**, Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial – PEI, Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 30, 2016.

ROBERTS, R.; GOODWIN, P.; Weight Approximations in Multi-attribute Decision Models. **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, v. 11, p. 291-303, 2002.

ROCHA, R.; PUCCI, F.; WALTER, J.; Cultura de segurança e relações de poder nas organizações. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 48, 2023.

ROY, S., GUPTA, A., Safety investment optimization in process industry: A risk-based approach. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 63, 2020.

ROY, Bernard. Multicriteria methodology for decision aiding: nonconvex optimization and its applications. **Springer US**, v. 12, 1996.

SANTOS, L. F. M.; HADDAD, A. N.; LUQUETTI DOS SANTOS, I. J. A.; Process Safety Leading Indicators in Oil Storage and Pipelines: Building a Panel of Indicators; **Chemical Engineering Transactions**; v. 77, 2019.

SACCARDO, R. R.; Um modelo para indicar locais para instalação de usinas fotovoltaicas no Brasil. 2024. 126 f. **Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção**, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru, p. 104, 2024.

SHENG, H.; NAH, F. F. H.; SIAU, K. Strategic implications of mobile technology: A case study using value-focused thinking. **The Journal of Strategic Information Systems**, v. 14, n. 3, p. 269-290, 2005.

SILVA, C. E. S. da; MELLO, C. H. P.; SIQUEIRA, N. F. G.; GODOY, H. A.; SALGADO, E. G.s. Aplicação do gerenciamento de riscos no processo de desenvolvimento de produtos nas empresas de autopeças. **Produção**, v. 20, n. 2, p. 200-213, 2010. DOI: 10.1590/S0103-65132010005000023.

SILVA, F. F.; Métodos de elicitação de pesos para modelos de apoio multicritério à decisão. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Produção, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, p. 25, 2018.

SILVA, S. M.; FREIRE, P. S.; KRAUSE, M. G.; Emergência da liderança relacional em processos integrativos de fusões e aquisições em organizações intensivas em conhecimento; **Governança do conhecimento e da aprendizagem organizacional: desafios para inclusão de múltiplos atores**, v15 n2, 2022.

SIPAHI, S.; TIMOR, M.; The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications; **Management Decision**, v. 48 No. 5, p. 775-808, 2010.

SMITH, K. J., DHILLON, G. Assessing blockchain potential for improving the cybersecurity of financial transactions. **Managerial Financie**, v. 46, ed. 6, 2020.

SOUZA, A. B.; SANTOS, M. S.; CINTRA, M. A. C. T.; Multicriteria Decision Analysis: rapid review about the criteria used in the Health Technology Assessment; **J Bras Economia e Saúde**; v. 10 n°1, p. 64-74, 2018.

SWUSTE, P.; THEUNISSEN, J.; SCHMITZ, P.; RENIERS, G.; BLOKLAND, P.; Process safety

indicators, a review of literature; **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**; v. 40, p. 162 – 173, 2016.

TOMIC, V.; MARINKOVIC, Z.; JANOSEVIC D.; Primena Promethee metode kod višekriterijumskog odlučivanja; Facta universitatis - series: **Mechanical Engineering** Vol. 9; No2, pg. 193 – 202, 2011.

TOIGO, L. A.; HEIN, NELSON; Desempenho das companhias pós-fusões e aquisições mensurados pelos filtros Graham; **Revista Catarinense da Ciência Contábil** v. 16, n. 49, p. 34-50, 2017.

TOSMAN, J. M.; Entenda os princípios gerais da NR-12 sobre a segurança no trabalho em máquinas e equipamentos; **Cipa e Incêndio**; n.514, 2022.

ÚNICA – **União da indústria da cana-de-acúcar**; Saúde e Segurança do trabalho são temas de workshop; disponível em <https://unica.com.br/noticias/seguranca-e-saude-no-trabalho-sao-temas-de-workshop-em-campinas/>; 2022. Acessado em 14/04/2023

VELOSO, M. F. C. S.; Sistemas de informação e apoio a decisão para framework de construção de modelos de decisão multicritério. **Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção**, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 24, 2023.

WANG, B., ZHU, Y., LI, D., WU, C., Evidence-based accident prevention and its application to hazardous chemical storage accident prevention. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 160, p. 275-285, 2022.

WARNER, J.; ALVES, E. N.; COATES, R.; O queijo suíço no Brasil: cultura de desastres versus cultura de segurança; **Ambiente e Sociedade**, v.22, 2019.

XIE, K.; LIU, Z.; Factors Influencing Escalator-Related Incidents in China: A Systematic Analysis Using ISM-DEMATEL Method; **International Journal of Environmental Research and Public Health**; v16; 2019.

YU, Y.; YANG, J.; WU, S.; A novel FMEA approach for submarine pipeline risk analysis based

on IVIFRN and ExpTODIM-PROMETHEE-II; **Applied Soft Computing**; v. 136, 2023.

ZHANG, Y. J.; HUANG, Z. R.; ZHAO, F. Y.; WANG, Y.; Mathematical modeling and evaluation of the safety culture for the operating nuclear power plants in China: Critical review and multi-criteria decision analysis; **Annals of Nuclear Energy**; v. 168, 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa do curso de pós-graduação em nível de mestrado acadêmico em Engenharia de Produção, na área de pesquisa operacional, subárea métodos de análise e decisão multicritério, sob responsabilidade do mestrando Diego Antonio Franzao.

A pesquisa terá como objetivos: Estruturar o problema de decisão utilizando o método Value Focused Thinking; propor um modelo que crie um ranking das ferramentas de segurança do trabalho de acordo com critérios que tenham valor para a empresa e testar o modelo desenvolvido com uma aplicação real. Este estudo se justifica pela necessidade de prevenir acidentes de trabalho, protegendo a saúde dos trabalhadores e atendendo às exigências legais e sociais. Apesar de avanços, como a redução de 25% na taxa de acidentes no Brasil nos últimos 10 anos, setores específicos, como o sucroenergético, apresentam desafios, incluindo variações significativas entre empresas e áreas. Diante disso, a aplicação de métodos de apoio à decisão multicritério (MCDA) para ordenar ferramentas de segurança do trabalho surge como uma oportunidade de aprimorar práticas preventivas e promover estratégias mais eficazes no setor. Com relação ao método de estudo, este será conduzido por meio de duas etapas: a primeira etapa refere-se à aplicação de entrevistas com a posterior complementação delas, através de um subsequente questionário; já a segunda etapa refere-se a uma análise dos resultados das entrevistas e questionários, onde o resultado das entrevistas e do questionário se tornará a base para o desenvolvimento do projeto.

Nesta etapa do estudo você está sendo convidado a participar da entrevista voluntária que se baseará acerca dos fatores (critérios) que fazem uma ferramenta de segurança do trabalho apropriada para fazer parte de um programa de SSMA. Sua colaboração irá auxiliar na compreensão do processo ranqueamento das ferramentas. Fica desde já assegurado, que seu nome e seus dados não serão divulgados, pois haverá sigilo das informações por parte dos pesquisadores.

Este estudo está respaldado na Resolução 466/2012 criada pelo Conselho Nacional de Saúde, o qual preconiza a segurança e proteção dos participantes de pesquisas que envolvem seres

humanos. É importante salientar que a sua participação na pesquisa é voluntária, portanto, caso não queira participar basta relatar ao entrevistador sobre sua decisão. Você também pode retirar seu consentimento em qualquer etapa da pesquisa, entrando em contato com o pesquisador responsável por meio de telefone e/ou e-mail, sem que isso acarrete prejuízos a você e ao estudo.

Os resultados globais desta pesquisa se tornarão públicos, podendo fazer parte de publicação em congressos ou em publicações científicas, além de fazer parte da dissertação de mestrado do responsável pela pesquisa, com a ressalva que será resguardado o anonimato dos participantes.

Ao concordar em participar da pesquisa, você declara que está de acordo com este termo; que está ciente da liberdade de participar ou não da pesquisa, bem como do seu direito de deixar de participar do estudo, sem que isto lhe traga qualquer prejuízo; que tem o direito de receber resposta a qualquer dúvida acerca dos procedimentos e outros assuntos relacionados com a pesquisa; e que não haverá divulgação de dados pessoais. Diante das explicações, se você concorda em participar deste projeto, forneça os dados solicitados e coloque sua assinatura a seguir.

Nome: _____ R.G. _____ Endereço

Eletrônico: _____ Fone: _____

_____, _____ de _____ de 20__

APÊNDICE B – Entrevista com o Decisor

Apresentação: Apresentação pessoal, Apresentação da Unesp, Apresentação do trabalho e solicitar o consentimento pelo TCLE.

INÍCIO DA ENTREVISTA:

1 – Na sua opinião, o que se procura, quando decide o que fará parte de um programa de SSMA? (Orientações complementares ao entrevistador: complementar perguntando quais os objetivos / quais são as aspirações / o que se quer otimizar)

Priorizar / Selecionar as melhores práticas que funcionaram para reduzir acidentes em outros locais. Alinhado com a estratégia. Construção de uma cultura de segurança / Rotina de segurança. Gestão de reconhecimento (o quanto o EAB pela vida agrega para redução de incidentes, o quanto agrega para evolução do comportamento seguro. Não olhar apenas a meta).

2 - O que se leva em conta / o que se valoriza quando decide o que fará parte de um programa de SSMA?

Alinhamento a estratégia, construir cultura de segurança, redução de acidentes, aplicabilidade.

3 – Como ocorre a decisão pela escolha de quais ferramentas que serão acompanhadas pelo

programa?

Ouvir os coordenadores, com decisão final do corporativo. Precisamos ouvir mais a ponta.

4 - Considerando um leque de opções de ferramentas. O que seira mais interessante, escolher, classificar ou ordenar

(**Escolher** = optar entre uma coisa e outra, preferir, selecionar, eleger; **Classificar** = reunir em classes e nos grupos respectivos; **Ordenar** = arrumar, dispor, colocar em ordem)

Ordenar (foco em qualidade)

5 - Na sua opinião, que características fazem de uma ferramenta ser classificado como inadequada?

Complexa, desalinhado com a expectativa da linha de negócio, que o objetivo já esteja sendo atendido por outra ferramenta.

6 - Pensando agora nas ferramentas adequadas, o que é levado em conta para se decidir entre uma ferramenta e outra? (Orientações complementares ao entrevistador: solicitar ao entrevistado que enumere uma lista de critérios de RANQUEAMENTO, caso o entrevistado tenha uma)

Aplicabilidade, replicabilidade, conseguir mensurar (uso e eficácia, qualidade) ter resultado diferenciado, conexão com as competências da liderança, ferramentas proativas, disciplina / incorporadas a rotina / periodicidade.

7 - Na sua opinião, o que seria uma alternativa excelente de ferramenta para garantir a segurança das pessoas? (complementar perguntando o que seria uma alternativa razoável e uma alternativa terrível)

OPI (mais simples e objetiva), safety tour (razoável), coach de OPI sem preparação (terrível)

8 – Pensando na escolha da ferramenta, você imagina que hoje, possa existir alguma limitação, para que isto possa ser feito?

Agenda da liderança (diferentes níveis de liderança), redundância de avaliação

9 - Existe algum local potencial que você indicaria para que possamos testar nosso modelo?

Na Regional Centro Sul, guiado pelo resultado do Field Assessment do sistema Alerta.

10 - Há alguma coisa que a senhorita gostaria de acrescentar a entrevista antes de encerrarmos?

Desafio é ser perene, sendo fundamental a construção com a ponta. Provocação - Desenvolver liderança

APÊNDICE C – Cálculo e dados de taxa de frequência

Taxa de frequência – É a representação da quantidade de acidentes de trabalho ocorridos a cada um milhão de horas trabalhadas e é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Taxa de frequência} = \frac{\text{Numero de acidentes de trabalho} \times 1.000.000}{\text{Total de Horas Homens Trabalhadas}}$$

Agrícola – Taxa de Frequência – TF dos acidentes sem afastamento

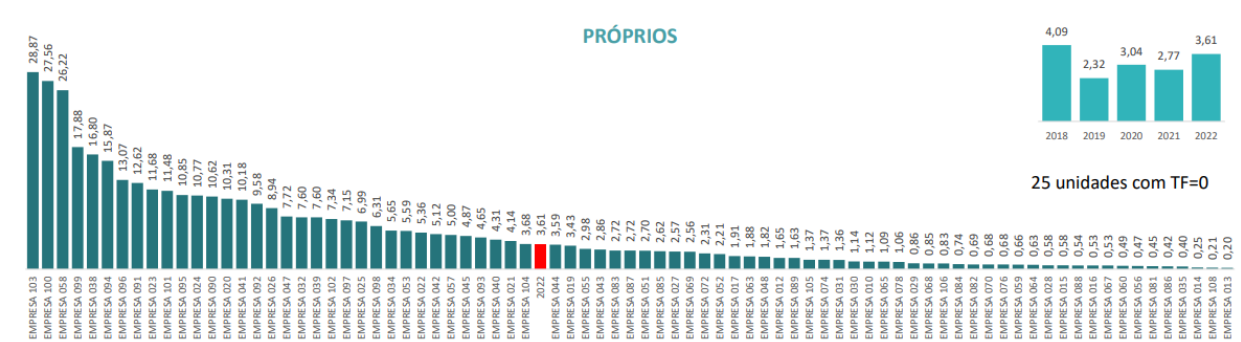


Figura 18 - Gráfico com a taxa de frequência de acidentes sem afastamentos da área agrícola nas empresas associadas a ÚNICA

Indústria – Taxa de Frequência – TF dos acidentes sem afastamento

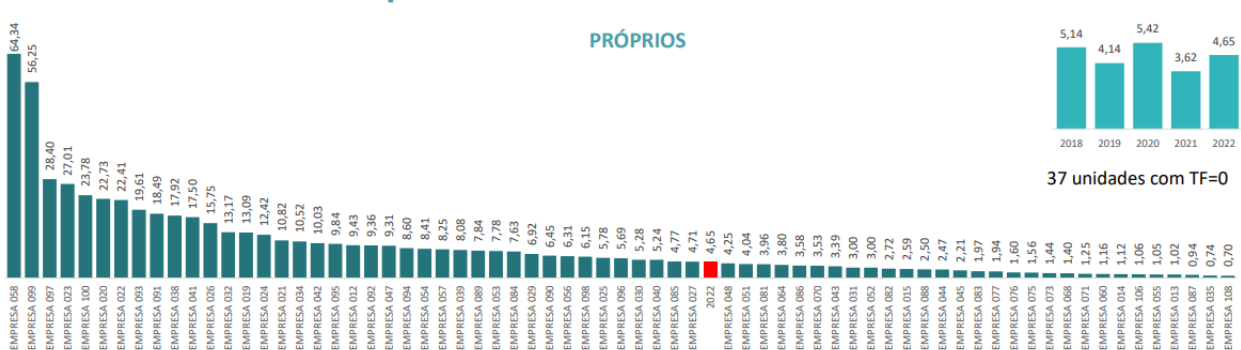


Figura 19 - Gráfico com a taxa de frequência de acidentes sem afastamentos da área industrial nas empresas associadas a ÚNICA