

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL DOUTORADO

ADRIANE PEDROSO DIAS FERREIRA

GERENCIAMENTO DE FALHAS BASEADO EM
EVIDÊNCIAS: PROPOSTA DE MÉTODO E PROTÓTIPO
COMPUTACIONAL

SÃO LEOPOLDO

2020

Adriane Pedroso Dias Ferreira

**Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências: Proposta
de Método e Protótipo Computacional**

Tese apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

São Leopoldo

2020

F383g Ferreira, Adriane Pedroso Dias.
Gerenciamento de falhas baseado em evidências : proposta de método e protótipo computacional / por Adriane Pedroso Dias Ferreira. – 2020.
129 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2020.
“Orientador: Dr. Daniel Pacheco Lacerda”.

1. Gestão baseada em evidências. 2. Gerenciamento de falhas. 3. Tomada de decisão. 4. Protótipo de software.
I. Título.

CDU: 658.562:004.414.2

Aos meus pais, meu irmão (in memoriam), a meu esposo e minha filha, que souberam entender os momentos de ausência, permitindo, assim, a finalização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, pela saúde e sabedoria para seguir com os meus objetivos e ter colocado em meu caminho pessoas especiais que contribuíram para o meu conhecimento e crescimento. Foi nos momentos mais difíceis durante essa trajetória que a corrida me ajudou a colocar o "mundo no mudo" e sentir Deus acalmando o meu coração e guiando os meus passos.

Agradeço imensamente meus pais Francisco e Jane. Obrigada por todo o apoio moral, psicológico, e por um tempo financeiro...se não fosse o apoio de vocês, esse sonho não teria se concretizado. Ao meu esposo Luciano pelo amor dedicado, otimismo, incentivo e paciência. À minha filha Amanda, por muitas vezes sem entender, aceitou, em silêncio, os momentos de ausência e cansaço ocorridos por tantos papéis exercidos simultaneamente.

Aos amigos que fiz durante essa trajetória, em especial a Jaqueline Maiorka, Simone Knak, Flávio Spanemberg, Andrey dos Santos e Kymberli Borba, obrigada pela amizade, energia, motivação e pelas conversas nos momentos difíceis. A minha amiga-irmã Ten Francine Fernandes obrigada pela amizade, motivação e orientações nos momentos difíceis.

Aos meus amigos da Sec Infor/CMPA - Cel Heim, Cap Adelar, Ten De Oliveira, Sgt Carvalho e Sgt Jaques, obrigada por tudo. As minhas amigas de farda as tenentes Andrieli, Rubia, Caroline, Débora e Michele obrigada pelas palavras, orientações e apoio.

Aos profissionais que auxiliaram no desenvolvimento e avaliação do método, obrigada pelo tempo e pelas informações disponibilizadas. Agradeço a todos os meus amigos e familiares. Cada um, a seu modo, me incentivou e colaborou para que esta conquista fosse possível.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda pelo acompanhamento e orientação. És um exemplo de profissional dedicado, determinado e com um coração enorme. Obrigada por todo conhecimento compartilhado durante as aulas e orientações.. Nada Resiste ao Trabalho!

RESUMO

A demanda por manter a performance das máquinas em um nível aceitável de ocorrência de falhas com baixo tempo de inatividade provém do crescimento do interesse e de iniciativas do setor, onde o diagnóstico e o gerenciamento de falhas são partes importantes para realizar o monitoramento da integridade das máquinas, função indispensável para a indústria do futuro. O uso responsável de estratégias que auxiliem na tomada de decisão para o gerenciamento e tratamento de falhas são essenciais para manter o equipamento seguro, confiável e sem riscos de acidentes de trabalho. Nesse panorama, a tomada de decisão para o gerenciamento de falhas precisa incluir evidências como parte da informação disponibilizada aos tomadores de decisão. Nessa direção, o objetivo desta pesquisa se concentra na proposição de um método para auxiliar na tomada de decisão para o gerenciamento de falhas. Para tanto, emprega-se a *Design Science Research* para conduzir a pesquisa, cujo resultado principal viabiliza a proposição do Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências (MGFBE) e Protótipo Computacional. O método é desenvolvido a partir da combinação de recursos oriundos da revisão sistemática da literatura, etapas da abordagem baseada em evidências e requisitos identificados por meio da análise dos métodos existentes. Seu processo construtivo ocorreu por meio de ciclos de melhorias realizadas, tendo como critério a utilização da gestão baseada em evidências. Sua validação ocorreu por meio de entrevistas para avaliação com especialistas de áreas multidisciplinares. As entrevistas permitiram identificar as principais oportunidades de melhoria e evidenciar a relevância desta proposta. Por fim, realizou-se o refinamento do método proposto e iniciou-se a implementação do protótipo computacional. O protótipo teve como objetivo dar apoio a tomada de decisão no gerenciamento de uma falha, permitindo a integração das evidências em uma base de evidências, melhoria do desempenho, melhoria da produtividade e da eficiência e, principalmente, segurança operacional dos processos.

Palavras-chaves: Gestão Baseada em Evidências. Gerenciamento de Falhas. Tomada de Decisão. Protótipo de Software.

ABSTRACT

The demand to maintain machine performance at acceptable failure rates and low down time is due to the increasing interest and initiatives of the sector, where failure diagnosis and management are important parts of monitoring machine integrity, an indispensable function for industries of the future. The responsible use of strategies that help decision-making in the management and treatment of failures is essential to keep the equipment safe and reliable, without the risk of workplace accidents. In this respect, decision-making for failure management needs to include evidence as part of the information available to decision makers. Thus, the aim of the present study was to propose a method to help in the decision-making of failure management. To that end, Design Science Research was used to conduct the study, whose main finding supports the Evidence-Based Method for Managing Failures (EBMMF) and the Computational Prototype. The method is developed from a combination of resources obtained from a systematic literature review, stages of the approach based on evidence and requirements identified using analysis of existing methods. Its constructive process occurred by means of the improvement cycles conducted, whose criterion is the use of evidence-based management. It was validated using interviews with specialists from multidisciplinary areas. The interviews made it possible to identify the main opportunities for improvement and demonstrate the relevance of this proposal. Finally, the proposed method was refined and the computational prototype implementation process initiated. The aim of the prototype was to support failure management decision making, enabling evidence integration, enhanced performance, better productivity and efficiency, and, most importantly, process safety.

Key-words: Evidence-based management. Failure management. Decision making. Software prototype.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Desenho de Pesquisa | 20 |
| Figura 2 – Espiral do Conhecimento | 31 |
| Figura 3 – Fontes responsáveis pelas evidências | 33 |
| Figura 4 – Método CAT | 38 |
| Figura 5 – Estratégia para condução de pesquisas científicas | 41 |
| Figura 6 – Método de trabalho para condução da pesquisa | 45 |
| Figura 7 – Categorização da análise de dados | 54 |
| Figura 8 – Etapas para a aplicação da FMEA | 57 |
| Figura 9 – Etapas para a aplicação da FTA | 59 |
| Figura 10 – Etapas do método DRBFM | 60 |
| Figura 11 – Fluxograma de construção do método | 68 |
| Figura 12 – Primeira versão do método proposto | 69 |
| Figura 13 – Segunda versão do método proposto | 70 |
| Figura 14 – Disposição dos dados para análise | 72 |
| Figura 15 – Detalhamento Etapa 1 - Mapeamento | 73 |
| Figura 16 – Etapas norteadoras da RSL | 75 |
| Figura 17 – Detalhamento Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento | 77 |
| Figura 18 – Detalhamento Etapa 3 - Avaliar e Validar | 80 |
| Figura 19 – Proposta do MGFBE para avaliação dos especialistas | 81 |
| Figura 20 – Levantamento do grau de impacto do problema | 82 |
| Figura 21 – Aquisição do conhecimento pelos especialistas | 84 |
| Figura 22 – Validação das evidências pelos especialistas | 85 |
| Figura 23 – Validação das evidências pelo grau de recomendação | 85 |
| Figura 24 – Modelo de relatório final | 87 |
| Figura 25 – Soluções satisfatórias do MGFBE | 94 |
| Figura 26 – Versão do MGFBE para aplicação | 95 |
| Figura 27 – Ferramentas para operacionalização das etapas do MGFBE | 97 |
| Figura 28 – Estrutura do protótipo computacional | 99 |
| Figura 29 – Diagrama de casos de uso do protótipo | 101 |
| Figura 30 – Diagrama de entidade relacionamento | 102 |
| Figura 31 – Tela principal do GF <i>Evidence-Based</i> | 103 |
| Figura 32 – Tela cadastrar usuário do GF <i>Evidence-Based</i> | 103 |
| Figura 33 – Tela cadastrar problema do GF <i>Evidence-Based</i> | 104 |
| Figura 34 – Tela cadastrar evidência do GF <i>Evidence-Based</i> | 104 |
| Figura 35 – Tela pesquisar evidência do GF <i>Evidence-Based</i> | 105 |
| Figura 36 – Resultado pesquisa evidência | 105 |

Figura 37 – Processo de busca, elegibilidade e codificação. 126

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Avaliação do grau de impacto do problema | 71 |
| Tabela 2 – Níveis de evidências | 78 |
| Tabela 3 – Graus de Recomendação | 78 |
| Tabela 4 – Avaliação evidência científica | 79 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 1 – Diferença entre evidência interna e externa | 34 |
| Quadro 2 – Diferenças entre práticas comuns e gestão baseada em evidências | 35 |
| Quadro 3 – Método da Gestão Baseada em Evidências | 35 |
| Quadro 4 – Abordagem PICOC | 36 |
| Quadro 5 – Tipos de Publicações | 37 |
| Quadro 6 – Escala da implementação de Gestão Baseada em Evidências | 39 |
| Quadro 7 – Métodos utilizados para avaliação dos artefatos | 43 |
| Quadro 8 – Termos de Busca | 49 |
| Quadro 9 – Critérios de inclusão e exclusão | 49 |
| Quadro 10 – Informações acadêmicas e profissionais dos entrevistados na fase 2 | 50 |
| Quadro 11 – Objetivos e questões da coleta de dados | 51 |
| Quadro 12 – Informações acadêmicas e profissionais dos entrevistados para avaliação do método | 52 |
| Quadro 13 – Classe de problema e artefatos identificados | 61 |
| Quadro 14 – Resumo das técnicas pesquisadas | 63 |
| Quadro 15 – Pontos fracos e fortes das técnicas pesquisadas | 64 |
| Quadro 16 – Principais requisitos para desenvolvimento do artefato | 67 |
| Quadro 17 – Requisitos para desenvolvimento do artefato | 69 |
| Quadro 18 – Componentes da pergunta de pesquisa com base no CIMO | 76 |
| Quadro 19 – Etapa 1 do MGFBE - Mapeamento | 82 |
| Quadro 20 – Etapa 2 do MGFBE - Aquisição do conhecimento | 83 |
| Quadro 21 – Etapa 3 do MGFBE - Avaliar, validar | 84 |
| Quadro 22 – Etapa 4 do MGFBE - Aplicar | 86 |
| Quadro 23 – Etapa 5 do MGFBE - Concluir | 88 |
| Quadro 24 – Avaliação dos especialistas sobre o MGFBE | 89 |
| Quadro 25 – Estrutura função consulta evidência | 106 |
| Quadro 26 – Critérios avaliados para validação do protótipo | 107 |
| Quadro 27 – Cenários de teste do protótipo | 107 |
| Quadro 28 – Casos de teste | 108 |
| Quadro 29 – Termos de Busca | 125 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| CAT | <i>Critical Apraissal Topic</i> |
| CPPS | <i>Cyber Physical Production Systems</i> |
| CNI | Confederação Nacional da Indústria |
| CEBMa | <i>Center for Evidence-Based Management</i> |
| CIMO | <i>Context-Intervention-Mechanisms-Outcome</i> |
| DRBFM | <i>Design Review Based on Failure Mode</i> |
| DSR | <i>Design Science Research</i> |
| EBM | <i>Evidence-Based Management</i> |
| FMEA | <i>Failure Mode and EffectS Analysis</i> |
| FTA | <i>Fault Tree Analysis</i> |
| MGFBE | Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências |
| PICOC | <i>Population, Intervention, Comparison, Outcome e Context</i> |
| RSL | Revisão Sistemática da Literatura |
| TIC | Tecnologia de Informação e Comunicação |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Objeto e Problema de Pesquisa | 16 |
| 1.2 | Objetivos | 21 |
| 1.2.1 | Objetivos Gerais | 21 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 21 |
| 1.3 | Justificativa | 22 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 26 |
| 2.1 | Gestão da Manutenção e de Falhas | 26 |
| 2.2 | Gestão do Conhecimento em Sistemas Produtivos | 28 |
| 2.3 | Gestão Baseada em Evidências | 32 |
| 3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 41 |
| 3.1 | Delineamento da Pesquisa | 41 |
| 3.2 | Método de Trabalho | 44 |
| 3.3 | Coleta de Dados | 48 |
| 3.4 | Análise de Dados | 53 |
| 4 | AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS PARA GERENCIAMENTO DE FALHAS | 56 |
| 4.1 | Artefatos Oriundos da Revisão Sistemática da Literatura | 56 |
| 4.2 | Síntese dos Artefatos Estudados | 64 |
| 5 | PROPOSIÇÃO DO MÉTODO E PROTÓTIPO COMPUTACIONAL PARA O GERENCIAMENTO DE FALHAS | 67 |
| 5.1 | Processo Construtivo do Método | 67 |
| 5.2 | Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências | 81 |
| 5.3 | Avaliação dos Especialistas | 89 |
| 5.4 | Proposta do MGFBE | 92 |
| 5.4.1 | Papéis e Envolvidos | 95 |
| 5.4.2 | Técnicas, Ferramentas e Documentos | 96 |
| 5.5 | Proposição do Artefato Computacional | 98 |
| 5.5.1 | Arquitetura e Modelagem da Aplicação | 99 |
| 5.5.2 | Apresentação do Protótipo Implementado | 102 |
| 5.6 | Validação do Artefato Computacional | 107 |
| 5.6.1 | Síntese dos Resultados da Validação do Protótipo | 109 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6 | CONCLUSÕES | 111 |
| 6.1 | Limitações do Estudo | 112 |
| 6.2 | Sugestões para Trabalhos Futuros | 113 |
| | | |
| | REFERÊNCIAS | 114 |
| | | |
| | APÊNDICE A – PROTOCOLO DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA | 123 |
| | | |
| | APÊNDICE B – PROCESSO DE BUSCA, ELEGIBILIDADE E CODIFICAÇÃO | 125 |
| | | |
| | APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO | 127 |
| | | |
| | ANEXO A – ESTUDOS INCLUÍDOS | 128 |

1 INTRODUÇÃO

As mudanças das exigências do mercado e as novas tecnologias levam a transformações nos sistemas de produção industrial. Por meio do aumento da demanda por produtos customizados e especializados com ciclos de vida reduzidos, a produção em larga escala não é, necessariamente, a melhor escolha em termos econômicos (WOLF et al., 2018). Conforme Wolf (2018) itens como flexibilidade, velocidade e produtividade de um sistema produtivo são considerados fatores importantes para competir em um mercado cada vez mais volátil e globalizado.

Com o crescente número de produtos a complexidade das variáveis envolvidas no processo de produção tais como, volume, variedade e visibilidade, também aumenta. E com isso, melhorar a confiabilidade das máquinas e ferramentas e reduzir as possíveis falhas durante o processo de fabricação é crucial para o futuro da indústria (LO et al., 2019).

No entanto, para lidar com essa complexidade, novos métodos, conceitos e tecnologias se fazem necessário. Entre esses novos meios pode-se relacionar conceitos como Internet das Coisas e da Internet de Serviços (IoT e IoS), computação nas nuvens e *Big Data* que estão criando mudanças drásticas e desafiadoras no mundo da manufatura chamada de Indústria 4.0 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

O termo Indústria 4.0 foi conhecido em 2011, quando uma associação de representantes do governo, empresas e academia promoveram a ideia de uma abordagem a fim de aprimorar a competitividade da indústria alemã. Deste modo, o governo alemão apoiou a iniciativa e anunciou que a Indústria 4.0 seria parte do projeto *High-Tech Strategy 2020 for Germany*, com o objetivo de levar a Alemanha à liderança na inovação tecnológica.

A Indústria 4.0 ou Indústria Inteligente, permite o desenvolvimento da chamada *smart factory*, que é uma fábrica inteligente com uma estrutura modular em que sistemas monitoram processos físicos e tomam decisões descentralizadas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Esse novo modelo industrial conta com uma ampla rede de serviços, viabilizando a automação e a comunicação com os outros agentes da cadeia produtiva e principalmente irá permitir a criação de produtos e serviços personalizados sob demanda que atendam às necessidades de cada consumidor (BRETTEL et al., 2014).

Trata-se de uma lógica de produção que engloba inovações nos campos da automação, controle e tecnologia da informação a serem aplicados de modo integrado aos processos de manufatura. São mudanças que tornarão as estruturas produtivas autônomas e eficientes uma vez que fazem uso de sistemas digitalizados.

Com todas essas significativas transformações que ocorrem nas bases tecnológicas dos sistemas produtivos, se faz necessário entender como essas mudanças impactarão no cotidiano das fábricas. Um dos principais impactos está relacionado a tomada de decisão instantânea

e descentralizadamente (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Talvez essa seja a mudança mais importante provocada pela indústria 4.0. Isso porque, as máquinas existentes no processo produtivo serão capazes de gerar e receber informações, realizar análises e tomar decisões com base em situações existentes na fábrica, sem a necessidade de interrupções e desperdício de tempo e redução da produtividade (OTTO; VOGEL-HEUSER; NIGGEMANN, 2018).

No estudo elaborado pela Confederação Nacional da Indústria - CNI estima-se que apenas 1,6% das indústrias brasileiras fazem uso da chamada produção conectada e inteligente com capacidade de subsidiar gestores com informações que irão auxiliar na tomada de decisão. O levantamento faz parte do Projeto Indústria 2027, que avalia a expectativa de 759 grandes e médias indústrias brasileiras e multinacionais em relação à adoção de tecnologias 4.0 (CNI, 2017).

Para chegar ao diagnóstico, a pesquisa estabeleceu classificações de quatro gerações de tecnologias digitais, a saber: i) Geração 1 - é a produção rígida, com uso pontual de tecnologias da informação e comunicação (TIC) e automação rígida e isolada; ii) Geração 2 - envolve automação flexível ou semi-flexível, com uso de TICs sem integração ou integração apenas parcial entre áreas da empresa; iii) Geração 3 - consiste no uso de TICs integradas e conectadas em todas as atividades e áreas da empresa e iv) Geração 4 - é chamada de produção conectada e inteligente, tem tecnologias da informação integradas, fábricas conectadas e processos inteligentes, com capacidade de subsidiar gestores com informações para tomada de decisão.

O estudo indica que 77,8% das empresas brasileiras ainda estão nas gerações tecnológicas 1 e 2. O maior percentual, em dez anos, estaria concentrado nos níveis 3 e 4, com 58,7% das indústrias. Segundo esse estudo, resta a necessidade de manter dados confiáveis provenientes de diferentes fontes que sirvam de base para a tomada de decisão em tempo real.

A indústria inteligente é um tópico de interesse e de iniciativas recentes do setor, aonde o diagnóstico e o gerenciamento de falhas é uma parte importante do monitoramento da integridade das máquinas e uma função indispensável para a indústria do futuro (ZHOU; YAN; XIN, 2017). A partir desta nova perspectiva de indústria, a função da manutenção em manter a performance das máquinas em um nível aceitável de ocorrência de falhas (ELHALIM et al., 2019), reduzir o tempo de inatividade e aumentar a confiabilidade operacional é cada vez maior (FUENTES-HUERTA et al., 2018).

Além disso, estratégias e ações que auxiliem na tomada de decisão para o gerenciamento e tratamento de falhas, por sua vez, são essenciais para manter o equipamento seguro e confiável, reduzir os custos gerais e ajudar a eliminar os riscos no local de trabalho (HAIANY, 2016), (ELHALIM et al., 2019). Assim, passa a existir uma necessidade de mudança no foco da tomada de decisões, de um processo baseado no pensamento econômico-tecnológico para abordagens mais amplas, que permitam ao decisor fazer uso de experiências passadas consolidadas por meio de uma tomada de decisão descentralizada (MARR, 2016).

Nesse cenário, a tomada de decisão baseada em evidências e, por consequência, a gestão baseada em evidências (EBM - *Evidence-Based Management*) pode assumir um papel relevante para contribuir com a tomada de decisão uma vez que estrutura os problemas organizacionais, utilizando a melhor evidência disponível (ROUSSEAU, 2006). Barends, Rousseau e Briner (2014) afirmam que a EBM é uma abordagem de tomada de decisão praticada na rotina do trabalho que ajuda a avaliar criticamente as decisões tomadas utilizando evidências. Para aplicar a gestão baseada em evidências os tomadores de decisão não precisam conhecer teorias de gestão, precisam reunir fatos, procurar padrões, experimentar decisões, e repetir este processo, estudando as evidências continuamente (PFEFFER; SUTTON, 2006).

A gestão baseada em evidências tem o potencial de contribuir para os empresários aprenderem como as empresas funcionam, e o que fazer para melhorarem (TORT-MARTORELL; GRIMA; MARCO, 2011). Além disso, as organizações que fazem uso da gestão baseada em evidência melhoram as chances de resultados positivos provenientes de tomada de decisões com o uso consciente e explícito das evidências (YASSERI, 2015), (BABA; HAKEMZADEH, 2012). Isso é possível uma vez que esta abordagem permite adicionar o *feeling* empresarial adquirido ao longo dos anos de gestão como uma fonte de evidência, e utilizá-la no processo de tomada de decisão (BAREND; ROUSSEAU; BRINER, 2014).

Em vista disto, esta pesquisa pretende avançar na temática da gestão baseada em evidências como forma de auxiliar na tomada de decisão no gerenciamento de falhas na indústria. Entre as demandas, está a identificação dos principais métodos para o gerenciamento de falha, a fim de conhecer suas etapas, pontos fortes e fracos. Dessa forma, o tema dessa pesquisa busca articular a introdução da tomada de decisão baseada em evidências na indústria, buscando a inclusão das diversas fontes de evidências como instrumento norteador da tomada de decisão no gerenciamento de uma falha.

Do mesmo modo, a pesquisa pretende prosseguir a discussão acerca da necessidade de inclusão de evidências científicas no contexto industrial e, conseqüentemente, contribuir para as informações geradas ao contemplar esse tipo de fonte para a tomada de decisão. Diante do exposto, na próxima seção, delinea-se o objeto de estudo e o problema de pesquisa.

1.1 Objeto e Problema de Pesquisa

Com o novo contexto de indústria inteligente uma infinidade de aplicativos é prevista, fornecendo flexibilidade, automação e otimização na tomada de decisão. Além disso, existe o aumento das necessidades de mercado com produtos desenvolvidos em ciclo de vida reduzido, uma quantidade cada vez maior de dados para análise e um número crescente de produtos personalizados, levam a uma maior complexidade nos sistemas de produção (KLÖBER-KOCH et al., 2017).

Para desenvolver essas aplicações a detecção de falhas e o seu gerenciamento tem um

papel principal (ANGELOPOULOS et al., 2020). Segundo Angelopoulos et al. (2020), a detecção precoce e precisa para a resolução da falha pode levar a tempo de inatividade mínimo, devido ao reconhecimento de produtos ou peças danificadas ou defeituosas.

As falhas representam custos indesejáveis e não necessariamente planejados, entretanto, cada indústria precisa possuir mecanismos para identificar e principalmente, tomar uma decisão rápida para a sua solução. As decisões quanto as ações necessárias para o gerenciamento da falha devem ser baseadas em dados e fatos que precisam fornecer observações importantes e válidas, a fim de diminuir as chances dos efeitos negativos de uma tomada de decisão errada. Para isso, existe a necessidade de possuir informações provenientes de dados e fontes precisas com o objetivo de apoiar tomadas de decisão efetivas e estratégicas (LEITÃO; COLOMBO; KARNOUSKOS, 2016).

Além disso, existe a inevitabilidade de superar os obstáculos que o conhecimento insuficiente para a tomada de decisão e o fracasso em capitalizar as experiências dentro da organização criam (WARIS; SANIN; SZCZERBICKI, 2016). Isso porque o conhecimento e a experiência obtidos em tomadas de decisão anteriores não estão documentados ou disponíveis para reutilização (AHMED; SANIN; SZCZERBICKI, 2018).

Dessa forma, é possível identificar que a literatura acadêmica reconhece a existência de uma lacuna relacionada a não utilização da experiência como fonte de evidências e sendo um recurso para a tomada de decisão no contexto industrial. Para Lee et al. (2016) é necessário transformar o *know-how* baseado em experiência em um sistema inteligente que permita a tomada de decisão baseada em evidências, de modo a permitir uma operação sustentável.

Corroborando, Tort-Martorell et al. (2011) ressalta que não só evidências internas precisam ser integradas no processo de decisão, mas também evidências externas precisam ser consideradas. Além disso, existe a necessidade de uma base de conhecimento que integre o contexto, a experiência, a *expertise* e as melhores práticas disponíveis como suporte para uma tomada de decisão de forma descentralizada e em tempo real (MARR, 2016), (VYATKIN et al., 2007). Ou seja, evidências práticas mostram a necessidade de evolução na tomada de decisão como forma de se adaptar as mudanças necessárias para transformar na fábrica do futuro.

Sabe-se que a tomada de decisões é o núcleo das tarefas gerenciais, mas muitas vezes os decisores deliberam sob pressão e com informações incompletas. Enquanto alguns justificam suas escolhas com base em fatos e provas, outros confiam em informações desatualizadas, experiência pessoal e observação individual (PFEFFER; SUTTON, 2006). Metade das decisões tomadas não conduzem as organizações a uma melhor performance (NUTT, 1999).

Nooraire (2012) afirma que para uma performance adequada das organizações, o processo decisório deve possuir elementos fundamentais como dados, informações e conhecimentos que permitam gerar uma compreensão do problema para que sejam levantadas propostas que busquem sua resolução e posterior aplicação da solução escolhida. Segundo Nutt (1999), uma

baixa performance por parte da organização ocorre tendo em vista que alguns critérios não são observados durante a tomada de decisão: i) o quanto se sabe sobre o problema e as soluções propostas; ii) o contexto ou o ambiente no qual as ações são realizadas; e iii) o método ou caminho a ser realizado para a execução das soluções.

Para Peffers et al. (2007) uma forma de identificar o quanto se sabe sobre o problema é por meio da gestão baseada em evidências. Ainda para Peffers et al. (2007) é difícil uma empresa gerir baseada em evidências, pois na maioria das vezes as evidências disponíveis são incompletas, não sendo suficientes para melhorar a tomada de decisão. Rousseau (2006) afirma que usando a EBM é possível reduzir a distância entre a pesquisa e a prática, além de permitir a utilização das evidências internas das organizações, uma vez que a maioria dos trabalhos descreve a teoria, sem testá-la na prática das organizações.

Para Rainer Stark, diretor da Divisão de Criação de Produtos Virtuais do Instituto Fraunhofer, da Alemanha, o mais importante para se alcançar a fábrica do futuro é a coleta e interpretação dos dados. “Não adianta apenas automatizar. É importante saber coletar, interpretar e usufruir das informações no tempo certo para a correta tomada de decisão”, (SCHNOOR, 2018). Além disso, vale destacar que com os rápidos avanços nas tecnologias de detecção e controle, não há falta de sensores ou atuadores em sistemas de fabricação. O desafio está centrado em como processar informações e conhecimento para que a decisão certa possa ser feita autônoma ou supervisionadamente por um computador no tempo certo e na posição certa, com pouca ou nenhuma intervenção humana (CHEN, 2017).

Para tentar superar esse desafio, plataformas industriais estão sendo desenvolvidas com o intuito de auxiliar na transformação da fábrica e, por consequência, auxiliar na tomada de decisão de maneira descentralizada e em tempo real. Cabe informar que sistemas de suporte de decisão baseada em conhecimento existem há décadas (MAY et al., 1991). Um exemplo é o trabalho proposto por May et al. (1991) desenvolveram uma ferramenta para atuar no diagnóstico e resolução de problemas operacionais de uma pequena fábrica, bem como para registrar informações necessárias para melhorar a tomada de decisões.

Entretanto, a maior limitação do trabalho proposto por May et al. (1991) foi a qualidade questionável dos dados disponíveis para o gerenciamento, análise e tomada de decisões. Os dados utilizados eram imprecisos, incompletos e conflitantes, não foi utilizado nenhuma técnica que auxiliasse na avaliação dos dados em requisitos como rigor e replicabilidade.

Com a movimentação em prol da implantação da Indústria 4.0, outros sistemas estão sendo desenvolvidos. Um sistema moderno é o desenvolvido pela IBM (2017), o Watson, que pode entender diferentes formatos de dados, interagir naturalmente com seres humanos, e aprender e raciocinar em escala. O Watson está trabalhando nas áreas de comércio, educação, serviços financeiros, saúde, internet das coisas, marketing, cadeia de suprimentos, recursos humanos, e gestão do trabalho (IBM, 2017).

Outro sistema que merece destaque é o proposto pela Siemens - *Product life-cycle management and the smart factory*, que é um software que permite compartilhar informações sobre a fabricação e produção. Permitindo que dados e informações do chão de fábrica sejam atualizados em tempo real e fiquem disponíveis caso uma decisão sobre o processo produtivo precise ser tomada.

Com relação ao sistema proposto pela IBM, identificou-se como maior limitação para a sua utilização o custo de implementação e manutenção desse tipo de sistema. A tecnologia baseada em fábrica inteligente proposta pela Siemens exige integração da plataforma de software com os sistemas de chão de fábrica da própria empresa, o que torna a implementação complexa e com um alto custo para a sua viabilização e manutenção.

Vale destaque que, apensar das limitações identificadas, e ambas as ferramentas possuem capacidade para realizar a tomada de decisão com base em dados coletados e transmitidos ao longo de todo o processo, essas ferramentas não fazem uso de experiências passadas como forma de auxiliar na tomada de decisão. Conforme Lee et al. (2016) existe a necessidade de integrar conhecimento e *Know-how* em evidências que permitam uma tomada de decisão baseada em evidências como forma de possibilitar uma operação sustentável. Cabe informar que o conceito de evidência que será utilizado e profundamente exposto e debatido na sequência do trabalho, é o proposto por Barends; Rousseau; Briner (2014) o qual define evidência como sendo informações, fatos ou dados de apoio (ou contradizendo) uma afirmação ou hipótese.

No que se refere aos trabalhos encontrados na literatura acadêmica pode-se destacar os trabalhos de Malec et al. (2007), Nuzzo et al. (2015), Seitz; Nyhuis (2015) são metodologias e protótipos para sistemas de produção inteligentes, e portanto não disponibilizados comercialmente (NUZZO et al., 2015). O sistema proposto por Waris et al. (2017) foca em processos de inovação de produtos por meio de eventos decisórios passados, não sugerem a solução para as outras etapas de um sistema produtivo como para o gerenciamento de falhas (WARIS; SANIN; SZCZERBICKI, 2017).

O trabalho proposto por Francalanza et al. (2017), apresenta uma ferramenta baseada no conhecimento para a fábrica digital. O modelo faz uso do conhecimento da equipe de desenvolvimento do produto para analisar as necessidades atuais e futuras dos clientes (FRANCALANZA; BORG; CONSTANTINESCU, 2017), mas não sugerem a utilização de experiências passadas, bem como de outras *expertises* de dentro da fábrica. Além disso, não estão claros os critérios utilizados para incluir ou excluir as informações em uma base de conhecimento.

No trabalho elaborado por Petnga; Austin (2016) foi desenvolvido um *framework* que utiliza modelagem de conhecimento e ontologias para auxiliar a tomada de decisão em um CPPS - *Cyber Physical Production Systems*. A proposta faz uso de um mecanismo de controle que garante que os dados disponíveis no repositório estejam corretos (PETNGA; AUSTIN, 2016). Entretanto, não diz como é feito esse controle e quais requisitos utilizados para garantir a veracidade dos dados, além disso, o conhecimento e ontologias utilizadas são específicas para

um único domínio de aplicação.

Ainda, no trabalho de Lo et al. (2019) propõem um modelo para análise e efeito de uma falha na indústria o qual depende da experiência de especialistas para determinar os fatores críticos e, assim, auxiliar na tomada de decisão. O modelo fornece um conjunto de informações para priorização das falhas com base em vários julgamentos dos especialistas, deixando de lado outras fontes confiáveis de informação. Além disso, por levar em consideração para a tomada de decisão apenas a experiência dos especialistas, a solução para as falhas depende diretamente de profissionais treinados tecnicamente (LO et al., 2019), deixando de lado a participação dos *stakeholders* e outras fontes de evidências.

Dessa forma, com as limitações dos trabalhos encontrados na literatura, elaborou-se um desenho de pesquisa na Figura 1, que tem como objeto de pesquisa o uso da gestão das evidências no gerenciamento de falhas em sistema produtivo.

Figura 1 – Desenho de Pesquisa



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O principal ponto da tomada de decisão realizada por auxílio de uma base de evidências é permitir que evidências internas e externas, consolidadas e validadas, sirvam de subsídios para a tomada de decisão. Para alcançar essa finalidade torna-se necessário estruturar um método para

auxiliar no entendimento do problema, sua causa raiz e principalmente, para identificação das evidências de modo que dados coletados sejam padronizados, permitindo sua replicabilidade.

Além disso, como forma de trazer uma melhor compreensão sobre determinado assunto e auxiliar na tomada de decisão, evidências externas, após uma avaliação crítica, avaliando cuidadosamente e sistematicamente sua confiabilidade e relevância, podem ser incluídas na base de evidências. Destaca-se que decisões de qualidade devem ser baseadas em uma combinação de pensamento crítico e as melhores evidências disponíveis (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014). Ou seja, é necessário integrar o contexto, a experiência, a expertise e as melhores práticas como forma de auxílio para a tomada de decisão.

Dessa forma, compreender como incorporar as evidências em um processo de tomada de decisão e como avaliar as evidências em prol de sua replicabilidade é essencial para propor uma nova abordagem para auxiliar na tomada de decisão para o gerenciamento de falhas na indústria. Nesse contexto, o presente trabalho explora essa lacuna de pesquisa e tem como questão central desta pesquisa: **Como seria um método para apoiar a implantação da gestão baseada em evidências como requisito para auxiliar no gerenciamento de falhas?**

Os conceitos apresentados e características necessárias para a implementação da Gestão Baseada em Evidências, bem como a escassez de estudos nesta temática, serão apresentados em detalhes no Capítulo 2. Deste modo, com o propósito de abordar as questões previamente apresentadas e responder à questão central desta pesquisa, a seção a seguir detalha o objetivo geral e específicos do estudo proposto.

1.2 Objetivos

Com a finalidade de solucionar o problema de pesquisa levantado anteriormente, definem-se os objetivos gerais e específicos para esta pesquisa, elencados a seguir.

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral desta tese é propor um método para gerenciamento de falhas na indústria a partir da utilização da gestão baseada em evidências.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como forma de atender o objetivo geral, listam-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar as evidências existentes nas dimensões de replicabilidade e contextualização;
- Identificar e integrar um conjunto de conhecimentos existentes em uma base de evidências;
- Operacionalizar o método proposto por meios de técnicas e ferramentas;
- Propor um protótipo computacional contendo a base de conhecimento de evidências.

1.3 Justificativa

Com intuito de justificar essa pesquisa do ponto de vista teórico, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a qual foi desenvolvida com base no trabalho de Morandi e Camargo, (2015). O processo de busca, elegibilidade e codificação e o protocolo de pesquisa utilizado na RSL encontram-se no Apêndice A e Apêndice B, respectivamente.

Inicialmente, foram definidas a questão de revisão e o *framework* conceitual, com intuito de reconhecer a utilização das evidências como forma de auxiliar na tomada de decisão. Após, buscou-se identificar quais ferramentas de apoio à tomada de decisão, incluindo modelos, métodos, técnicas, sistemas e/ou abordagens estruturadas e sistematizadas estão sendo utilizados para apoiar o processo decisório em empresas do segmento industrial, especificamente para o gerenciamento de falhas na indústria. Embora a literatura mencione a necessidade de um sistema inteligente que permita a tomada de decisão baseada em evidências como forma de possibilitar uma operação sustentável, descentralizada e em tempo real Otto et al. (2018), Marr (2016), Kagermann et al. (2013), Lee (2008), a pesquisa sobre a avaliação desse tipo de sistema ainda é escassa.

Além disso, a maioria dos estudos encontrados estão relacionados com sistemas especialistas "tradicionais". Entretanto, o contexto desse novo arranjo industrial é diferente do que é utilizado pela maioria das empresas. Entre essas diferenças pode-se citar: i) a necessidade de fusão entre o ambiente físico e o virtual por meio de um sistema integrado, baseado em modernos sistemas de controle, *software* embarcado e internet (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013); e ii) a demanda cada vez maior por produtos sustentáveis (PARISI et al., 2015).

A literatura compreende o potencial do uso das evidências e *expertise* no processo decisório, reconhece a necessidade de evolução dos sistemas especialistas e alguns trabalhos destacam a necessidade de aprofundamento nesse contexto. Outro ponto importante a destacar é a escassez de estudos no contexto brasileiro. Não foi encontrado nenhum estudo, entre os 113 trabalhos selecionados para leitura analítica.

Nessa perspectiva, e com o objetivo de verificar o caráter de originalidade desta tese, foram selecionados para leitura e incluídos no trabalho 38 artigos. São trabalhos que se assemelham ao objeto de pesquisa proposto por este estudo. Entretanto, não abordam os seguintes aspectos que indicam como esta tese poderá contribuir: i) não evidenciam a utilização da experiência, *expertise* e melhores práticas disponíveis para auxiliar na tomada de decisão; ii) não analisam os resultados das decisões tomadas com o objetivo de replicabilidade da tomada de decisão; iii) não fazem uso de um modelo de tomada de decisão baseada em evidências.

Desse modo, destacam-se os aspectos citados como contribuições adicionais aos trabalhos realizados até o momento. Assim sendo, esta pesquisa avança no sentido de propor um método para apoiar a tomada de decisão no gerenciamento de falhas baseado em evidências.

Diante do exposto, entende-se que o cenário apresentado apoia a justificativa da presente

pesquisa uma vez que poderão servir para proporcionar avanços no conhecimento científico sobre o tema, pois apresenta os seguintes aspectos importantes: i) propõe a utilização da EBM como forma de auxiliar a tomada de decisão em um gerenciamento inteligente de falhas (LEE; BAGHERI; JIN, 2016a), (TORT-MARTORELL; GRIMA; MARCO, 2011), (YASSERI, 2015); ii) propõe o desenvolvimento de um protótipo computacional que servirá de elo de ligação para a implementação da Indústria 4.0 (KAGERMANN et al., 2013), (VYATKIN et al., 2007), (MARR, 2016).

Outro sim, pode-se elencar algumas das contribuições que a presente pesquisa poderá proporcionar. A primeira contribuição da pesquisa está vinculada a gestão baseada em evidências e diz respeito ao *desenvolvimento de uma base de conhecimento de evidências* padronizada e estruturada, contendo as evidências internas e externas de um determinado domínio de problema consolidadas, permitindo a replicabilidade; outra contribuição da pesquisa para EBM está diretamente associada a *proposição de um método para apoiar a implantação de EBM para o gerenciamento de falhas na indústria*. O objetivo do método é direcionar as empresas do ramo industrial de modo que passe a utilizar as informações internas provenientes de documentos, relatórios, experiência profissional e evidências externas de forma a auxiliar na tomada de decisão.

Além disso, salienta as contribuições do presente trabalho para o corpo teórico de EBM. A principal contribuição está vinculada a inserção da gestão baseada em evidências no contexto industrial, fato esse comprovado pela ausência de estudos nesse campo de aplicação. A inserção da gestão baseada em evidências no contexto industrial permitirá que as indústrias deixem de ser apenas organizações tradicionais (baseadas em informações) para serem também organizações que aprendem (baseadas em conhecimentos e evidências).

Destaca-se também que os trabalhos de EBM publicados na literatura são discussões teóricas insuficientes para a sua aplicação e posterior resolução de problemas. Fato esse comprovado pela inexistência de aplicações práticas da EBM na indústria disponível na literatura (REAY; BERTA; KOHN, 2009). O presente trabalho é um dos pioneiros na aplicação da EBM, desenvolvendo um método para apoiar a implantação da EBM no contexto industrial, e dessa forma, vindo a contribuir para a literatura acadêmica.

Ademais, no que tange as contribuições do presente trabalho para os sistemas produtivos pode relacionar algumas contribuições. A primeira delas está relacionada com a integração das evidências. Os tomadores de decisão precisam de diferentes fontes e tipos de evidências, dependendo das circunstâncias e do tipo de decisão que estão tomando, como informações financeiras, pesquisas, opinião pública, experiência prática e pesquisa organizacional interna (BABA; HAKEMZADEH, 2012). Essa integração será importante uma vez que as informações estiverem reunidas de maneira dinâmica, permitirá que a tomada de decisão ocorra instantaneamente e se necessário descentralizada, requisitos primordiais para esse novo contexto industrial (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A segunda contribuição está direcionada a utilização de um método para o gerenciamento de falhas baseado em evidências. A utilização do método permite aprimorar o diagnóstico de falhas futuras, caso venham acontecer, e principalmente, possibilita a mitização e minimização da falhas, permitindo obter robustez e confiabilidade. Outra contribuição da presente pesquisa está diretamente ligada a *ampliação da capacidade organizacional*, uma vez que a aprendizagem será possível por meio do compartilhamento de experiências, as quais permitirão uma melhoria nas competências individuais (GONÇALO; BORGES, 2010).

Ainda, pode-se destacar algumas contribuições vinculadas a sistemas de apoio a decisão em manufatura. A primeira contribuição diz respeito a *melhoria na qualidade das decisões* tomadas para resolver determinado problema, isso porque para uma evidência ser útil e utilizável, precisa ser rigorosa e relevante para o contexto o qual está inserida (BABA; HAKEMZADEH, 2012); outra contribuição está associada a *utilização das evidências como forma de apoiar uma decisão*. Ao utilizar evidências internas e externas para apoiar uma decisão permitirá que erros já cometidos não se repitam, minimizando assim decisões equivocadas e permitindo uma melhoria do desempenho, da produtividade, da eficiência, da qualidade e também da segurança operacional de seus processos.

Da mesma forma, o trabalho apresenta relevância sob a ótica empresarial. De acordo com a notícia publicada na Revista Pequenas Empresas Grandes Negócios, (PEGN, 2016) a Indústria Brasileira tem desafios que o cercam nessa nova Revolução Industrial, visto que utiliza tecnologias ultrapassadas frente a modernização de outros países. Ressalta-se que a utilização de tecnologias está crescendo, mas de uma forma experimental. Ainda há muito a ser feito para que as empresas nacionais tirem proveito do uso de recursos tecnológicos e consigam competir em um mercado global (PEGN, 2019). Sendo assim, para mudar esse cenário, é necessário se modernizar e pular etapas com rapidez para se manter competitiva.

Nesse sentido verifica-se que as indústrias precisam encontrar meios de superar esse deficit de tecnologia/recursos e promover, cautelosamente, a inserção da Indústria 4.0, conforme noticiado pelo Jornal Folha de São Paulo (FSP, 2018). Ademais, conforme a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2017), as principais barreiras internas para implementação das tecnologias digitais estão relacionadas a alto custo de implantação, falta de clareza em relação ao retorno sobre o investimento, estrutura e cultura organizacional, dificuldade para integrar novas estruturas e softwares, infraestrutura de tecnologia de informação inapropriada e risco à segurança da informação.

Tais informações reforçam a importância da presente pesquisa, pois é eminente a necessidade de utilização de um método que apoie a implantação da gestão baseada em evidências com intuito de auxiliar na tomada de decisões no gerenciamento de uma falha, e principalmente, sirva de elo de ligação para as implementações que precisam ocorrer para a integral implantação dessa nova perspectiva de indústria. Além disso, ao fazer uso de evidências externas e científicas na tomada de decisão, os tomadores de decisão podem identificar novas oportunidades e direcionar

o foco de investimentos, além do planejamento de recursos para o alcance dos objetivos.

Nessa perspectiva, entende-se que as informações geradas por essa pesquisa podem auxiliar os gestores uma vez que dados, informações e conhecimentos sempre existiram. O que há de novo nesse processo é entender e ver a evidência e o conhecimento como capital intelectual ativo na indústria, e que os mesmos precisam ser utilizados como base para a tomada de decisão.

Ressalta-se ainda que saber criar, gerir, avaliar, aplicar e replicar uma evidência é fundamental para obter sustentabilidade e vantagem competitiva, por meio de melhorias na produtividade e inovação de produtos e serviços. Após justificar a presente pesquisa e apresentar as contribuições, a próxima seção apresenta a Fundamentação Teórica utilizada para a construção dos Procedimentos Metodológicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo objetiva apresentar conceitos e estudos conectados à gestão baseada em evidências para auxiliar na tomada de decisão no gerenciamento de falhas em um sistema produtivo. Esses conceitos foram identificados por meio da Revisão Sistemática de Literatura (RSL) e orientam a condução desta pesquisa.

Inicialmente, com intuito de avaliar a falha e entender mecanismos para a sua prevenção, a primeira subseção aborda a gestão da manutenção e de falhas, explanando sobre os tipos de manutenção. Posteriormente, é explorado a gestão do conhecimento como fator primordial para as indústrias. Para finalizar, são descritos os conceitos, objetivos e aplicação envolvendo a gestão baseada em evidências.

2.1 Gestão da Manutenção e de Falhas

O ambiente industrial está cada vez mais competitivo, fazendo com que as empresas procurem alternativas para melhoria dos indicadores de produtividade, disponibilidade e confiabilidade dos seus produtos e processos. Por meio do desempenho correto das funções, é possível redesenhar as atividades operacionais buscando minimizar custos, melhorar a qualidade e gerar satisfação de clientes internos e externos. O desempenho correto das funções operacionais em uma indústria está relacionado a não ocorrências das falhas para o qual uma planta é projetada.

Segundo a NBR 5462 (ABNT, 1994) uma falha é caracterizada pela incapacidade de um item em desempenhar uma função solicitada. Contudo, uma falha não pode estar relacionada somente com a interrupção de um componente mas com a incapacidade deste operar com um determinado desempenho mínimo especificado, incluindo a possibilidade de uma quebra.

Todo processo de fabricação é sujeito a eventos inesperados, como falhas nas unidades, quebra de ferramentas, problemas de calibração, levando a efeitos indesejáveis, como tempo de inatividade do processo, perda de produtividade e eficiência (KHAN et al., 2019). Entretanto, a previsão de uma falha pode impedir problemas maiores e eventualmente se transformando em problemas críticos (LI; WANG; WANG, 2017).

O seu gerenciamento e manutenção são aspectos vitais no processo industrial. Eles não incluem apenas o conhecimento sobre os modos de falha e suas causas, mas também uma percepção da extensão em que a falha do equipamento afeta a segurança, a qualidade do produto, os custos e a disponibilidade da planta (CERRADA et al., 2007).

Dessa forma, alterações nas abordagens de manutenção precisam ser incorporadas ao gerenciamento e manutenção das falhas como forma de obter desempenho. Entretanto, conforme Cerrada et al. (2007), alguns desafios precisam ser superados, entre esses desafios estão: i)

a construção de modelos apropriados para detecção, isolamento, diagnóstico e previsão; ii) seleção das técnicas apropriadas para detecção, isolamento e diagnóstico de falhas; iii) tomada de decisões na elaboração de planos viáveis de manutenção preventiva; e iv) a tomada de decisões em situações de emergência.

O gerenciamento da falha vai além de identificar e entender as causas da falha, é necessário garantir a qualidade das operações, performance dos equipamentos e, em consequência, a performance da indústria. Neste contexto, sistemas de produção com alta confiabilidade têm sido apontados como fator crítico para a construção de vantagem competitiva na indústria (SINGH; SACHDEVA; BHARDWAJ, 2014).

Para isso, estratégias de manutenção precisam ser vistas como fator de relevância para competição da indústria, uma vez que uma manutenção inadequada pode levar a danos e perda de produção (SHARMA; SHARMA, 2014). A manutenção eficaz ajuda a manter os equipamentos e instalações em condições adequadas, prolongando sua vida útil e a sua disponibilidade. Ainda, equipamentos e instalações mal conservados podem levar a falhas mais frequentes, resultando em atrasos na produção.

A manutenção da máquina, com seu impacto direto no tempo de inatividade e nos custos de produção, está diretamente relacionada à capacidade das empresas de manufatura de serem competitivas em termos de custo, qualidade e desempenho (ABOELMAGED, 2014), ou seja, a manutenção tem uma função significativa na confiabilidade e qualidade do produto. Existem dois tipos principais de manutenção, a manutenção corretiva e a manutenção preventiva (FERNANDES et al., 2019), (ALQAHTANI; GUPTA; NAKASHIMA, 2019).

A manutenção corretiva é executada quando um componente do produto falha e são tomadas medidas para retornar um componente defeituoso ao seu estado operacional (ALQAHTANI; GUPTA; NAKASHIMA, 2019). A manutenção preventiva é realizada antes da falha do produto, a fim de reduzir a potencial deterioração do produto e a chance de falha. A manutenção preventiva consiste em realizar inspeções periódicas e outras operações de acordo com um cronograma predeterminado, geralmente com base no tempo de serviço (FERNANDES et al., 2019).

Entretanto, para Fernandes et al. (2019) e Selcuk (2017), para alcançar uma abordagem totalmente proativa, a manutenção preventiva deve ser complementada com a manutenção preditiva. A manutenção preditiva indica a hora correta para executar a manutenção, tendo como resultado, as máquinas passam menos tempo offline e os componentes são alterados apenas e quando necessário. A manutenção preditiva realiza tanto a previsão quanto o diagnóstico da condição de um equipamento, fornecendo informações sobre a natureza do problema, onde está ocorrendo e por que, e quando é provável que ocorra uma falha no equipamento (SELCUK, 2017).

Além disso, na Indústria 4.0, a manutenção preditiva é vista como um dos pilares da

manufatura. Ressalta-se que à medida que dispositivos são instrumentados, interconectados e automatizados para atender esse novo modelo de indústria, o pensamento estratégico se concentra na implantação de tecnologias de manutenção para garantir uma operação sem falhas e a prestação de serviços conforme o planejado (KUMAR UDAY E GALAR,).

O objetivo da manutenção preditiva é reduzir o tempo de inatividade e o custo de manutenção sob a premissa de fabricação com zero falhas, monitorar as condições de trabalho do equipamento e prever quando pode ocorrer falha no equipamento (LI; WANG; WANG, 2017). Porém, para aplicar a manutenção preditiva, é necessário uma infraestrutura que permita a coleta, transmissão e armazenamento dos dados dos equipamentos (DONG; MINGYUE; GUOYING, 2017).

Esse ainda é o maior desafio, uma vez que muitos sistemas industriais não estão prontos para gerenciar uma quantidade de dados devido as altas demandas no acesso e qualidade das informações (LI; WANG; WANG, 2017). De qualquer forma, esse tipo de manutenção está alinhado aos padrões da indústria moderna que precisa ser ágil, econômica e eficiente.

Entre os benefícios que esse tipo de manutenção proporciona pode-se citar: i) o aumento da produtividade das linhas de produção ao melhorar as condições de funcionamento do maquinário; ii) redução do custo de manutenção ao estabelecer uma política de prevenção de falhas; iii) a segurança das operações no chão de fábrica, sobretudo quando adota uma postura de prevenção e previsibilidade de erros, reduzindo os riscos de acidentes; iv) redução do tempo de inatividade de equipamentos, visto que trabalha com a prevenção de falhas e rupturas na produção.

Entretanto, é importante ressaltar que, em muitos casos, as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 dependem da adoção de tecnologias preliminarmente. A disponibilidade de tecnologia não garante a sua aplicação, estando esta diretamente relacionada a questões funcionais ou até mesmo a questões de viabilidade econômica. No Brasil, um fator que afeta o desempenho e a competitividade da indústria brasileira é o investimento em tecnologia e inovação.

Na pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2017), o principal desafio apontado refere-se a necessidade de aproximar especialistas e empresas para a ampliação de conhecimento sobre os benefícios que essa revolução pode trazer para a cadeia produtiva. Além disso, ficou constatado por meio dessa pesquisa que se faz necessário um apoio por parte do governo, aumentando as políticas que incentivam a digitalização do Brasil, pois é preciso que a infraestrutura digital receba investimentos e capacitação profissional para o aumento da eficiência de plataformas tecnológicas. No entanto, uma das formas de ampliar o conhecimento é por meio da Gestão Baseada em Evidências, tema abordado na seção 2.3.

2.2 Gestão do Conhecimento em Sistemas Produtivos

A realidade das organizações na atualidade mostra uma tendência para automação inteligente, com a produção caracterizada pela digitalização do produto e por mudanças profundas

na forma de produção e de consumo, desencadeando o desenvolvimento de novos modelos de negócios (CARRIÓ, 2015), (MONOSTORI et al., 2016). Esta realidade, decorrente da Quarta Revolução Industrial, vai além das tecnologias inovadoras nela empregadas e do mercado de trabalho industrial. Um dos seus trunfos que contribuirão para a diferenciação das empresas no mundo dos negócios é a gestão de seus conhecimentos e a capacitação de seus trabalhadores para esta nova fase dos processos produtivos (SCHWAB, 2016).

Na atual Sociedade do Conhecimento o valor competitivo das organizações está exatamente neste ativo intangível tão disponível e, ao mesmo tempo, tão almejado para a competitividade (OLIVA, 2014). Uma empresa competitiva é aquela que possui uma carteira de capital equilibrado, o que se obtém através dos procedimentos de gestão do conhecimento bem aplicados (WIIG, 1997).

A gestão do conhecimento pode ser entendida como um processo que se inicia com a identificação dos objetivos estratégicos da organização, passando pelas práticas para identificar, desenvolver, capturar e disseminar conhecimento útil. A aplicação de conceitos, procedimentos e ferramentas de tecnologia de informação apoiam as práticas coletivas de criação e compartilhamento, visando o aperfeiçoamento do desempenho organizacional (QUANDT, 2001).

Para Angeloni (2002) a Gestão do Conhecimento é vista como um conjunto de esforços empreendidos pelas organizações com o objetivo de criar, adquirir, converter, utilizar e proteger seu conhecimento, a fim de construir a sua vantagem competitiva. Para atingirem esse objetivo, as organizações precisam fazer uso de vários componentes organizacionais, como a tecnologia da informação, a estrutura organizacional, sua visão e valores e, sobretudo, o comportamento individual e em grupos dos membros da organização (RICHTER, 2002).

Conforme Silveira (2004) a Gestão do Conhecimento é uma forma de se trabalhar, uma cultura organizacional, na qual o ambiente e os valores permitam gerar a motivação necessária à aprendizagem, ao compartilhamento ou mesmo à transferência e à aplicação do conhecimento. Criar conhecimento tornou-se um dos grandes desafios das organizações.

Para Nonaka, Krogh e Voelpel (2006) existe fases para a criação do conhecimento, o qual o objetivo final dessas fases é aplicar o conhecimento. Após a captura e/ou criação do conhecimento, sua codificação e compartilhamento, é imprescindível utilizá-lo, no intuito de diminuir desperdício de tempo e recursos na busca por conhecimento (NONAKA; KROGH; VOELPEL, 2006). A chave para o sucesso organizacional é a capacidade de capturar conhecimento, transformá-lo em aprendizagem organizacional e reutilizá-lo de forma eficaz na tomada de decisões mais inteligentes (DALKIR, 2013).

Conforme Monticolo et al. (2015), Marconnet et al. (2016), Rahmani e Thomson (2012) e Panetto, Dassisti e Tursi (2012), há uma grande quantidade de informações disponíveis mas uma baixa interoperabilidade entre as ferramentas existentes. Pode-se apontar também que os conteúdos disponíveis (e.g. conceitos, discussões, lições aprendidas) não são facilmente

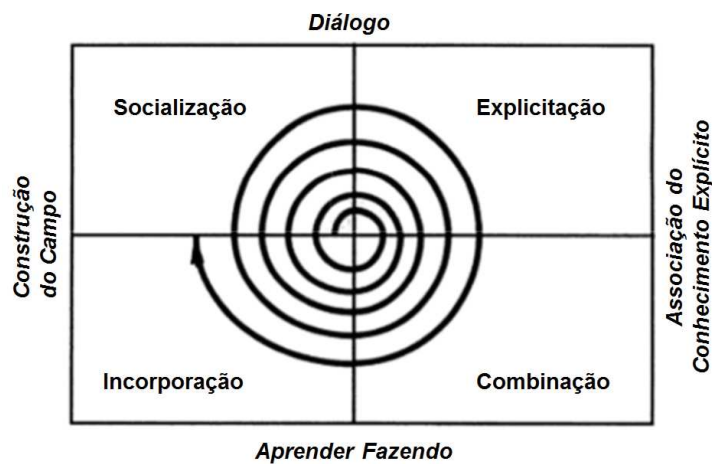
compreendidos por todos os envolvidos (RAHMAWATI; UTOMO, 2014), (HUANG et al., 2016), (MARCONNET et al., 2015), (RAHMANI; THOMSON, 2012).

Isso porque da gestão ao chão de fábrica e dos parceiros aos consumidores, todos os envolvidos nas atividades que fazem uma empresa funcionar produzem conhecimento que, se organizado e direcionado estrategicamente, é capaz de alavancar os negócios. Implementar a gestão do conhecimento nas empresas é, dessa forma, a garantia de que o *know-how* não ficará restrito a algumas pessoas ou esquecido em meio as tarefas diárias e, ao mesmo tempo, estimulará a inovação.

Além disso, outros problemas podem ser apontados. Nos ambientes de manufatura, alguns fatores como implementação efetiva de métodos e ferramentas, confidencialidade das empresas e complexidade dos processos de colaboração dificultam a captura, interpretação e distribuição do conhecimento (VALILAI; HOUSHMAND, 2013). Esses problemas precisam ser tratados, tendo em vista que para tornar possível essa mudança necessária para a fábrica inteligente, pode-se considerar como prioridades a utilização e transformação completa de conhecimentos tácitos sobre manufatura em conhecimentos tangíveis e explícitos e, finalmente, conhecimentos digitais, otimizando o gerenciamento de dados e desenvolvendo novos modelos padronizados (CHRYSSOLOURIS et al., 2009).

Segundo Nonaka e Takeuchi (1997), criar conhecimento em uma organização depende da interação contínua e dinâmica entre os conhecimentos explícito e tácito. Como conhecimento tácito entende-se a experiência e diz respeito aos elementos cognitivos e técnicos dos colaboradores enquanto que o conhecimento explícito refere-se à racionalidade, ao objetivo e a lida com os acontecimentos passados e independentes do contexto (NONAKA; TAKEUCHI, 1997). A interação contínua e dinâmica dos conhecimentos tácito e explícito para a criação do conhecimento ocorre por meio da espiral de criação do conhecimento, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Espiral do Conhecimento



Fonte: Nonaka e Takeuchi (1997).

O compartilhamento de modelos e habilidades mentais, por meio da troca de experiências constitui-se no processo de socialização onde o conhecimento é compartilhado com outras pessoas por meio da prática ou do diálogo (SVEIBY, 1998). Conforme Nonaka e Takeuchi (1997), a explicitação ocorre com a passagem do conhecimento tácito a explícito, expresso por metáforas, analogias, conceitos, hipóteses ou modelos. O mecanismo da combinação representa a sistematização de conceitos e para tal é necessário reconfigurar informações por meio da classificação, do acréscimo, da combinação e da categorização do conhecimento explícito podendo gerar novos conhecimentos. Por último, na incorporação, tem-se a aprendizagem na prática (NONAKA; TAKEUCHI, 1997).

Da mesma forma, uma gestão do conhecimento efetiva e sólida, no ambiente industrial, requer novos modelos de organização do trabalho, estruturas, processos e sistemas gerenciais que promovam o trabalho em equipe e fomentem a criatividade. A valorização e o aproveitamento da capacidade intelectual de cada funcionário e uma liderança disposta a quebrar antigos paradigmas mecanicistas e romper as barreiras existentes no processo de transformação são vitais para o sucesso da gestão do conhecimento (TERRA, 2005).

As novas estruturas organizacionais, voltadas à inovação e à aprendizagem, requerem um alto grau de descentralização, possibilitando uma rápida tomada de decisão em relação às mudanças nos cenários, provendo oportunidades à obtenção de vantagens competitivas. O conhecimento tornou-se o fator mais relevante que qualquer outro fator de produção, assumindo o papel de estratégico no processo de inovação (LONGO, 2014). Ainda para Longo et al. (2014) todo processo de inovação nas organizações emerge do capital intelectual, ou seja, do seu quadro de colaboradores.

Nesse sentido é fundamental que a organização gerencie o capital intelectual dos colaboradores, tornado o conhecimento individual em conhecimento organizacional. Dessa

forma, algumas mudanças precisam acontecer no ambiente de fábrica com intuito de alcançar todas as perspectivas da indústria do futuro, a saber: i) compartilhamento do conhecimento (SCHEUERMANN et al., 2016), ii) garantia que o conhecimento seja reutilizado (BURZLAFF, 2017) e por fim, iii) desenvolvimento dos trabalhadores (POSSELT et al., 2016).

Vale destacar que essa Nova Revolução Industrial vai além das tecnologias nela empregadas, um fator crucial que precisa ser gerenciado é as capacidades organizacionais necessárias para este novo momento dos setores produtivos, que demanda aprendizagem organizacional, capacidade da absorção e desenvolvimento de capacidades dos trabalhadores (SYNNES; WELO, 2016). A aprendizagem organizacional e dos indivíduos surge como fator crítico a ser gerenciado para uma gestão mais eficiente e que contribua para a construção de vantagens competitivas (STOCKER et al., 2014).

Ademais, o capital humano é visto como sendo um fator crítico do sucesso nessa nova era industrial. Como forma de possibilitar a inclusão do capital humano no processo decisório, na seção 2.3, apresenta-se a abordagem de gestão baseada em evidência como recurso para trazer melhorias na tomada de decisão.

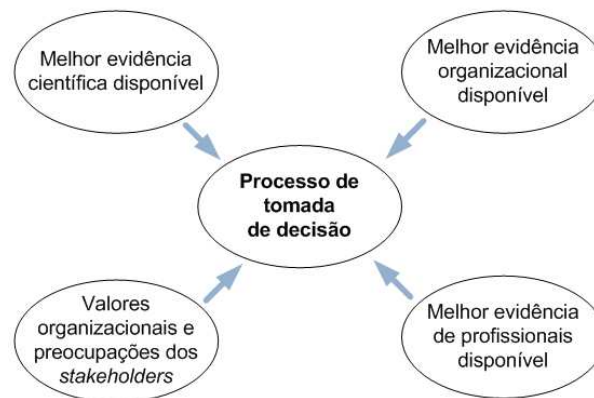
2.3 Gestão Baseada em Evidências

A Gestão Baseada em Evidências (*Evidence-Based Management* - EBM) é uma abordagem para melhorar a qualidade das decisões tomadas para resolver problemas organizacionais, fazendo uso de princípios da pesquisa externa e sistemática (ROUSSEAU, 2006). Teve sua origem na medicina baseada em evidências e expandiu para outras disciplinas, como educação, direito, serviços de assistência social e gestão (YASSERI, 2015).

Se comparada com a medicina e a educação, a gestão baseada em evidência é menos adotada no contexto do gerenciamento, entre os motivos pode-se citar o fato de que executivos de gestão não são ensinados a entender ou até mesmo a usar as evidências. Para Pfeffer e Sutton (2006) muitas decisões de gestão não são baseadas em ideias sólidas, teorias estabelecidas ou evidências concretas. Muitas ações de gerenciamento são baseadas em reproduzir o que parece ser bem sucedido.

A ideia da gestão baseada em evidências é que decisões qualificadas devem ser baseadas em uma combinação de pensamento crítico e as melhores evidências disponíveis (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014). O julgamento não é uma fonte de evidência confiável tendo em vista ser altamente suscetível a erros sistemáticos. Para Barends et al. (2014) existe quatro importantes fontes que podem ser as responsáveis pelas evidências. A Figura 3 mostra essas fontes.

Figura 3 – Fontes responsáveis pelas evidências



Fonte: Desenvolvido pela autora.

A primeira fonte é proveniente de **Evidências Científicas**, com trabalhos publicados em periódicos acadêmicos, *journals*, etc. A justificativa para fazer uso desse tipo de fonte de evidência é que novas pesquisas estão sendo produzidas, e muitas vezes são responsáveis em mudar a compreensão sobre determinado assunto. Entretanto, é essencial saber como procurar esses estudos e, principalmente, ser capaz de julgar sua confiabilidade e relevância.

A segunda fonte de evidência é a **Organização**, aonde a evidência é oriunda de diversas fontes, como dados financeiros, medidas de negócios, retorno sobre o investimento ou participação no mercado, etc. Esse tipo de fonte é essencial para identificar problemas que requerem atenção total dos gerentes, além de auxiliar a determinar possíveis causas, soluções plausíveis e o que é necessário implementar para solucionar determinado problema (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014).

Uma terceira fonte de evidência é a **Experiência Profissional** de gerentes, consultores, líderes empresariais e outros praticantes. Diferente de intuição, opinião ou crença, a experiência profissional é acumulada ao longo do tempo por meio da reflexão sobre os resultados de ações semelhantes tomadas em situações semelhantes. Esse tipo de evidência difere de intuição e opinião pessoal porque reflete o conhecimento especializado adquirido por experiência repetida e prática de atividades especializadas. O conhecimento desse tipo de profissional pode ser necessário para estabelecer se determinado assunto requer realmente atenção, se os dados organizacionais disponíveis são confiáveis, se os resultados da pesquisa se aplicam em um situação particular, etc.

A quarta fonte de evidência são os **Stakeholders**, que são as partes interessadas sendo composta pelos indivíduos ou grupos que podem ser afetados pelas decisões de uma organização e suas consequências. Esses indivíduos podem ser desde funcionários, gerentes e conselheiros membros até fornecedores, clientes, acionistas, etc. As preocupações dos *stakeholders* podem afetar diretamente a forma que tendem a reagir para possíveis consequências das decisões da

organização.

Corroborando com Barends et al (2014), Tort-Martorell, Grima e Marco (2011) cita dois tipos de evidências: a interna e a externa. A evidência externa é gerada por pesquisadores ligados a universidades e escolas de negócios, enquanto a evidência interna é realizada e coletada nas próprias organizações. Rowley (2012) contribui separando os dois tipos de evidência em relação ao conhecimento tácito (aprendido ao longo da vivência das pessoas, difícil de ser explicitado) e explícito (aprendizado formal, registrado em artigos e livros). O Quadro 1 apresenta essa diferença.

Quadro 1 – Diferença entre evidência interna e externa

| Tipo de Evidência | Conhecimento Tácito | Conhecimento Explícito |
|-------------------|---|------------------------------------|
| Interna | Conhecimento e habilidade de funcionários | Relatórios técnicos, base de dados |
| Externa | Conhecimento e habilidade de acadêmicos e consultores | Artigos científicos, livros |

Fonte: Rowley (2012).

Cabe ressaltar que nenhuma evidência é perfeita, sendo necessário realizar uma avaliação crítica, analisando cuidadosamente e sistematicamente sua confiabilidade e relevância para o contexto a qual está inserida (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014), (PEFFERS et al., 2007). Briner, Denyer e Rousseau (2009) reforçam que a gestão baseada em evidências não pretende resolver todos os problemas de gestão das empresas, mas ajudar estas organizações a tomar decisões a partir das melhores evidências disponíveis para estes gestores. Para isso, um ponto importante é que esteja claro a real diferença entre a prática comum e a baseada em evidências.

No Quadro 2 é apresentada essa diferença com base no trabalho de Pfeffer e Sutton, (PFEFFER; SUTTON, 2006). Evidencia-se que a ideia defendida por Pfeffer e Sutton, (PFEFFER; SUTTON, 2006) é que as melhores decisões para as organizações não são aquelas tomadas individualmente, mas aquelas tomadas em conjunto considerando diversas informações, que analisadas criticamente se tornam evidências.

Quadro 2 – Diferenças entre práticas comuns e gestão baseada em evidências

| Prática Comum | Baseada em Evidências |
|---|--|
| Trata ideias velhas como se fossem novas | Trata ideias velhas como se fossem velhas |
| Glorifica, celebra, e aplica ideias e estudos | Suspeita de ideias e estudos |
| Celebra indivíduos brilhantes | Celebra comunidades de pessoas |
| Enfatiza somente as virtudes de métodos de pesquisa e práticas de gestão utilizadas | Enfatiza as virtudes e incertezas da pesquisa e de práticas propostas |
| Usa histórias de sucessos e falhas sobre companhias, times e pessoas | Usa histórias de sucessos e falhas para ilustrar práticas suportadas por outras evidências |
| Usa ideologias populares, e teorias para gerar e justificar práticas de gestão | Adota uma abordagem neutra as ideologias e teorias |

Fonte: Pfeffer; Sutton (2006).

Um dos principais desafios da EBM é encontrar maneiras de evidenciar a partir de pesquisas sistemáticas disponíveis para os profissionais, juntamente com as habilidades e suporte necessário para fazer julgamentos sobre sua validade e utilidade. Além disso, para que a gestão baseada em evidências se diferencie da prática comum, é necessário fazer uso de um método particular para aplicá-la nas organizações (ROUSSEAU, 2006). Os autores Briner e Barends (2016) propuseram um método para ser utilizado pela gestão baseada em evidências como forma de direcionar a aplicação da EBM nas organizações, esse método é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Método da Gestão Baseada em Evidências

| Etapa | Descrição |
|-----------|--|
| Perguntar | Transformar uma tarefa prática ou um problema em uma pergunta passível de resposta |
| Adquirir | Pesquisa sistemática para buscar evidências |
| Analisar | Julgamento crítico da confiabilidade e relevância da evidência |
| Agregar | Combinar conhecimento prático à evidência |
| Aplicar | Incorporar a evidência no processo de tomada de decisões |
| Avaliar | Incorporar a evidência no processo de tomada de decisões |

Fonte: Briner; Barends (2016).

O método proposto por Briner e Barends (2016) é composto de seis etapas. A primeira etapa refere-se a identificação da questão central ou problema que precisa ser resolvido. Com intuito de auxiliar essa etapa, foi desenvolvido uma abordagem que direciona como realizar as perguntas (BARENDs; ROUSSEAU; BRINER, 2014). Essa abordagem cujo nome é PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context*), utiliza perguntas eficientes incluindo informações sobre população, intervenção, comparação, resultado e conteúdo na pergunta a ser realizada. O Quadro 4 apresenta a abordagem proposta por (BARENDs; ROUSSEAU; BRINER, 2014).

Quadro 4 – Abordagem PICOC

| PICOC | Questão | Exemplo |
|-------------|---|--|
| População | Quem? | Tipo de empregado, grupo, pessoa que vai ser afetado |
| Intervenção | O que ou como? | Método/técnica de gestão, fator, variável independente |
| Comparação | Comparado com o que? | Intervenção alternativa, objetivo, variável dependente |
| Resultado | O que está tentando melhorar/mudar? | Propósito, objetivo, variável dependente |
| Conteúdo | Em qual tipo de organização /circunstância? | Tipo de organização, setor, fatores contextuais relevantes |

Fonte: Barends et al. (2014).

A próxima etapa do método proposto pela EBM é a de Adquirir a evidência. Essa fase deve ocorrer através de uma pesquisa sistemática em fontes de informações científicas, com intuito de se buscar respostas (BRINER; BARENDS, 2016). Para esses autores, as principais fontes de publicações que pode auxiliar nessa fase estão disponíveis na literatura científica e são provenientes de revisão de literatura, revisões sistemáticas e meta-análises, estudo científico único, livros de estudo, livros de negócios e pesquisas comerciais de empresários e agências de consultoria.

Além disso, Briner e Barends (2016) estudam os principais tipos de publicações relacionadas a evidência externa, analisando as suas vantagens e desvantagens. Esse levantamento é apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Tipos de Publicações

| Publicações | Vantagens | Desvantagens |
|--|--|---|
| Revisões sistemáticas e metas análises | Muito relevante, objetivo e incluem evidências relevantes. | Difícil de acessar e ler. |
| Revisão de literatura | Muito relevante, geralmente legível. Possui detalhes e críticas de estudos fornecidos. | Difícil de acessar, não foca em uma questão de pesquisa, possui viés. |
| Único estudo científico | Muito relevante, utiliza método científico e apresenta resultado em detalhes. | Difícil de acessar, de ler. Possui foco no corpo da pesquisa. |
| Livros de estudo de estudantes | Acessível, fácil de ler e sumariza alguns resultados científicos. | Apresenta pouco detalhamento dos resultados, discussões superficiais e baixo julgamento da qualidade da pesquisa. |
| Livros de negócios best-sellers | Acessível, fácil de ler e as vezes apresenta resultados científicos. | Resultados científicos limitados, não é crítico e autores frequentemente promovem a visão deles. |
| Pesquisa comercial publicada por empresários e agências de consultoria | Acessível e fácil de ler. Parecem relevantes e contemporâneos. | Difícil de criticar e verificar, enviesado e interessado em um resultado específico. |

Fonte: Briner e Barends (2016).

Findada a coleta, é necessário analisar criticamente a confiabilidade e a relevância das evidências que foram adquiridas na etapa anterior. Para auxiliar essa análise, Barends, Rousset e Brinner (2016) propuseram um método que apoia a análise crítica das evidências coletadas. Esse método chamado CAT (*Critical Appraisal Topic*) e suas etapas são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Método CAT



Fonte: Barends et al. (2014).

Esse método é composto de 9 etapas e determina a confiabilidade de um estudo (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014). Além disso, destaca-se que essa análise crítica engloba a verificação da generalização da evidência, sua validade interna e externa e o seu rigor.

Vale ressaltar que esse não é o único método existente. O Centro EBM - CEBMa (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2017) desenvolveu um banco de perguntas com intuito de auxiliar na análise crítica da evidência. Esse banco é composto por perguntas para seis tipos de estudos, a saber: estudo de caso, estudo de caso controlado, estudo controlado, *survey*, estudo qualitativo e revisão sistemática.

Para cada tipo de estudo perguntas críticas são utilizadas para avaliar em profundidade as evidências encontradas. O objetivo dessas perguntas é auxiliar o tomador de decisão a desenvolver um senso crítico, permitindo que ele estabeleça quais são as melhores evidências disponíveis que podem ser utilizadas na sua organização.

Após realizar a análise crítica das evidências encontradas, se faz necessário Agregar o conhecimento prático à evidência, sendo essa a quarta etapa do método. A etapa de Agregação do conhecimento prático ao teórico é primordial, entretanto, algumas barreiras são encontradas tais como: muita evidência disponível, falta de qualidade das informações e falta de aplicabilidade das evidências (PFEFFER; SUTTON, 2006).

Para auxiliar na agregação das evidências ao conhecimento prático dos gestores e permitir verificar se as barreiras de implementação foram superadas, o CEBMa (2013) desenvolveu uma

escala composta por 7 pontos que tem como finalidade medir o quanto uma organização está tomando suas decisões baseadas nas melhores evidências disponíveis. O Quadro 6 apresenta a escala para implementação EBM (CEBMA, 2013).

Quadro 6 – Escala da implementação de Gestão Baseada em Evidências

| Pergunta | Resultado (1 a 7) |
|---|----------------------|
| Acreditamos que é importante adotar novas práticas de gestão? | |
| Tomamos decisões, analisando o que outras organizações estão fazendo e como está funcionando para eles? | |
| Utilizamos benchmarking para identificar as melhores práticas utilizadas em outras organizações para ajudar a melhorar nossa organização? | |
| Usamos consultores para nos ajudar a tomar decisões? | |
| Antes de tomar qualquer decisão, avaliamos sistematicamente os dados para melhor compreender a natureza do problema? | |
| Nossos gerentes têm acesso a um sistema de informação gerencial? | |
| Um conjunto de dados, retirado aleatoriamente do SI será confiável? | |
| Usamos evidências da pesquisa acadêmica para nos ajudar a tomar decisões sobre como resolver nossos problemas? | |
| Nossos gerentes sabem usar a Internet para pesquisar evidências para orientar suas decisões? | |
| Nossos gerentes sabem avaliar criticamente os dados internos e a evidência da pesquisa científica? | |
| Os gerentes da minha organização tendem a acreditar que a, organização é única e conseqüentemente, o resultado da investigação científica não é aplicável? | |
| Os gerentes de nossa organização tendem a acreditar que o conhecimento adquirido no trabalho é a única fonte importante quando se considera como lidar com um problema? | |
| A política interna e as lutas de poder influenciam o modo como fazemos decisões sobre políticas e práticas? | |
| Passamos tempo identificando e explorando uma gama de possíveis soluções para os problemas que enfrentamos? | |
| Nós sistematicamente avaliamos a eficácia das novas políticas e práticas que introduzimos? | |
| Se cometemos erros na tomada de decisões, tentamos aprender com eles | |

Fonte: CEBMa (2013).

Conforme CEBMa (2013) a escala de implementação possui 7 pontos, no qual 1 equivale a opção de nunca e 7 equivale a sempre, o resultado dessa escala é separado em três classes: i) 0 – 55 pontos: organização não pratica EBM; ii) 56 – 83 pontos: organização pratica EBM (está começando a utilizar a EBM) e; iii) 84 – 112 pontos: organização faz EBM.

Após a organização incorporar a evidência e conhecimento prático na tomada de decisão, a evidência é aplicada em problemas reais (BRINER; BARENDS, 2016). Para isso, se faz necessário a utilização de um modelo de tomada de decisão utilizando a EBM. Baba e

HakemZadeh (2012) propuseram um modelo que auxilia na tomada de decisão. Esse modelo leva em consideração dimensões que permitam avaliar o rigor e a relevância das evidências.

Após a aplicação das evidências na tomada de decisão organizacional, a avaliação torna-se importante para avaliar se as evidências foram suficientes para resolver as questões levantadas na etapa de perguntar (BRINER; BARENDS, 2016). Na última etapa da EBM, as ações tomadas devem ser avaliadas, para verificar a eficácia da tomada de decisão. Caso a avaliação seja negativa, deve-se retornar novamente a etapa de perguntar, e verificar se realmente a pergunta certa está sendo realizada, com isso, o método da EBM não possui uma estrutura fixa (BRINER; DENYER; ROUSSEAU, 2009).

A gestão baseada em evidências foi introduzida inicialmente na medicina e rapidamente se expandiu para outras áreas, como educação e gestão (PFEFFER; SUTTON, 2006), aonde o objetivo principal dessa abordagem é usar a EBM para auxiliar na tomada de decisão. Atualmente, com a nova Revolução Industrial, essa abordagem passa a ser primordial como forma de auxiliar na tomada de decisão para o gerenciamento das falhas na indústria.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A realização de uma pesquisa está diretamente relacionada à busca de informações necessárias para a resolução de determinados problemas. Essa busca ocorre por meio de esforços dirigidos por ações e procedimentos racionais e sistemáticos (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010).

Para garantir que uma pesquisa seja relevante na perspectiva científica, alguns procedimentos precisam ser seguidos com o intuito de garantir a confiabilidade dos resultados. É nesse âmbito que a seleção de um método adequado é fundamental para o sucesso de qualquer projeto de pesquisa (BARNES, 2001). Dada a importância do método de trabalho, este capítulo é dedicado à descrição dos procedimentos e das etapas que serão utilizados para a condução deste estudo.

3.1 Delineamento da Pesquisa

O Delineamento da Pesquisa é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permitem alcançar um objetivo predefinido, com conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando nas decisões do pesquisador (LAKATOS; MARCONI, 2010). Para Dresch et al. (2015), esse enquadramento é importante, visto que para o desenvolvimento de uma pesquisa, é necessário seguir alguns procedimentos que garantam a confiabilidade dos resultados. Esses procedimentos são apresentados na Figura 5 como uma estratégia para a condução de pesquisas científicas.

Figura 5 – Estratégia para condução de pesquisas científicas



Fonte: Adaptado de (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

A razão para realizar esta pesquisa surgiu da necessidade de transformação que as indústrias precisam passar como forma de se adaptar para a nova Revolução Industrial, aspectos

apontados no problema de pesquisa e na justificativa. Para sua operacionalização, inicialmente tenciona-se explorar a literatura que versa sobre o tema para, seguidamente, propor o método adequado para apoiar a implantação d gestão baseada em evidências em um sistema produtivo.

Em relação ao objetivo desta pesquisa é considerado prescritivo, visto que tem como finalidade propor soluções para uma classe de problemas em específico. A proposta do método, por sua vez, irá auxiliar na prática da gestão, ao possibilitar a utilização de evidências internas e externas consolidadas que, até então, não eram utilizadas como forma de auxiliar na tomada de decisão.

Conforme Saunders, Lewis e Thornhill (2009), a filosofia da pesquisa pode ser de caráter positivista, realista, interpretativista ou pragmática e contém suposições importantes sobre a forma como o pesquisador enxerga o mundo. Nesse aspecto, a presente pesquisa adota uma abordagem realista, tendo em vista que a presente pesquisa assume que existe uma realidade independente da visão do pesquisador (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2009).

Delineado a razão e o objetivo da pesquisa, surge a perspectiva sobre a construção do conhecimento, o que se valida por meio dos métodos científicos. O método científico é uma diretriz de como o conhecimento é construído, e a sua escolha considera dois aspectos: o ponto de partida da pesquisa e o objetivo da pesquisa (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

Segundo Cervo et al. (2002) um método científico precisa formular questões ou propor problemas e levantar hipóteses; efetuar observações e medidas; generalizar as conclusões obtidas; e prever ou predizer certas relações. Dessa forma, o método científico utilizado neste trabalho é o abduutivo, que propõe *o que pode ser*, utilizando certos dados para chegar a uma conclusão mais ampla, como acontece nas inferências da melhor explicação (CERVO, 2002). O pensamento integrativo pode resolver muitos desses problemas, uma vez que usa a lógica abduitiva, ou seja, *o que pode ser, em vez do que deveria ser* ou é (CHALMERS, 1999).

Quanto aos procedimentos técnicos para essa pesquisa, o método escolhido para a realização deste estudo foi a *Design Science Research* - DSR, que viabiliza o desenvolvimento de artefatos que produzem soluções satisfatórias para determinado problema prático (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). A sua escolha justifica-se tendo em vista que esse método de pesquisa é orientado a solução de problemas por meio do desenvolvimento de artefatos, ou seja, a metodologia para auxiliar na implantação da EBM e o protótipo computacional são artefatos que irão dar suporte as demandas de um sistema produtivo.

O principal fundamento desta metodologia é que o conhecimento para a compreensão e resolução de problemas advém da criação e aplicação de artefatos (novos ou versões melhoradas), de constructos, modelos, métodos, instanciações, e também podem incluir inovações sociais ou novas propriedades de recursos técnicos, sociais e/ou informativos (PEFFERS et al., 2007). Artefatos são definidos como construtos (vocabulário e símbolos), modelos (abstrações, declarações e representações que expressam relações entre construtos), métodos (algoritmos,

práticas e diretrizes) e instanciações (sistemas implementados e protótipos) (MANSON, 2006).

Dresch et. al (2015) corrobora afirmando que a *Design Science Research* é um método de pesquisa orientado à solução de problemas, que busca, através do entendimento de um determinado problema, gerar artefatos capazes de trazer novo conhecimento, elevando a condição atual deste problema a um nível satisfatório, bem como capazes de reduzir o distanciamento existente, nestes casos, entre teoria e prática. Além disso, é importante enfatizar que a *Design Science Research* busca a redução da distância entre a teoria e a prática, garantindo a relevância da pesquisa para as organizações e o rigor teórico para manter a confiabilidade dos resultados encontrados nas pesquisas (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

De acordo com Alan et al. (2004) os produtos da *Design Science Research* são criar e avaliar artefatos destinados a identificar e resolver problemas organizacionais. Como forma de resolver estes problemas, a DSR apresenta métodos que avaliam os artefatos criados (ALAN et al., 2004). O Quadro 7 apresenta os métodos que podem ser utilizados para a avaliação dos artefatos.

Quadro 7 – Métodos utilizados para avaliação dos artefatos

| Tarefa | Método |
|---------------|--|
| Observacional | Estudo de caso: estudo em profundidade do artefato. Estudo de campo: uso monitorado do artefato. |
| Analítico | Análise estática: exame da estrutura do artefato para qualidades estáticas (não variam ao longo do tempo). Análise de arquitetura: estudo da arquitetura técnica do artefato. Otimização: demonstração de propriedades ótimas do artefato. Análise dinâmica: exame da estrutura do artefato para qualidades dinâmicas (variam ao longo do tempo). |
| Experimental | Experimento controlado: estudo do artefato em meios controlados. Simulação: simulação do artefato com dados artificiais. |
| Teste | Teste funcional (black box): teste do artefato para descobrir falhas e identificar defeitos. Teste estrutural (white box): teste de desempenho de algumas métricas do artefato. |
| Descritivo | Argumento informativo: uso de informação para base de conhecimento para construir um argumento convincente. Configurações: construção de Configurações detalhados para demonstrar a utilidade do artefato. |

Fonte: Alan et al. (2004).

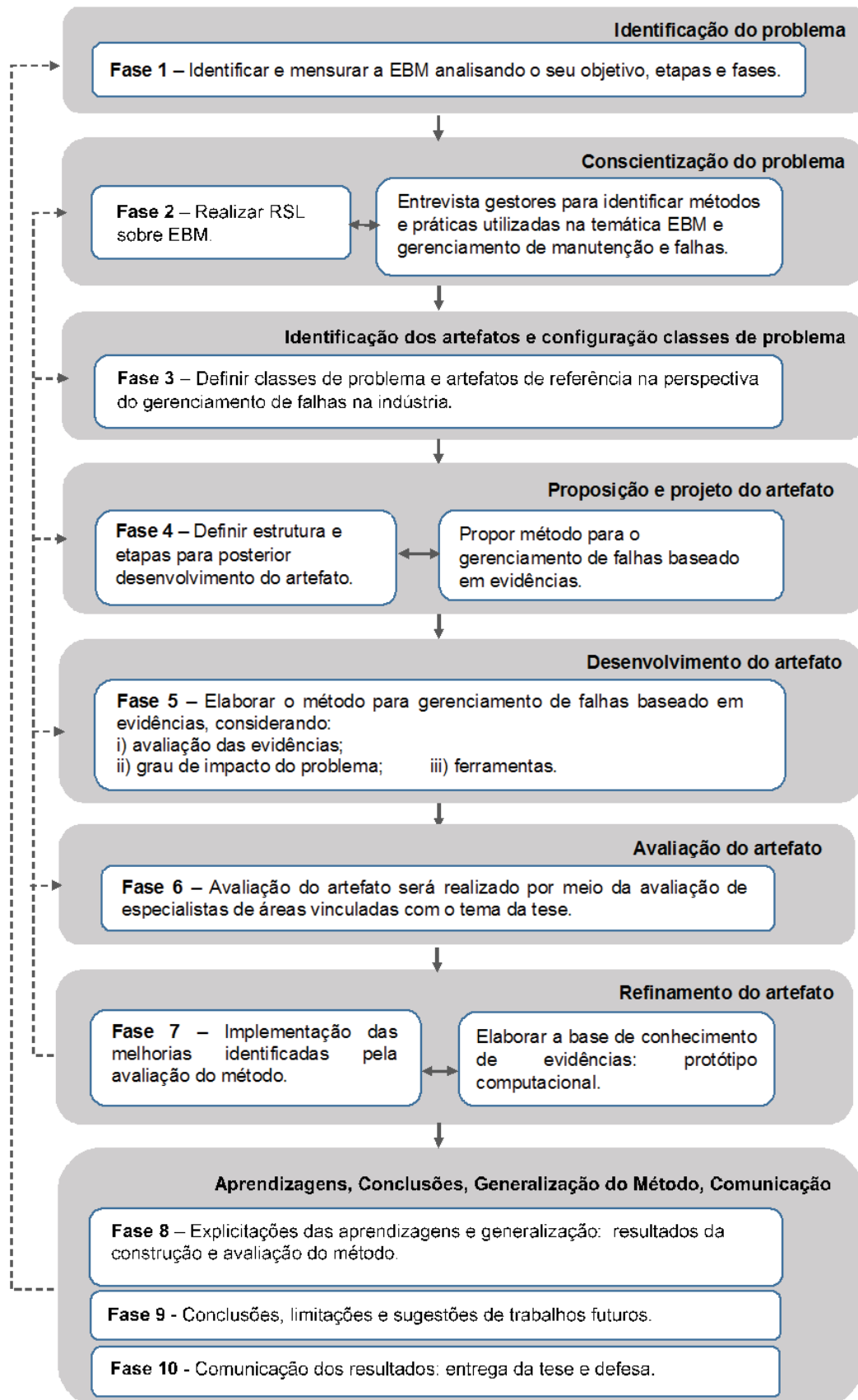
Nesta pesquisa, os métodos que serão utilizados para avaliação do artefato serão apresentados na sequência. Finalmente, o método de pesquisa se mostra adequado ao presente trabalho, uma vez que o objetivo do projeto é a proposição de um método e o desenvolvimento de um protótipo computacional para apoiar a implantação da gestão baseada em evidências nos sistemas produtivos. Definidas as abordagens científicas, o próximo passo é o detalhamento do método de

trabalho, apresentado na próxima seção.

3.2 Método de Trabalho

Nesta seção, apresenta-se o método de trabalho para o desenvolvimento do estudo. Segundo Lakatos (2010) o método de trabalho tem como finalidade definir a sequência de passos lógicos que o pesquisador irá seguir para alcançar seu objetivo, gerando conhecimento válido e científico reconhecido como verdadeiro. Para Yin (2013), o método de trabalho é o caminho a ser seguido para se atingir o objetivo da pesquisa. Nesse sentido, o método de trabalho da presente pesquisa se estrutura em concordância com as etapas do método preconizado por (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015), conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Método de trabalho para condução da pesquisa



Fonte: Desenvolvido pela autora.

O ponto inicial da pesquisa ocorre com a definição do problema de pesquisa, a saber, como a gestão baseada em evidências pode contribuir para o gerenciamento de falhas em um sistema de produção (**fase 1**). Após a definição do problema, o direcionamento da pesquisa se encaminha para a **fase 2**, conscientização do problema.

A conscientização do problema é a união entre o que é pesquisado e a necessidade da pesquisa. Essa fase necessita de informações que garantam a compreensão ampla do problema de pesquisa, entendendo o contexto em que ele se insere. Busca, ainda, compreender as causas e a funcionalidade do artefato, bem como a performance esperada para sua atuação e os seus requisitos de funcionamento (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

Para suporte na investigação de problemas, realizou-se a busca das principais referências sobre a gestão baseada em evidências como forma de auxiliar na tomada de decisão para o gerenciamento de falhas em um sistema produtivo. No que tange à consulta às bases de dados, por meio do qual é possível identificar os avanços e as lacunas teóricas do conhecimento gerado sobre o tema de pesquisa até o momento, são consultadas as bases EBSCOhost, ScienceDirect e Google Acadêmico, mas não limitadas a essas. Dessa forma, com intuito de direcionar essa fase, um *framework* foi desenvolvido para realizar a revisão sistemática de literatura, conforme detalhado na seção 3.3 - Coleta de Dados.

Além da revisão sistemática da literatura, reuniões com os gestores e especialistas na temática em questão, contribuíram com a identificação e proposição do método. Além dos requisitos provenientes da reunião com os especialistas, as referências encontradas ajudaram a determinar condições que o método precisa possuir para atender os objetivos. Estes requisitos serão expostos no capítulo de proposição do método.

A **fase 3** prevê a identificação das classes de problema e de artefatos de referência existentes. Esses dados passam por uma análise estruturada que possibilita a visualização dos critérios utilizados para a classe de problema identificada e para cada artefato existente. Tal cuidado viabiliza analisar as contribuições e as limitações dos estudos dos artefatos existentes sob alguns pontos.

O primeiro ponto consiste em identificar métodos para o gerenciamento de falhas. Apondo suas etapas, registros, ferramentas, envolvidos, dentre outros aspectos. Por conseguinte, o segundo ponto compreende o entendimento e identificação de etapas fundamentais para o gerenciamento de falhas. O terceiro ponto consiste em identificar como ocorre a tomada de decisão no contexto do gerenciamento de falhas. Por fim, apresenta-se a análise comparativa e crítica dos artefatos identificados. Os resultados desta etapa encontram-se descritos no Capítulo 4.

A próxima etapa do método de trabalho (**fase 4**) envolve a proposição e projeto do artefato. Essa fase contempla os artefatos e classes de problemas localizados na fase anterior. Dresch et al. (2015) afirmam que os pesquisadores devem propor artefatos considerando a

realidade em que serão aplicados e sua exequibilidade. Com isso, nessa etapa são contemplados os requisitos fundamentais para a proposição do método, identificados por meio de reuniões com os especialistas e também na literatura.

Ademais, são formalizadas soluções satisfatórias para um artefato genérico, com a intenção de resolver um problema genérico. Dessa forma, o projeto do artefato é desenvolvido para o gerenciamento de falhas em sistemas produtivos de qualquer natureza, atendendo a qualquer segmento de negócio.

A **fase 5** de desenvolvimento do artefato envolve a criação do método para gerenciamento de falhas baseado em evidências. Para isso, o processo construtivo ocorreu em ciclos evolutivos e incrementais, levando em consideração os requisitos identificados como fundamentais para o seu desenvolvimento.

Concluída a fase de desenvolvimento, o artefato segue para a **fase 6**, de avaliação do artefato. A utilidade, a qualidade e a eficácia de um artefato devem ser rigorosamente comprovadas por meio de métodos de avaliação estruturados (HEVNER et al., 2004). Dessa forma, a avaliação do artefato proposto nesta pesquisa foi realizada por meio da avaliação de especialistas de áreas inter e multidisciplinares.

A avaliação dos especialistas nessa etapa é imprescindível, tendo em vista que foi possível identificar pontos a serem aperfeiçoados no artefato, além da certificação da sua relevância, bem como serviu para delinear a abrangência dos resultados alcançados pelo artefato e o parâmetro de comparação das soluções existentes satisfatórias (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

Após a avaliação e o ajuste do método, o mesmo parte para a fase de refinamento do artefato, **fase 7**. Findada a avaliação do artefato proposto pelos especialistas, os ajustes necessários foram implementados. Ressalta-se que nesta pesquisa, a fase de avaliação é cíclica, pois essa etapa objetiva identificar as melhorias e o aprendizado gerado na condução do processo de avaliação. Outrossim, o retorno às etapas anteriores se efetiva sempre que necessário, a fim de que o método seja validado como robusto.

Realizado os ajustes, parte-se para a implementação do protótipo computacional, como forma de contemplar a saída da última fase do método proposto. Para avaliação do protótipo a técnica escolhida foi de teste funcional (*black box*). Finalizada as fases de avaliação e refinamento, e tendo o artefato atingido os resultados esperados, a próxima etapa abrange as explicações das aprendizagens e generalização do método, **fase 8**. A **fase 9**, evidencia as conclusões da pesquisa, as contribuições, os aspectos de melhoria do método, as limitações e as sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, a **fase 10**, última etapa prevista pelo método de trabalho, contempla a comunicação dos resultados. A comunicação ocorre por meio da divulgação desta pesquisa, poderá ser acessada tanto pela comunidade acadêmica quanto pelos profissionais das organizações, por meio da entrega e defesa da tese, de publicações, de seminários e de congressos, ou seja, por

meio da disseminação dos conhecimentos gerados pela pesquisa.

Para atingir o rigor da pesquisa fundamentada no *design science research*, todos os procedimentos para proposição, construção e avaliação do método devem ser suscetíveis de rastreabilidade. Nessa perspectiva, nas próximas seções são apresentadas as etapas de coleta e análise de dados.

3.3 Coleta de Dados

Uma vez explicitados o método de pesquisa e o método de trabalho, a etapa subsequente envolve a coleta de dados que atenderão à pesquisa. A primeira coleta de dados apoia a fase de conscientização do problema por meio da revisão sistemática da literatura (RSL). A RSL teve como objetivo mapear o conhecimento produzido sobre o tema de pesquisa estudado, bem como identificar a existência de artefatos para solucionar o problema de pesquisa. A segunda etapa corresponde a realização de entrevistas com especialistas neste campo de conhecimento, no intuito de captar suas percepções quanto ao artefato proposto.

Para a primeira etapa da coleta, a RSL iniciou com a elaboração do protocolo de pesquisa, no intuito de operacionalizar a estratégia de busca. O modelo de protocolo utilizado para operacionalização da RSL foi elaborado tendo como base o trabalho proposto por Morandi e Camargo (2015) e está disponível no Apêndice A.

Como forma de operacionalizar a procura, definiu-se as estratégias de busca, que abrange a definição dos termos e fontes de busca, além dos critérios de inclusão e exclusão de documentos. As fontes de busca utilizadas foram as bases Ebscohost, Scopus, Web of Science e Periódicos Capes. A escolha se efetiva pelo critério de disponibilidade, e porque essas são consideradas as principais bases de dados para a revisão sistemática da literatura, como preconizam (MORANDI; CAMARGO, 2015).

São utilizadas, também, ferramentas de busca da internet, como Google e Google Acadêmico. O intuito é identificar materiais publicados em documentos de estudos primários que tratam do objetivo da pesquisa, como anais de congressos, seminários, entre outros. Ademais, as pesquisas foram realizadas sem a limitação de data, buscando documentos restritos a artigos, livros e capítulos de livros, abrangendo todos os campos de pesquisa. No Quadro 8 estão descritos os termos de busca definidos para esta pesquisa, além das bases de dados utilizadas.

Quadro 8 – Termos de Busca

| Base de dados | Termo 1 | Termo 2 |
|--|----------------------------|---------------------------|
| Ebscohost e Scopus Web of Science Periódicos Capes | evidence based decision | manufacturing OR industry |
| | failure management | method OR systems |
| | potential failure analysis | knowledge based system |
| | evidence based management | methodology |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Os critérios de busca de estudos definidos são: i) qualquer idioma; ii) qualquer período de tempo; e iii) expressões definidas no título, nas palavras-chaves ou no resumo. Após a realização das buscas, os resultados foram analisados por meio de duas etapas. A primeira delas corresponde à análise dos títulos dos documentos, com o intuito de constatar a adequação da pesquisa ao tema deste trabalho.

Após a verificação da adequação dos títulos ao tema da pesquisa é implementada a segunda etapa, que corresponde a leitura dos resumos para a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. A definição dos critérios de inclusão e exclusão de estudos é uma etapa importante na RSL, visto que o processo de seleção dos estudos pode acarretar viés (ERMEL, 2020). Assim, devem ser definidos critérios explícitos de inclusão e exclusão, baseados no escopo da revisão e que devem ser estritamente seguidos durante todo o processo de seleção (MORANDI; CAMARGO, 2015). Os critérios de inclusão e exclusão estão dispostos no Quadro 9.

Quadro 9 – Critérios de inclusão e exclusão

| Critérios de inclusão | Critérios de exclusão |
|--|--|
| Métodos, técnicas ou abordagens estruturadas e sistemáticas para o gerenciamento de falhas | Não conter artefato relacionado à tomada de decisão, gestão do conhecimento e gerenciamento de falha |
| Métodos e técnicas que contemplem a utilização da EBM | Pesquisas que envolvam segurança, redes e controles para a tomada de decisão |
| Aplicação em ambientes industriais | Pesquisas que não atendam aos critérios de inclusão |
| Texto completo | Acessibilidade do documento |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

A avaliação da qualidade dos estudos incluídos na análise foi realizada conforme sugestão de Morandi e Camargo (2015), de que a avaliação da qualidade deve considerar a qualidade de execução dos estudos e sua adequação à questão de revisão. O fluxo de seleção dos artigos incluídos na RSL está descrito no Apêndice B.

A segunda etapa da coleta, entrevistas com gestores, consultores e pesquisadores atuantes no levantamento e gerenciamento de falhas, contribuíram com a identificação, proposição

e validação do método. Com base nos resultados das entrevistas, foi possível identificar os principais artefatos existentes vinculados ao tema de pesquisa. As entrevistas ocorreram por meio de sistemas de videoconferência.

O nome dos entrevistados e das instituições não foi revelado em consonância com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), disponível no Apêndice C – termo de consentimento livre e esclarecido. Este termo visa garantir o sigilo dos entrevistados, além da autorização para a utilização das informações das entrevistas nesta pesquisa. No Quadro 10, os entrevistados são identificados a partir de uma letra, artifício utilizado para preservar suas identidades. Contudo, são apresentadas informações acadêmicas e profissionais desses envolvidos.

Quadro 10 – Informações acadêmicas e profissionais dos entrevistados na fase 2

| Entrevistado | Informações acadêmicas e profissionais |
|---------------------|--|
| Especialista A | Mestre em Engenharia de Produção, com experiência de 5 anos nas áreas de operações e processos da produção, atuando como consultor de inovação e gestão. |
| Especialista B | Mestre em Modelagem Matemática, com experiência de 11 anos na coordenação de projetos de melhoria nos laminadores de fio-máquina e de barras e perfis. Atuando como facilitador de melhorias da laminação de médios. |
| Especialista C | Especialista em Gestão em Manutenção Industrial, atuando como supervisor em manutenção e automação industrial há 6 anos. |
| Especialista D | Especialista em Gestão da Produção Industrial, atuando como supervisor de controle de produção há 8 anos. |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

O instrumento de pesquisa é estruturado com questões abertas que evidenciam as etapas necessárias à proposição e condução do método proposto. Nessa etapa da pesquisa teve a participação dos especialistas identificados no Quadro 10. A escolha por esses especialistas se justificam pela vasta experiência prática e teórica no tema em pesquisa, pela disponibilidade e, principalmente, facilidade de acesso. Além disso, a preferência, nessa fase da pesquisa, por especialistas técnicos que estivessem atuando no mercado de trabalho, teve como objetivo obter informações de campo que auxiliassem na elaboração do método e na sua validação. O questionário utilizado para coletar dados com os entrevistados dessa fase é apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Objetivos e questões da coleta de dados

| # | Perguntas | Objetivos |
|--|---|--|
| Autores: Lee; Bagheri; Jin (2016) | | |
| P1 | <p>P 1.1- Sua empresa utiliza a experiência e o know-how dos profissionais para auxiliar na tomada de decisão no gerenciamento de uma falha?</p> <p>P 1.2 - Em caso afirmativo (P 1.1) qual é o critério utilizado para selecionar a melhor experiência?</p> <p>P 1.3 - Utiliza consultores para ajudar a tomar decisões?</p> <p>P 1.4 - Quais áreas/pessoas/função geralmente são envolvidas nesse processo?</p> | Verificar até que ponto os funcionários são envolvidos no processo de tomada de decisão. |
| Autores: Baba; Hakemzadeh (2012); Barends et. al (2014) | | |
| P2 | <p>P 2.1 Antes de tomar qualquer decisão, avaliamos sistematicamente os dados para melhor compreender a natureza do problema de uma falha?</p> <p>P 2.2 - Utiliza-se de um método, ferramenta ou técnica que apoia e direciona o gerenciamento e tratamento da falha?</p> <p>P 2.3 - Em caso negativo (P 1.1), quais as principais alterações que precisam ocorrer para implantar a gestão de um sistema baseado em evidências?</p> | Identificar quais critérios utilizados para a seleção e avaliação das evidências. |
| Autores: Rowley (2012); Barends et. al. (2014) | | |
| P3 | <p>P 3.1 - A empresa utiliza outras fontes de evidências externas para auxiliar a tomar decisões sobre como resolver determinada falha?</p> <p>P 3.2 - Evidências de pesquisas acadêmicas são usadas para ajudar a resolver os problemas?</p> <p>P 3.3 - Em caso afirmativo (P 3.2) os gestores sabem avaliar criticamente as evidências da pesquisa científica?</p> | Verificar a utilização de outras fontes de evidências. |
| Autores: Lee; Bagheri; Jin (2016); Vyatkin (2007) | | |
| P4 | <p>P 4.1 - Faz uso de algum mecanismo que permita armazenar as experiências para uso a posterior?</p> <p>P 4.2 - Em caso afirmativo (P 4.1), esse mecanismo fica disponível para o chão de fábrica?</p> | Identificar quais métodos são utilizados para reunir as informações. |
| Autores: Lengnick-Hall; Griffith (2011) | | |
| P5 | <p>P 5.1 - Como a organização gerencia o quê sabe?</p> <p>P 5.2 - É possível visualizar a gestão baseada em evidências como uma técnica que irá contribuir para o desempenho da organização?</p> | Verificar o desempenho da organização. |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Para avaliação do artefato, fase 6 do método de trabalho, a coleta de dados contempla entrevistas e a avaliação do protótipo computacional por meio de testes funcionais. Para as entrevistas, os entrevistados, denominados de especialistas e apresentados no Quadro 12 foram identificados tendo como requisitos: i) a disponibilidade para acesso e ii) atuação nas áreas de

manutenção, estratégias e controle de produção, automação e gestão industrial. Além disso, por um dos artefatos gerados ser um protótipo computacional, identificou-se a necessidade de incluir especialistas com atuação em sistemas de apoio e suporte a decisão.

Quadro 12 – Informações acadêmicas e profissionais dos entrevistados para avaliação do método

| Entrevistado | Informações acadêmicas e profissionais |
|---------------------|--|
| Entrevistado A | Doutor em Engenharia de Produção, atuando na área de estratégia de produção. Pesquisador nas temáticas de gestão de inovação e gestão de operação com 15 anos de experiência. |
| Entrevistado B | Doutor em Sistemas de Informação e Apoio a Decisão, atuando em projetos de suporte e apoio a decisão. Possui 12 anos de experiência em projetos de desenvolvimento de software. |
| Entrevistado C | Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas, com 14 anos de experiência como pesquisador na temática de gestão do conhecimento organizacional. |
| Entrevistado D | Mestre em Engenharia de Produção, com experiência de 5 anos nas áreas de operações e processos da produção, atuando como consultor de inovação e gestão. |
| Entrevistado E | Mestre em Modelagem Matemática, com experiência de 11 anos na coordenação de projetos de melhoria nos laminadores de fio-máquina e de barras e perfis. Atuando como facilitador de melhorias da laminação de médios. |
| Entrevistado F | Especialista em Gestão em Manutenção Industrial, atuando como supervisor em manutenção e automação industrial há 6 anos. |
| Entrevistado G | Especialista em Gestão da Produção Industrial, atuando como supervisor de controle de produção há 8 anos. |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Seguindo a mesma lógica de contato utilizada com os entrevistados na fase 2, os pesquisadores listados no Quadro 12 também foram contatados, e acataram o convite para participar da avaliação do método. A entrevista aconteceu por meio de uma vídeo conferência, sendo que o método foi apresentado integralmente, contemplando o problema, os objetivos, a justificativa, as etapas e as ferramentas.

Durante a apresentação, foram esclarecidas dúvidas e acolhidas observações e contribuições. Dessa forma, foram coletadas percepções do método a partir da base de conhecimento do entrevistado. A condição para acatar as contribuições dos especialistas está vinculada à adequação das fases e etapas, bem como de ferramentas para execução das etapas do método. Além disso, o método foi avaliado por especialistas de áreas distintas, mas que, no conjunto, cobriam as principais áreas de conhecimento em pauta nessa pesquisa.

Na fase 7 do método de trabalho, para avaliação do protótipo computacional implementado, a técnica de coleta de dados utilizada foi a observacional. Dessa forma, após descritas as técnicas de coleta de dados utilizadas ao longo da pesquisa, a próxima seção apresenta os procedimentos adotados para a análise de dados.

3.4 Análise de Dados

Segundo Yin (2013), a análise dos dados tem como objetivo organizar e sintetizar os dados de tal forma que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema proposto para investigação. Já a interpretação tem como objetivo a procura do sentido mais amplo das respostas, o que é feito mediante sua ligação a outros conhecimentos anteriormente obtidos. Consiste em examinar, categorizar, classificar em tabelas, testar, ou até recombina as evidências quantitativas e qualitativas para tratar as proposições iniciais de um estudo (YIN, 2013).

Para o presente trabalho, a análise de dados é efetuada a partir da interpretação das informações coletadas durante a entrevista e dos resultados da análise do método. Para isso, as entrevistas são transcritas, e os documentos são organizados e categorizados. Os textos, apesar de explicitarem riqueza de informações sobre o tema pesquisado, necessitaram ser decodificados e adaptados à realidade estudada.

Para auxiliar na análise dessas informações faz-se necessário realizar a Análise de Conteúdo. A Análise de Conteúdo é uma técnica de investigação que tem por finalidade a descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto da comunicação (BARDIN, 2009). Trata-se de um procedimento de análise categorial, compreendido como a delimitação de unidades de codificação.

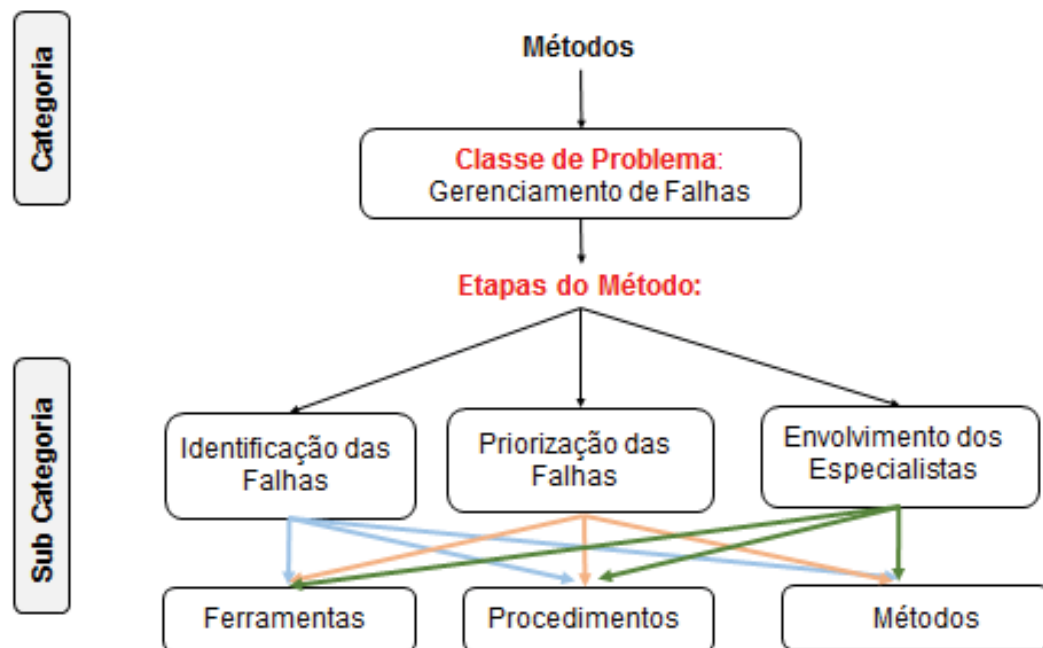
Para avaliação das respostas das questões abertas, aplicou-se a técnica análise de conteúdo. A intenção da análise de conteúdo é a interferência de conhecimentos relativos às condições de produção, por meio de indicadores, quantitativos ou não (BARDIN, 2005). Trata-se de um procedimento de análise categorial, compreendido como a delimitação de unidades de codificação.

Nesta pesquisa, a análise de conteúdo foi aplicada nas entrevistas realizadas para identificar métodos e práticas de gerenciamento de falhas. Para tanto, as entrevistas foram transcritas para que pudessem ser analisadas. Posteriormente, deu-se início na codificação. Para isso, iniciou-se com a leitura dos entrevistas e dos documentos com intuito de formar as primeiras impressões sobre o material.

Após, definiu-se o "tema" como unidade de registro e o "parágrafo" como unidade de contexto. Por fim, foi escolhido a regra semântico como critério de categorização nesta pesquisa. Além disso, as categorias de análise surgiram a partir da leitura das entrevistas e dos documentos.

Em função da importância da organização e da codificação das informações coletadas nas entrevistas e nos documentos analisados, foi necessário realizar a categorização dos dados em classes de problemas, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Categorização da análise de dados



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Conforme apresentado na Figura 7, a categoria e as sub categorias identificadas na RSL serviram como ponto de partida para auxiliar na codificação dos textos, e novas subcategorias foram criadas durante a análise dos documentos. Ressalta-se ainda que as etapas do método podem estar vinculadas a uma ou a várias subcategorias.

Como forma de permitir identificar a análise da recorrência de presença (ou de ausência) dos elementos foi necessário identificar a frequência de cada elemento, categorizá-lo e após inseri-lo em uma tabela excel. A proposta do artefato leva em consideração a frequência e a importância de cada elemento, tendo a importância avaliada pela necessidade de determinado elemento para a modelagem completo do artefato.

Além da frequência e do nível de importância, detectam-se os pontos fracos e fortes que, no âmbito desta pesquisa, se vinculam às contribuições e às limitações de cada método. A análise conjunta desses aspectos conduz a proposição do artefato.

Os processos de segmentação em categorias e subcategorias, de análise de frequência e de identificação e análise dos pontos fortes e fracos foram adotados para a construção de todos os ciclos do método. Cada ciclo incremental é delineada a partir de análises sequenciadas, proporcionando camadas de aprendizagens que se conectam entre si. Dessa forma, a cada nova versão, há melhorias contínuas no método proposto, até se chegar à versão proposta para a avaliação dos especialistas.

A análise de contribuições, sugestões e observações provenientes da avaliação de es-

pecialistas é registrada e analisada. O intuito da análise é aprofundar o conhecimento sobre a opinião dos especialistas. As contribuições julgadas como aplicáveis por se alinharem à proposta, foram adicionadas às etapas do método e segregadas em pontos fortes e fracos. São considerados pontos fortes as avaliações que reforçam as etapas e ferramentas do método, e pontos fracos as contribuições de melhoria, seja da etapa ou de ferramentas.

Para avaliação e validação do protótipo computacional, foram realizadas análises com base nos testes de aceitação e usabilidade, ambos pertencentes a técnica de teste *Black Box*. A utilização do protótipo nos testes de aceitação permite a execução, em menor tempo e com boa precisão, de condições de teste que na maioria das vezes são consideradas muito complexas quando executadas manualmente (SOMMERVILLE, 2011). O detalhamento da avaliação e validação do protótipo é apresentado na Capítulo 5.

4 AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS PARA GERENCIAMENTO DE FALHAS

Inicialmente, os artefatos são identificados com base na classe de problema de acordo com a consulta às bases distintas de informações. Com a finalidade de facilitar a compreensão e análise dos métodos pesquisados, as informações foram agrupadas de acordo com a sua origem.

Os métodos foram analisados individualmente e em relação ao grupo ao qual se vinculam. Essa análise permitiu realizar a comparação entre os métodos, bem como a identificação de pontos fortes e fracos e as contribuições e limitações da pesquisa.

4.1 Artefatos Oriundos da Revisão Sistemática da Literatura

Ao analisar artigos com a finalidade de estruturar o referencial teórico, destacaram-se: (LO et al., 2019), (TIAN; WANG; ZHANG, 2018), (LIU; LIU; LIU, 2013), (SHIMIZU; OTSUKA; NOGUCHI, 2010). Esses artigos apresentam métodos e etapas definidas para auxiliar no processo decisório do gerenciamento de falhas.

Inicialmente, o primeiro artefato analisado foi o método FMEA, sigla para *Failure Mode and EffectS Analysis* (Análise do Modo e Efeitos de Falha). O FMEA é um método de engenharia usado para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas e/ou potenciais de um projeto de produto ou de seu processo de fabricação antes que elas cheguem ao cliente (STAMATIS, 2003). O principal objetivo do método é identificar os possíveis modos de falha e determinar o que poderia eliminar ou reduzir a chance de falha.

Desenvolvido pela primeira vez como uma metodologia formal de projeto na década de 1960 pela indústria aeroespacial, provou ser uma ferramenta útil e poderosa para avaliar possíveis falhas e impedir que elas ocorram (LIU; LIU; LIU, 2013). O FMEA tem sido o método mais utilizado e eficaz para o desenvolvimento de modelos de diagnósticos e gerenciamento de falhas e avaliação de riscos nos últimos anos (LO et al., 2019).

O método FMEA é um procedimento sistemático que permite identificar potenciais falhas, suas causas e efeitos, sendo classificado como um método de tomada de decisão que permite a priorização de medidas para melhorar o desempenho de um produto ou sistema. Um dos requisitos para a utilização da ferramenta é que se tenha total conhecimento do que é modo de falha e efeitos. Onde modo de falha é a maneira com que o item falha ou não apresenta o resultado desejado ou esperado e efeito é o resultado produzido por uma ação ou um agente, denominados causa em relação a esse resultado.

Em outras palavras, o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema. Na identificação dos efeitos, deve-se perguntar: O que

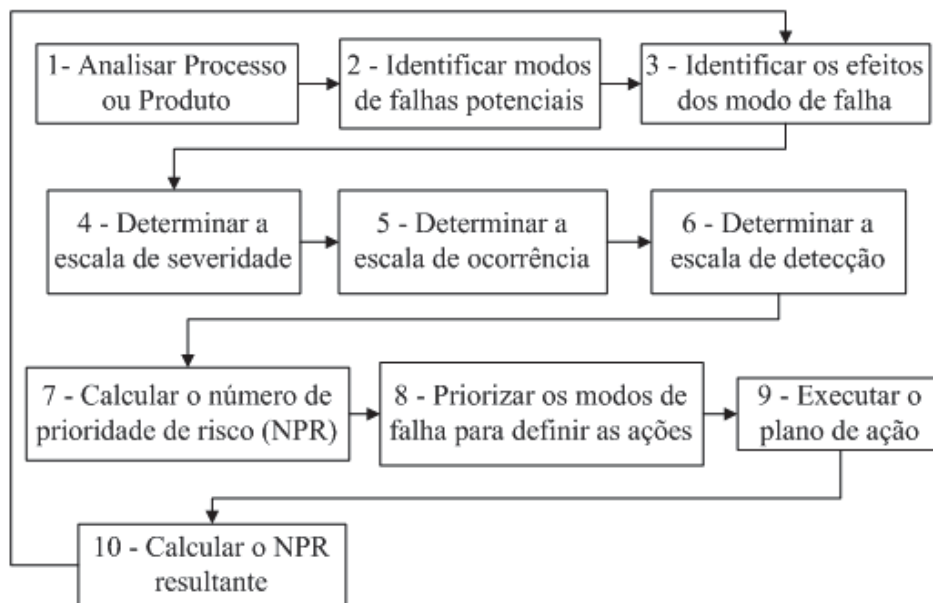
pode acontecer com o desenvolvimento deste modo de falha? O que isto causa no sistema? O que o cliente vê? Quais os danos que isso pode causar ao ambiente?

É um método de análise indutiva que considera todas as combinações possíveis de efeitos de um ou mais modos de falha de componente. Entretanto, precisa ter em mente que, um modo de falha é uma anomalia que ocorre em nível de componente e um efeito ocorre em nível de sistema. Esta anomalia deve ser caracterizada em termos de função ou especificações de projeto, processo ou uso.

Para o gerenciamento de falhas, o método faz uso da experiência de especialistas para determinar, de maneira sistemática, todos os possíveis modos de falhas primários e detectar os fatores mais críticos para a prevenção de riscos. Os modos de falhas são avaliados e ordenados por meio da prioridade de risco (RPN), obtido pela produção de três fatores de riscos, incluindo gravidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) de possíveis modos de falhas. Os fatores de riscos têm uma escala numérica discreta de 1 (nota mais baixa) a 10 (nota mais alta) para avaliar a criticidade de S, O e D.

A seguir, delineiam-se as principais etapas consideradas para o gerenciamento de falhas do método FMEA, *Failure Mode and EffectS Analysis* (Análise do Modo e Efeitos de Falha). A Figura 8 evidencia as principais etapas desse método.

Figura 8 – Etapas para a aplicação da FMEA



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Destaca-se que a relação entre modo de falha e efeito, se bem controlada, pode tornar-se uma ajuda para a análise da confiabilidade e também para os processos de manutenção a serem adotados. A dificuldade é grande neste relacionamento dado que diferentes modos de falha podem se manifestar da mesma maneira, ou seja, apresentam o mesmo efeito. Essa complexidade

toma-se ainda mais evidente quando da associação de um item a outro (VESELY et al., 1981).

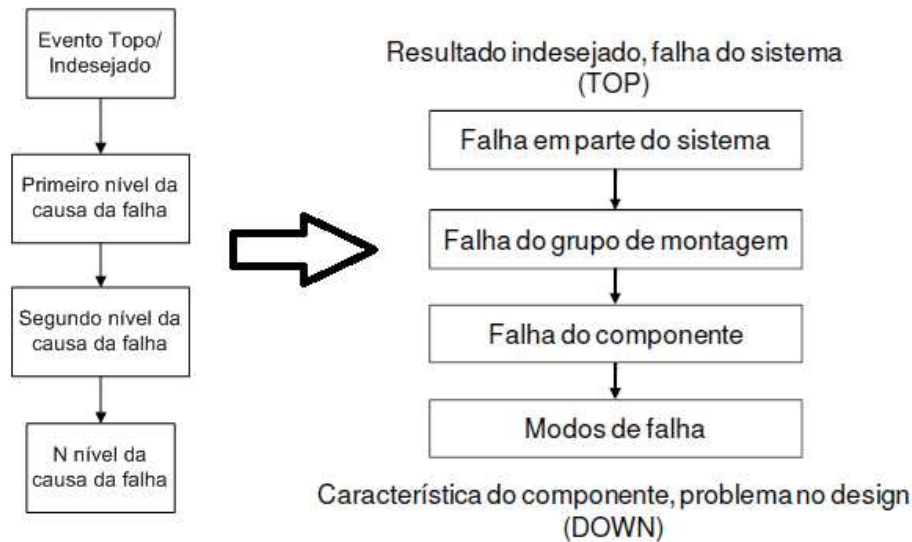
Outro ponto importante a ser abordado na análise do FMEA é a causa geradora do modo de falha. Embora muitos modos de falha sejam inerentes ao item em análise, o estudo das causas possibilita aprofundar a relação entre o item e a função e gerar procedimentos mais consistentes para aproveitar bem os efeitos, nas suas primeiras manifestações, no sentido de tomar as providências requeridas antecipando-se à perda da função devido à ocorrência do modo de falha.

O segundo artefato analisado relativo à gerenciamento de falhas, o método FTA, sigla para *Fault Tree Analysis* (Árvore de Análise de Falhas) (VESELY et al., 1981), busca identificar e gerenciar as possíveis causas de falhas indesejadas do sistema. Introduzida pela empresa Bell Telephone Laboratories, tem como principal função traduzir um processo físico em um diagrama lógico estruturado, chamado árvore de falhas, em que eventos mais simples conduzem a um evento mais complexo.

Nas árvores de falhas, as conexões lógicas entre falhas e suas causas são representadas graficamente. O FTA é dedutivo por natureza, o que significa que a análise começa com um evento principal (uma falha do sistema) e trabalha para trás do topo da árvore em direção às folhas da árvore para determinar as causas do evento principal. O evento topo representa uma condição indesejada do sistema, os eventos básicos representam os estados dos componentes do sistema, e as portas lógicas descrevem a combinação entre os eventos básicos para gerar o evento superior a eles.

Quando se tem uma porta lógica "E", para que ocorra um evento, todos os eventos básicos tem que acontecer simultaneamente. Quando se indica a porta lógica "OU", para que ocorra um evento, só é necessário a ocorrência de um evento básico. Após a identificação do estado indesejado, este é analisado quanto a probabilidade do evento ocorrer. Os resultados da análise mostram como diferentes falhas de componentes ou certas condições ambientais podem ser combinadas para causar a falha do sistema. A Figura 9 registra as principais etapas do método FTA (VESELY et al., 1981).

Figura 9 – Etapas para a aplicação da FTA



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Para determinar o comportamento da falha de um sistema e/ou elemento juntamente com suas conexões é definido, primeiramente, o evento indesejado. Após, deve-se analisar as possíveis falhas do próximo nível inferior do sistema e como elas poderiam ser conectadas com a falha superior. Este processo é repetido até o nível mais baixo do sistema ser atingido.

O método FTA é usado para identificar as combinações de falhas de componentes ou erros humanos que podem ocasionar em um evento indesejado (evento de topo). Após a escolha do evento de topo é determinado como os eventos de níveis inferiores, individuais ou combinados, causaram a falha no sistema.

Ressalta-se que a análise do tipo FTA pode ser qualitativa ou quantitativa (VESELY et al., 1981). Determinar a origem do problema corresponde a parte qualitativa da análise, permitindo um entendimento do como o sistema pode falhar e, portanto, determinar quais serão as medidas que podem ser tomadas para minimizar os efeitos e as consequências dos eventos indesejados. A avaliação quantitativa nos permite calcular a probabilidade de ocorrência do evento topo a partir de vários eventos básicos.

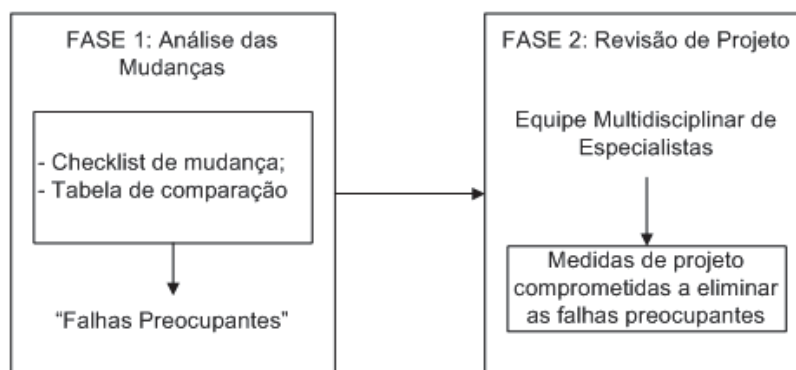
Os resultados do FTA mostram como diferentes falhas de componentes ou certas condições ambientais podem ser combinadas para causar a falha em sistema. Além disso, as saídas do método promovem um melhor entendimento de causas que podem levar a um modo de falha, com isso, permitindo uma tomada de decisão mais precisa.

O terceiro artefato identificado, DRBFM *Design Review Based on Failure Mode - Design Review Baseado no Modo de Falha*, objetiva descobrir as causas raiz das falhas e sugerir soluções para eliminá-las. Esse método visa solucionar falhas utilizando a experiência dos colaboradores para auxiliar na prevenção de falhas que venham a ocorrer na linha de produção. Proposto por

(SHIMIZU; YOSHIMURA, 2004) o método tem duas fases distintas para sua aplicação, a fase de análise das mudanças e a fase de revisão do projeto.

Na primeira fase, análise das mudanças, é elaborado um *checklist* de mudança e uma tabela de comparação com os detalhes das mudanças contendo como era a construção anteriormente as mudanças. Essa fase é realizada individualmente pelo engenheiro responsável pelo projeto. Na segunda fase, são identificadas as causas raiz das falhas potenciais, as medidas necessárias para eliminar as falhas ou pontos preocupantes. A Figura 10 registra as principais etapas do método DRBFM.

Figura 10 – Etapas do método DRBFM



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Na fase 2, um time multidisciplinar de especialistas realizam um *brainstorming* para analisar as causas técnicas das falhas identificadas na primeira fase e propor ações que evitem a ocorrência de falhas decorrentes das modificações. Nessa fase é possível identificar prováveis modo de falha não identificados na fase anterior, determinar quais os efeitos e possíveis causas para posterior ações preventivas.

O DRBFM leva em conta que uma discussão está relacionada diretamente com a prevenção e, principalmente, antecipação de problemas que possam vir a ser ocasionados por uma falha. Ou seja, o objetivo é identificar e eliminar todos os possíveis riscos causados por uma falha, deixando todas as mudanças visíveis por meio da comparação entre o estado atual e o estado proposto. Isto posto, como não há um único método para gerenciamento de falhas, analisa-se a literatura a fim de comparar os métodos selecionados. O Quadro 13 apresenta os estudos analisados, evidenciando as etapas do método e a frequência com que cada método aparece.

Quadro 13 – Classe de problema e artefatos identificados

| RSL Classe de Problema | Etapas | Ferramentas, técnicas e documentos | FMEA | FTA | DRBFM | |
|------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|-----|-------|---|
| Gerenciamento de falhas | Identificação das falhas | Identificação dos modos de falha | Experiência especialistas | X | | |
| | | | Evento indesejado | | X | |
| | | | Análise das mudanças | | | X |
| | | Identificação da probabilidade de ocorrência | | X | X | |
| | | Identificação da combinação de falhas | | X | | |
| | Priorização das falhas | Mapeamento e análise das possíveis causas | | X | X | |
| | | Priorização das falhas e riscos | X | | | |
| | Envolvimento especialistas | Envolvimento dos especialistas para análise das falhas e tomada de ação | X | X | X | |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Ao longo da revisão sistemática de literatura, são identificadas e analisadas as principais fases e etapas dos métodos. Entretanto, as ferramentas, as técnicas e os documentos considerados em cada etapa não se mostram uniformes. Somente o objeto de análise, identificação e gerenciamento de falhas, figura nos métodos examinados.

A etapa de identificação das falhas é classificada como principal para a construção do método. Isso porque, uma definição detalhada e clara repercute diretamente no resultado da aplicação do método. A etapa de priorização das falhas sintetiza condições necessárias do método, porém não se constata uniformidade nos parâmetros e nas ferramentas observadas.

O envolvimento dos especialistas, aspecto comum entre os métodos, evidência a necessidade de um conhecimento especializado para auxiliar na identificação das falhas e na definição de ações para a tomada de decisão. Entretanto, o envolvimento dos especialistas não pode ser o único recurso para auxiliar na identificação da falha. A dependência por especialistas como fonte de informação única podem levar a uma avaliação imprecisa da falha (QIN; XI; PEDRYCZ, 2020). Além disso, informações referentes a falhas identificadas no passado muitas vezes são perdidas ou não conhecidas quando ocorre a troca ou a substituição de especialistas (LEE; BAGHERI; JIN, 2016b).

Outra questão identificada refere-se ao fato dos métodos não fazerem uso de soluções já aplicadas e testadas para a resolução da falha, o que muitas vezes acaba gerando retrabalho que pode ser evitado. Como forma de minimizar esse tipo de retrabalho é importante incluir soluções robustas testadas e validadas para falhas já conhecidas.

Para isso, evidências provenientes da literatura tem um papel muito importante, uma vez que são oriundas de resultados de pesquisas científicas e cada vez mais passam por uma criteriosa validação (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014). Além disso, novas pesquisas estão sempre sendo produzidas o que auxilia na efetividade da solução identificada e subsidia uma tomada de decisão precisa (YASSERI, 2015).

Ademais, não está claro nos artefatos pesquisados como ocorre a validação das informações prestadas pelos especialistas envolvidos. Por se tratarem de métodos que buscam a melhoria contínua por meio do gerenciamento de falhas, se faz necessário a validação das informações prestadas pelos especialistas, como forma de evitar que problemas passados venham a ocorrer por falta de confiabilidade e validade das informações. O Quadro 14 aborda resumidamente as características principais das técnicas pesquisadas.

Quadro 14 – Resumo das técnicas pesquisadas

| | Objetivo | Procedimentos | Características |
|--------------|---|---|---|
| FMEA | <ul style="list-style-type: none"> - Identificar as falhas críticas em cada componente, suas causas e consequências. - Hierarquizar as falhas. - Analisar a confiabilidade do sistema. | <ul style="list-style-type: none"> - Analisar todos os componentes identificados na causa raiz da falha. | <ul style="list-style-type: none"> - Pode ser utilizado na análise de falhas simultâneas ou relacionadas. - Todos componentes são passíveis de análise. |
| FTA | <ul style="list-style-type: none"> - Identificar as causas primárias das falhas. - Elaborar uma relação lógica entre falhas primárias e falha final do produto. - Analisar a confiabilidade do sistema. | <ul style="list-style-type: none"> - Analisar todos os componentes identificados na causa raiz da falha. | <ul style="list-style-type: none"> - Melhor método de análise individual de uma falha específica. - O enfoque na falha final do sistema. |
| DRBFM | <ul style="list-style-type: none"> - Identificar a causa raiz da falha. - Elaborar uma relação entre a mudança e a possível ocorrência de falhas. - Listar medidas para eliminar as falhas preocupantes. | <ul style="list-style-type: none"> - Analisar todas as mudanças que podem gerar falhas. | <ul style="list-style-type: none"> - Antecipação das falhas. - Aplicação permanente nas atividades diárias. - Analisa mudanças em projetos estabelecidos e também para determinar ações de melhoria. |

Fonte: Elaborado pela autora.

As técnicas pesquisadas apresentam suas abordagens de utilização de uma forma lógica e racional, que, sucintamente, consiste em ordenar os fatos, analisar e propor ações. Especificamente, cada um dos métodos possuem maneiras diferentes de obter as informações para posterior análise e tomada de decisão.

O ponto em comum com os métodos pesquisados é que de alguma forma eles auxiliam na identificação e redução dos riscos que uma falha potencial pode causar, permitindo ações corretivas. O Quadro 15 apresenta a análise dos artefatos tendo como referencia os pontos fracos e fortes dos métodos levantados e analisados na revisão sistemática da literatura.

Quadro 15 – Pontos fracos e fortes das técnicas pesquisadas

| | Pontos Fortes | Pontos Fracos |
|--------------|---|--|
| FMEA | <ul style="list-style-type: none"> - Envolvimento dos especialistas. - Padronização dos processos e documentos. | <ul style="list-style-type: none"> - Desempenho depende da qualidade do conhecimento especializado. O conhecimento e experiência profissional limitados, levam a avaliação imprecisa e incompleta dos membros da equipe (QIN; XI; PEDRYCZ, 2020). - Confiabilidade e qualidade dos dados. - Imprecisão na avaliação das pontuações (CHIN et al., 2009). - Fatores de risco são difíceis de avaliar com precisão (LIU et al., 2012) |
| FTA | <ul style="list-style-type: none"> - Proporciona um encadeamento lógico das falhas, possibilitando a visualização das correlações (VESELY et al., 1981). | <ul style="list-style-type: none"> - Custo de aplicação e necessidade de um tempo mínimo para aplicar minuciosamente (PEETERS; BASTEN; TINGA, 2018). - Não consegue prever falhas em cenários dinâmicos. |
| DRBFM | <ul style="list-style-type: none"> - Forte envolvimento dos especialistas. - Estabelecimento de padrões e regras de projeto (SHIMIZU; YOSHIMURA, 2004). | <ul style="list-style-type: none"> - Aproveitamento total do método depende diretamente da experiência dos profissionais envolvidos. |

Fonte: Elaborado pela autora.

O próximo item da pesquisa apresenta os principais aspectos identificados nos métodos analisados. Os pontos fortes auxiliaram a identificar a importância do artefato e a consolidar os aspectos positivos na proposição do artefato. Os aspectos classificados como pontos fracos proporcionaram melhorias e cuidados na construção do artefato.

4.2 Síntese dos Artefatos Estudados

Analisando os objetos de estudo selecionados, constata-se que, apesar de serem métodos ainda utilizados, conjunto com outras técnicas ou individualmente, algumas abordagens alternativas foram sugeridas na literatura com intuito de resolver alguns pontos deficitários dos métodos. Na análise dos artefatos, verifica-se que a classes de problemas identificação das falhas está presente em todos os métodos, contudo o detalhamento (completo ou incompleto) revela-se como o diferencial entre eles.

Convém mencionar que métodos que não apresentam um detalhamento inicial do objetivo, causas da falha, efeito e envolvidos podem gerar distorções no resultado pela falta de compreensão dos elementos considerados na aplicação do método. Além disso, a falta de entendimento pode gerar lacunas na aplicação, comprometendo os objetivos reais da utilização, e

como consequência, impactando na tomada de decisão.

Na classe de problema priorização das falhas não há um consenso ou uniformidade entre os métodos. Entretanto o seu mapeamento acontece e deve ser documentado. Há, ainda, o reconhecimento da importância da documentação. É baseado nestes históricos que os programas de manutenção, testes, programas de capacitação serão desenvolvidos.

Especificamente para o artefato FMEA, a priorização das falhas é definida pelos integrantes da equipe, os quais atribuem a nota que julgam mais pertinente, de acordo com a sua opinião. Esse tipo de análise pode ser tendenciosa e parcial, levando a um potencial de subjetividade da ferramenta.

Entretanto, destaca-se a importância e necessidade de discutir a subjetividade por meio da análise de concordância das opiniões dos especialistas envolvidos. Ademais, a preocupação com a qualidade e a confiança nas informações provenientes de especialistas se faz necessário. Isso porque os resultados da aplicação dos métodos estão diretamente ligados ao sucesso da identificação e priorização dos riscos e as ações que surgem desta avaliação, para tratar as causas destes problemas potenciais de maneira otimizada, no menor tempo e custo.

Diante do exposto, para a proposição do artefato desta pesquisa concentra-se na classe de problema que se refere a identificação e gerenciamento de falhas. Para auxiliar na proposição do método da presente pesquisa, os métodos são analisados a partir de suas contribuições, limitações, motivações e ferramentas, de modo que possam ser identificados os elementos fundamentais de um método de tomada de decisão para o gerenciamento de falhas. As limitações são consideradas na construção do novo método, ou seja, busca-se avançar no sentido de superá-las.

A principal limitação identificada entre os métodos analisados repercute na falta de uma análise crítica das informações prestadas pelos especialistas. Os métodos apontam a necessidade de envolvimento de uma equipe multidisciplinar para, com a sua experiência, auxiliar na tomada de decisão para a prevenção de falhas, mas em suas etapas/fases não está evidente a realização de uma avaliação crítica da confiabilidade e relevância da informação prestada.

A utilização de uma equipe multidisciplinar está presente em todos os métodos, porém o conhecimento da equipe como fonte única de informação (completa ou incompleta) revela-se como uma deficiência presente nos métodos. Convém aduzir que métodos que não utilizam outras formas de informação para auxiliar na tomada de decisão podem gerar distorções nos resultados pela falta de compreensão dos envolvidos ou até mesmo conflitos de interesses.

Além disso, outra limitação identificada é como os métodos gerenciam as mudanças que podem acontecer, ao longo do tempo, com os especialistas, bem como a forma que ocorre a incorporação do conhecimento tácito dos envolvidos para ser utilizado como ferramenta na resolução de problemas futuros. Os métodos não apontam a utilização do conhecimento adquirido proveniente de falhas que ocorreram em outras plantas produtivas com características semelhantes, como fonte de informação para auxiliar na tomada de decisão.

Diante do exposto, o método proposto nesta pesquisa pretende avançar nesse aspecto, apresentando, em sua proposta, a gestão baseada em evidências como recurso para adquirir e avaliar criticamente as decisões tomadas utilizando evidências. Para tanto, a proposta é vincular a utilização de evidências consolidadas para auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão, contemplando a priorização de medidas para melhorar o desempenho de um produto ou sistema, eliminando ou reduzindo as falhas.

Essa prática ajuda a despertar o potencial do uso das evidências e *expertise* no processo decisório, além de analisar o resultado das decisões tomadas com o objetivo de replicabilidade da tomada de decisão. Isso se faz necessário uma vez que é preciso que ocorra a transformação de tomada de decisão baseada em máquina para baseada em evidência (LEE; BAGHERI; JIN, 2016b).

Conforme Lee et al. (2016) o gerenciamento do sistema de fabricação depende muito de pessoas experiente, com uma grande riqueza de conhecimento, *know-how* e compreensão, que será perdida com o tempo. Portanto, é necessário um sistema analítico inteligente para transformar o conhecimento baseado na experiência e suportar a tomada de decisão baseada em evidências.

Além disso, para o método proposto, constata-se a necessidade de incluir no processo decisório informações existentes fora dos limites da indústria. Essas informações, provenientes da literatura científica, auxiliaram os gestores na tomada de decisão. Apesar da enorme quantidade de pesquisas sobre as diversas áreas e problemas da indústria, os gestores raramente baseiam suas decisões em evidências científicas (LEE; BAGHERI; JIN, 2016b).

Em vez disso, geralmente tomam decisões com base em evidências fracas, como preferência pessoal e experiência não sistemática (PEFFERS et al., 2007), (ROUSSEAU, 2006). Dessa forma, para o presente trabalho, a evidência científica é vista como uma alternativa a ser considerada pelos gestores no âmbito da tomada de decisão.

Ademais, organizações que almejam realizar as mudanças necessárias para transformar na fábrica do futuro precisam repensar a forma que ocorre a tomada de decisão. Informações desatualizadas, observação individual e provas sem validação, podem gerar uma compreensão errônea do problema, levando a uma baixa performance da organização e até mesmo à descontinuidade de um produto/serviço.

5 PROPOSIÇÃO DO MÉTODO E PROTÓTIPO COMPUTACIONAL PARA O GERENCIAMENTO DE FALHAS

Nesta seção, descreve a construção do método baseado em evidências para auxiliar na tomada de decisão no gerenciamento de falhas. Além disso, as etapas utilizadas para a construção do protótipo computacional são descritas. Para o desenvolvimento do trabalho utiliza-se conceitos apresentados nos capítulos anteriores, visando cumprir os objetivos definidos nessa tese.

5.1 Processo Construtivo do Método

Para a construção do método optou-se pelo ciclo de melhorias realizadas, tendo como principal critério a utilização da gestão baseada em evidências para auxiliar no gerenciamento de falhas. Para isso, os requisitos contemplam alguns aspectos, não limitados apenas esses, conforme apresentado no Quadro 16.

Quadro 16 – Principais requisitos para desenvolvimento do artefato

| Requisitos | Referências |
|--|---|
| Envolvimento dos especialistas | TIAN; WANG; ZHANG, 2018; LO et al., 2019. |
| Aquisição do conhecimento (Evidências) | BABA; HAKEMZADEH, 2012; BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014; YASSERI, 2015. |
| Confiabilidade e relevância da informação | PFEFFER; SUTTON, 2006; BRINER; BARENDS, 2016. |
| Mapeamento e análise das possíveis causas | VESELY et al., 1981; SHIMIZU; YOSHIMURA, 2004; LO et al., 2019 . |
| Pessoas capazes e com conhecimento técnico para identificação e entendimento do problema que precisa ser resolvido | |

Fonte: Elaborado pela autora.

Os principais requisitos para a proposição do método, apresentado no Quadro 16, são estabelecidos por meio da análise dos métodos apresentados no Capítulo 4 e as etapas da abordagem baseada em evidências. Sua relevância foi estabelecida de acordo com o vínculo que apresentam com os objetivos do presente trabalho, bem como a frequência com que são identificados nos métodos analisados.

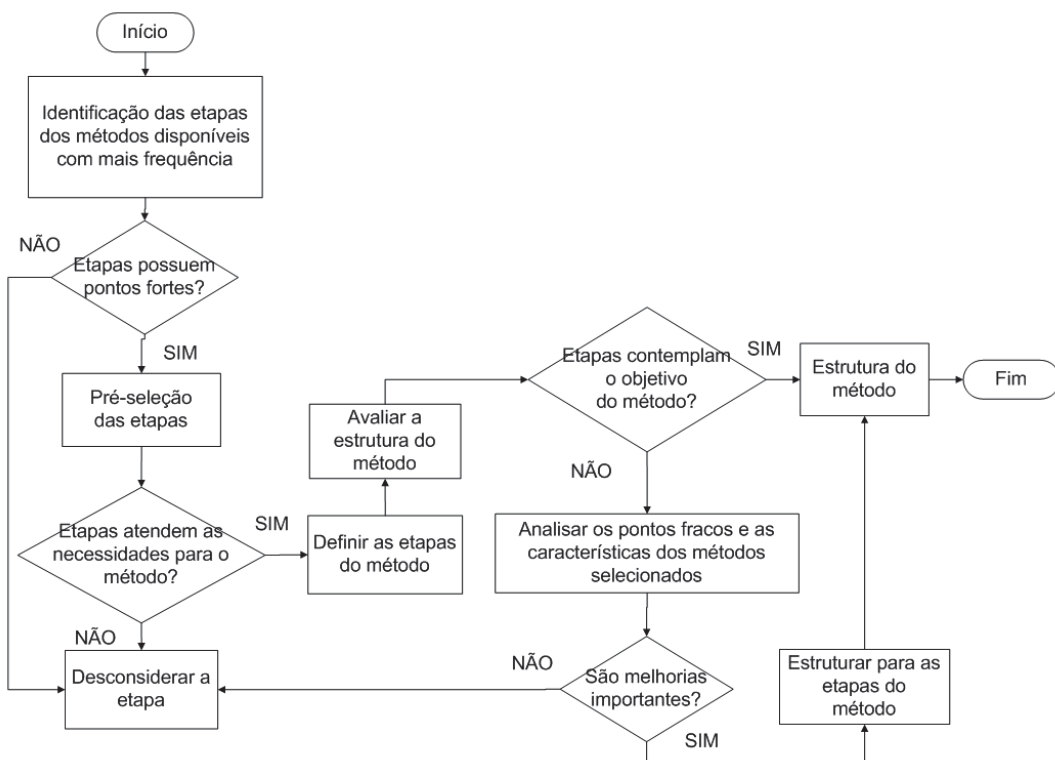
Vale destacar que alguns elementos da construção do método provêm de requisitos necessários para operacionalização da ferramenta e contemplam pessoas e recursos necessários à

aplicação, acesso aos dados e comunicação. Esses elementos são meios e recursos disponíveis no ambiente de negócios, devendo ser contemplado nas rotinas operacionais e administrativas.

Ademais, a estrutura do método tem como objetivo estabelecer um procedimento estruturado para auxiliar no diagnóstico de falhas e na tomada de decisão. Portanto, o alvo do método é um sistema produtivo, independente do segmento, do tamanho e das suas estratégias de negócio.

Isto posto, a construção do método proposto leva em consideração: i) a análise dos métodos disponíveis com suas etapas, pontos fortes e fracos; ii) as etapas do método da gestão baseada em evidências e iii) as necessidades inerentes ao objeto de estudo. A Figura 11 apresenta as etapas utilizadas para guiar a construção do método proposto.

Figura 11 – Fluxograma de construção do método

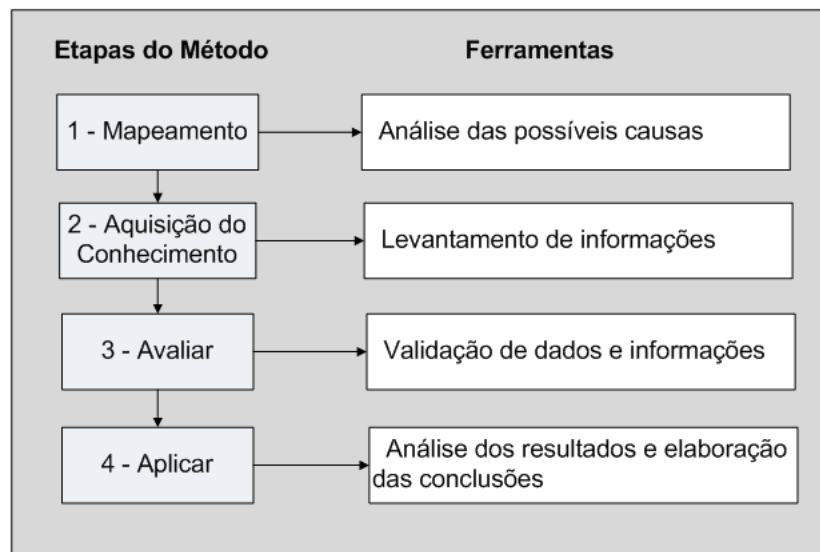


Fonte: Desenvolvido pela autora.

Contudo, o desenvolvimento do método ocorreu em três ciclos evolutivos. O primeiro estrutura-se com base em elementos chaves extraídos na revisão sistemática da literatura. Os demais ciclos surgiram da necessidade de refinamento das etapas conforme as necessidades elicítadas nos requisitos. A cada etapa adiciona-se um único elemento considerado necessário segundo critérios que visam aperfeiçoar a solução esperada.

Assim, a construção do método considera os pontos fortes e fracos e a abrangência dos requisitos do método. O resultado dessa fase permite identificar as etapas e o seu sequenciamento. A Figura 12 apresenta as etapas do método e suas características no primeiro ciclo evolutivo.

Figura 12 – Primeira versão do método proposto



Fonte: Desenvolvido pela autora.

A versão inicial do método apoia as etapas essenciais à construção dos demais ciclos. No Quadro 17, as etapas apresentam-se vinculadas à entrada, à saída e as ferramentas passíveis de utilização para execução da etapa.

Quadro 17 – Requisitos para desenvolvimento do artefato

| Etapas | Entrada | Saída | Ferramenta |
|-------------------------------|---|-----------------------|---|
| 1 - Mapeamento | Identificar o problema | Problema mapeado | Reunião com a equipe estratégica e operacional da empresa |
| 2 - Aquisição do conhecimento | Identificar as ações realizadas para o problema | Evidência | Evidências profissionais Organização Stakeholders |
| 3 - Avaliar | Evidências | Evidência consolidada | - |
| 4 - Aplicar | Evidência consolidada | Tomada de decisão | Relatório com análise dos resultados e elaboração de conclusões |

Fonte: Elaborado pela autora.

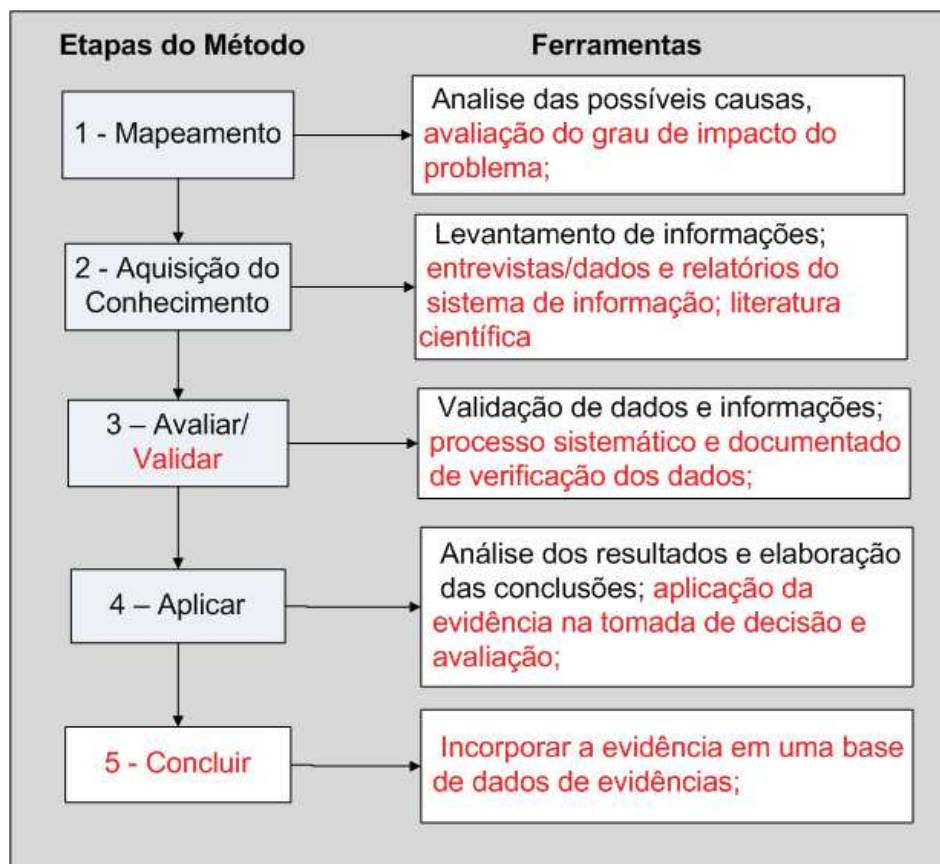
Com intuito de atender os objetivos, há necessidade de incorporar o resultado final das fases em uma base de evidências. Além disso, as etapas explicitadas são úteis, entretanto, tens a premência de identificar ferramentas robustas e adequadas ao atendimento dos requisitos do método.

Além disso, durante o processo de revisão sistemática da literatura pode-se observar a necessidade de validação dos dados e das informações utilizadas para a identificação das falhas. A validação dos dados é uma etapa importante em qualquer processo decisório dentro de uma

indústria. Mas, para que tais informações sejam relevantes e possam garantir retornos positivos para o negócio, é essencial que a organização se certifique da qualidade dos dados. Isso significa consultar a procedência dos fatos, verificar a composição dos elementos e avaliar a consistência das informações disponíveis.

Isso posto, desenha-se o segundo ciclo de refinamento do método, com a inclusão das necessidades levantadas no primeiro ciclo de refinamento. A Figura 13 apresenta a segunda versão do método, contemplando seis etapas e as melhorias identificadas.

Figura 13 – Segunda versão do método proposto



Fonte: Desenvolvido pela autora.

As etapas e ferramentas previstas na segunda versão, são inseridas com intuito de aperfeiçoar o método. Assim, cada etapa do método apresenta-se vinculada às justificativas de alterações, inserções e complementações.

Para o **mapeamento**, etapa 1 desta versão do método, evolui-se aspectos da análise das possíveis causas do objeto, de modo a se considerar a avaliação do grau de impacto do problema como ferramenta para auxiliar os gestores a entender quais seriam os impactos sobre a produção e o cliente caso o processo venha a falhar, e até mesmo, a fim de garantir que todas as ações possíveis para evitar a repetição no futuro, sejam implementadas.

A avaliação do grau de impacto do problema é a forma de classificar a consequência dos

efeitos da falha (LIU et al., 2015). Para esse trabalho, essa etapa foi baseada na compilação das pesquisas dos autores (BARENDS et al., 2012), (BAHRAMI; BAZZAZ; SAJJADI, 2012), (PALADY, 1997). A avaliação do grau de impacto do problema objetiva identificar riscos emergentes que possam vir a prejudicar a produtividade da indústria e ainda causar outros problemas, tais como perda direta ou indireta de recursos financeiros, acidentes, entre outros.

Dessa forma, o processo de classificação do grau de uma falha desenvolvido tem como referência de pontuação dez níveis, sendo a nota um para o menos grave e a nota dez para o mais grave. A Tabela 1 apresenta a referência para pontuação do grau de impacto tendo como critério a consequência da falha.

Tabela 1 – Avaliação do grau de impacto do problema

| Consequência da Falha | Grau de Impacto | Pontuação |
|-----------------------|---|-----------|
| Sem efeito relevante | Nenhum | 1 |
| Pouco efeito | Quase nenhum | 2 |
| Extremamente baixa | Esforço extra para produzir sem atrasos | 3 |
| Muito Baixa | Curto atraso no processo | 4 |
| Baixa | Moderado atraso no processo | 5 |
| Moderada | Longo atraso no processo | 6 |
| Alta | Rejeição de produtos produzidos | 7 |
| Muito Alta | O cliente percebe o defeito | 8 |
| Extremamente Alta | Falhas que não atendem as normas legais | 9 |
| Perigosamente Alta | As pessoas podem ficar gravemente feridas | 10 |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Destaca-se que não existe uma definição ou abordagem universal acordada para determinar o grau de impacto do problema. A pergunta que deve ser feita para identificar este possível efeito é: caso a falha potencial ocorra, qual o efeito causado? A definição do grau de impacto do problema deve ser definido pelos especialistas, em comum acordo dentro da equipe, conforme a escala de valores.

Além disso, como forma de confirmar a escolha dos especialistas é recomendado que seja realizado a avaliação de concordância com o auxílio do Coeficiente de Concordância W de Kendall. O coeficiente de concordância de W Kendall foi desenvolvido por Kendall e Babington-Smith em 1939 (KENDALL; SMITH, 1939) e permite a análise de concordância entre dois ou mais especialistas.

Conforme Siegel e Castellan (1988), o coeficiente W de Kendall é frequentemente denotado por W e tem seu valor compreendido entre 0 e 1, onde 0 representa ausência total de concordância e 1 representa concordância perfeita. O coeficiente de concordância é calculado a partir da escala de pontuação do grau de impacto do problema, onde os especialistas irão determinar o grau de importância 1 (menor importância) à 10 (maior importância) para cada pontuação (SIEGEL; JR, 1988). A Figura 14 exemplifica a forma que as informações precisam

ser organizadas.

Figura 14 – Disposição dos dados para análise

| Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|
| Grau de Impacto do Problema | | | | | | | | | | |
| Pontuação | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Especialista 1 | | | | | | | | 10 | | |
| Especialista 2 | | | | | | | | | | |
| Especialista 3 | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |
| Especialista n | | | | | | | | | | |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Para determinar W é necessário realizar a soma dos postos Rj para cada coluna da Figura 14. De posse desses valores, é possível calcular W conforme a equação (1):

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}k^2(n^3 - n)} \tag{1}$$

Onde:

s = soma dos quadrados dos desvios observados a contar da média dos Rj, dado por:

$$S = \sum (R_j - \frac{\sum R_j}{n})^2 \tag{2}$$

k = número de especialistas.

n = tamanho da amostra.

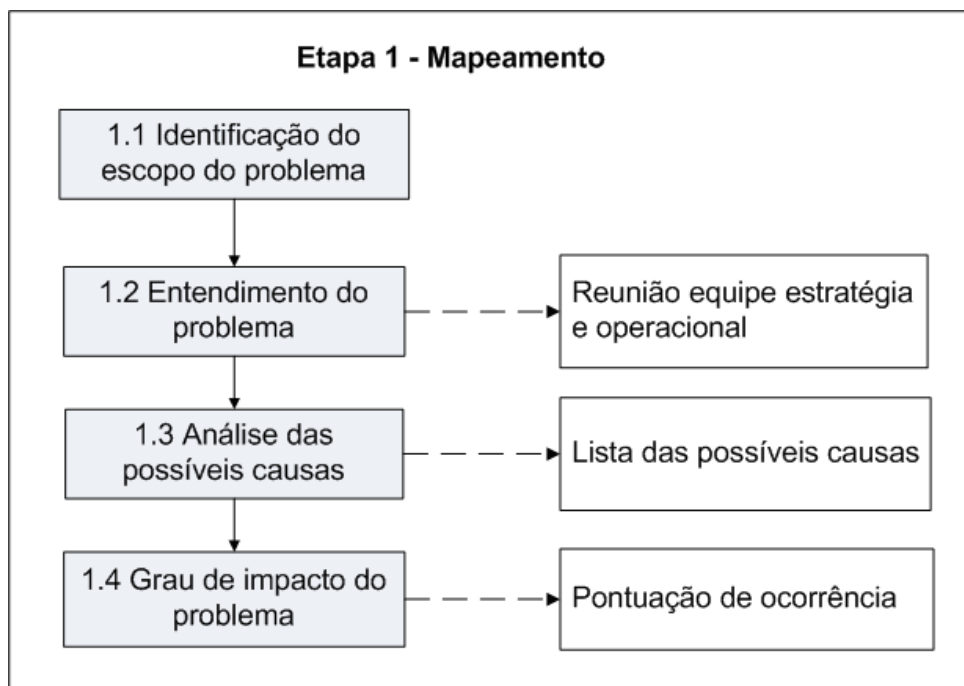
O valor de W de Kendall resultante pode variar em uma escala de 0 até 1, quanto maior for o valor de W (próximo de 1) mais forte é a concordância entre os especialistas. Entretanto, um valor significativo de W pode indicar que os especialistas estão aplicando os mesmos padrões ao determinar os valores.

Assim, podem não significar que as ordenações feitas sejam corretas. Elas podem ser todas incorretas em relação a algum critério externo. Conforme Kendall et. al (1939), é possível que diversos especialistas concordem quanto a classificação porque todos empregam o mesmo critério "errado". Nesse caso, um valor alto de W pode significar concordância na escolha do critério errado. Após a identificação do problema, a saída dessa etapa do método proposto é o problema identificado e consolidado pelos usuários interessados na informação.

Essa etapa é importante uma vez que a definição precisa do problema e a qualidade da análise resultante nessa etapa, irá impactar positivamente ou negativamente as etapas posteriores do método. Para isso, é necessário que haja envolvimento de uma equipe formada por especialistas que possuem amplo conhecimento do processo para permitir a identificação e entendimento do real problema.

Ademais, se a definição e o entendimento do contexto do problema estiver claro entre os envolvidos e apresentar informações de qualidade para o compreensão do problema, os resultados tendem a ser mais precisos e confiáveis, dando segurança à tomada de decisão. Dessa forma, a etapa um do método proposto apoia-se em algumas atividades. A Figura 15 apresenta o detalhamento das fases que compunham a Etapa 1 - Mapeamento, do método proposto.

Figura 15 – Detalhamento Etapa 1 - Mapeamento



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Na etapa 2, **aquisição do conhecimento**, a ênfase na identificação de ações e informações utilizadas para resolver o problema se vincula na aquisição de evidências, com intuito de buscar respostas para o problema identificado. Nesse âmbito, a segunda versão do método contempla a utilização de evidências como uma abordagem que tenta melhorar a qualidade das decisões tomadas.

Para isso, informações provenientes da experiência profissional dos envolvidos, dos *stakeholders*, da organização e da literatura científica serão as fontes responsáveis pelas evidências. Destaca-se que as evidências originárias da organização (dados financeiros, dados estatísticos, relatórios, medidas de negócios, etc) são vistas como essenciais para auxiliar a determinar possíveis causas e possíveis soluções para o problema.

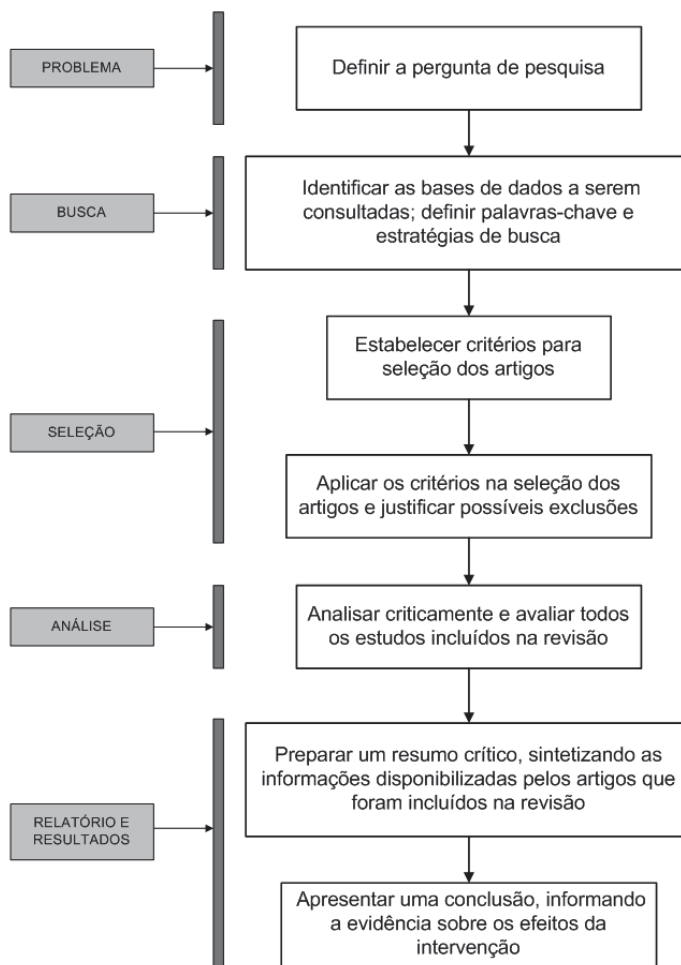
Já as evidências provenientes da literatura - evidências científicas - são resultados de estudos empíricos publicados em revistas acadêmicas. Esses estudos são resultantes do conhecimento e habilidade de acadêmicos e consultores. A justificativa para agregar a evidência científica no contexto industrial ocorre tendo em vista que novas pesquisas estão sempre sendo produzidas, e muitas vezes mudando a compreensão de determinado problema (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014), além de proporcionar o acesso aos mais recentes resultados de pesquisas e a novas metodologias.

Ademais, destaca-se que a utilização de evidências é uma evolução na prática de gestão. Entretanto, algumas atividades são fundamentais no exercício diário da tomada de decisão, a saber: i) utilização da melhor descoberta disponível; ii) organização de fatos organizacionais, indicadores e métricas de forma sistemática para aumentar a sua confiabilidade e utilidade; e iii) utilização da crítica, reflexão e auxílios de decisão, com o objetivo de reduzir o preconceito e melhorar a qualidade da decisão.

Vale ressaltar que, embora as evidências científicas auxiliem na tomada de decisão, não substituem o conhecimento e a experiência dos envolvidos no processo. Sua aplicação deve ser apoiada na integração das evidências com as práticas diárias e as *expertise* dos especialistas. Dessa forma, a etapa dois do método tem como principal ferramenta para levantamento das evidências com os profissionais e os *stakeholders* a entrevista.

Como forma de auxiliar no levantamento das evidências resultantes da literatura científica faz-se uso da revisão sistemática da literatura (RSL). As etapas propostas para auxiliar na identificação dos estudos foram fundamentadas na compilação dos estudos propostos por (DENYER; TRANFIELD, 2009) e (LITTELL; CORCORAN; PILLAI, 2008). A Figura 16 apresenta uma descrição geral das etapas necessárias para o processo de revisão sistemática da literatura.

Figura 16 – Etapas norteadoras da RSL



Fonte: Desenvolvido pela autora.

A **primeira etapa** consiste em definir a pergunta de pesquisa. Como em qualquer investigação científica, uma boa RSL requer uma pergunta bem formulada e clara. Nesse contexto, propõem-se a utilização da lógica CIMO - *Context, Intervention, Mechanism and Outcomes*, proposta por Denyer, Tranfield e Van Aken (2008), para auxiliar na elaboração da pergunta de pesquisa.

A lógica CIMO foi escolhida para orientar o desenvolvimento da pergunta de pesquisa, pois é uma estrutura que busca a compreensão da pesquisa na área de gestão, principalmente por meio do entendimento das intervenções e seus principais resultados em determinado contexto (HOLMSTRÖM; TUUNANEN; KAUREMAA, 2014). Ressalta-se que a pergunta de pesquisa precisa descrever as características de cada uma das dimensões exploradas pela lógica CIMO, conforme apresentado no Quadro 18.

Quadro 18 – Componentes da pergunta de pesquisa com base no CIMO

| Componente | Definição |
|---------------------------|---|
| C – Contexto | Fatores do ambiente e os atores que influenciam a mudança. |
| I – Intervenção | Soluções que podem ser implementadas nas empresas com o intuito de alterar situações, gerando resultados. Devem ser avaliadas em termos de forma, função e também em como são implementadas em instâncias específicas. |
| M – Mecanismos | Os mecanismos podem ser compreendidos como a forma como os artefatos estão internamente organizados para a intervenção em si. Auxilia a explicar como e porquê determinado resultado foi obtido. |
| O – Outcomes (resultados) | São os resultados desejados, ou não, obtidos a partir da intervenção. Considera os impactos da intervenção na tomada de decisão, bem como a adoção da solução pelos stakeholders e as mudanças de performance percebidas. |

Fonte: adaptado de Denyer, Tranfield e Van Aken (2008).

Por conseguinte, na **segunda etapa** ocorre a busca por evidências em base de dados eletrônica. Para isso, a busca tem início com a definição de termos ou palavras-chave, seguida das estratégias de busca, definição das bases de dados e de outras fontes de informação a serem pesquisadas. Nesse trabalho sugere-se como base de dados para pesquisa, mas não limitado a esses, as bases SciELO, ERIC - Educational Resources Information Center, o Google Acadêmico, Science.gov, ScienceResearch e SBRT (Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas).

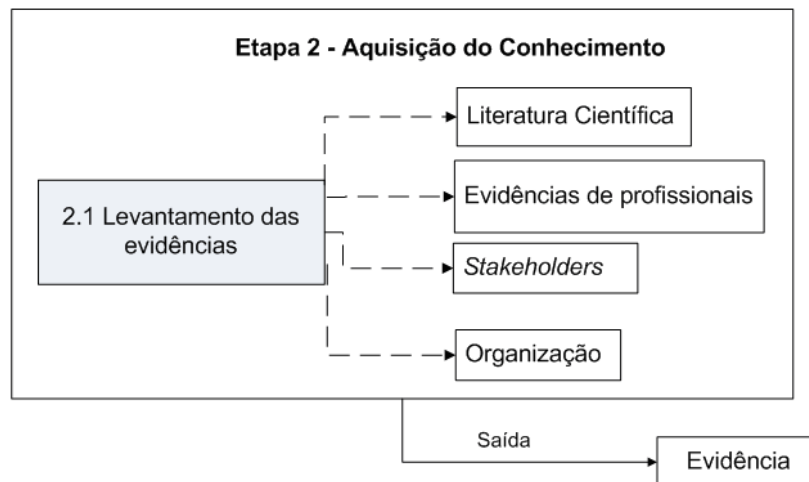
Na **terceira e quarta etapa** durante a seleção dos estudos, a avaliação dos títulos e dos resumos identificados na busca inicial deve ser feita obedecendo aos critérios de inclusão e exclusão. Quando o título e o resumo não são esclarecedores, deve-se buscar o artigo na íntegra, para não correr o risco de deixar estudos importantes fora da revisão sistemática.

Nas etapas subsequentes, **quinta e sexta etapa**, é realizada a análise da qualidade metodológica dos estudos. Nesta fase é importante que considerem todas as possíveis fontes de erro, que podem comprometer a relevância do estudo em análise. Além disso, é importante incluir detalhes sobre a avaliação da qualidade, como fontes de viés ou informações ausentes. Da mesma maneira, todas as decisões tomadas sobre a exclusão de pesquisas devem ser registradas (BORREGO; FOSTER; FROYD, 2014). Um conhecimento aprofundado de métodos de investigação e de análise estatística, bem como das medidas ou dos instrumentos de mensuração empregados, é requisito importante para o andamento da seleção da evidência.

Por fim, a **sétima e última etapa** consiste em apresentar os resultados do trabalho selecionado. Os artigos incluídos na revisão sistemática podem ser apresentados em um quadro que destaca suas características principais, assim como os resultados positivos e negativos. É importante apresentar também os resultados negativos dos estudos, já que os profissionais envolvidos necessitam dessa informação para mudar a sua prática, se for o caso. Publicar nas

revisões sistemáticas os aspectos positivos e negativos das intervenções/tratamento só aumentará o conhecimento a respeito da sua eficácia e da sua limitação (LAW; PHILP, 2002). Diante do exposto, a Figura 17 apresenta o detalhamento da Etapa 2 do método proposto.

Figura 17 – Detalhamento Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento



Fonte: Desenvolvido pela autora.

A avaliação e validação das evidências foi contemplada na etapa 3, **avaliar/validar**, tendo como finalidade analisar criticamente a confiabilidade das informações e a relevância das evidências que foram adquiridas na etapa anterior. Essa etapa é extremamente importante, uma vez que é a partir dessa avaliação que criará embasamento para que uma determinada evidência seja considerada como ideal para um cenário específico.

É, portanto, nessa fase que será estabelecido se uma determinada evidência é ou não a mais indicada para o momento. Com essa avaliação é possível garantir ao gestor ou decisor em geral todos os alicerces para uma tomada de decisão amplamente embasada. Destaca-se que a qualidade de uma evidência está condicionada pelas circunstâncias em que foi obtida, como por exemplo evidências extraídas de sistemas internos confiáveis.

Para orientar a avaliação e validação da evidência desenvolveu-se uma estratégia para auxiliar na avaliação da evidência interna. Essa estratégia foi desenvolvida tendo como base as diretrizes utilizadas para ponderação de evidências na área da saúde, área a qual teve a origem da gestão baseada em evidências.

Vale ressaltar que todos os métodos para análise das evidências são organizados para avaliar informações provenientes da literatura científica, deixando uma lacuna para a avaliação das outras formas de evidência. A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam a estratégia desenvolvida para dar suporte na avaliação da evidência.

Tabela 2 – Níveis de evidências

| Níveis | Definições |
|--------|--|
| I | Evidências de profissionais (experiência profissional e conhecimento especializado) na área estão convencidos de que a evidência é eficaz/efetiva. |
| II | Evidências da organização (dados financeiros e estatísticos). |
| III | <i>Stakeholders</i> , indivíduos que podem ser afetados pelas decisões. |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Tabela 3 – Graus de Recomendação

| Grau | Tradução | Implementação |
|----------|---|--|
| Grau I | Há um forte grau de certeza de que o benefício é relevante. | A intervenção deve ser implementada. |
| Grau II | Há um forte grau de certeza de que o benefício é moderadamente relevante. | |
| Grau III | Há um grau de certeza forte ou moderado de que o benefício é pequeno. | A intervenção deve ser implementada, mas a decisão deve ser feita pela alta gestão. |
| Grau IV | Há um grau de certeza forte ou moderado de que não há benefícios. | A intervenção não deve ser implementada. |
| Grau V | A evidência é de baixa qualidade | Se a intervenção for implementada, os envolvidos devem saber que sua efetividade é duvidosa. |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Conforme apresentado na Tabela 2, os níveis de evidências servem para classificar separadamente cada fonte de informação. Quanto mais robusta for a evidência, mais alto o seu nível. O grau de recomendação, apresentado na Tabela 3, serve para classificar uma afirmativa baseada em um conjunto de evidências. Dessa forma, o nível de evidência mais forte (nível I) constitui evidências obtidas por meio dos profissionais. Esse tipo de evidência reflete o conhecimento especializado adquirido por experiência e prática nas atividades especializadas (ROWLEY, 2012), (TORT-MARTORELL; GRIMA; MARCO, 2011).

Por conseguinte tem-se as evidências resultantes da organização (nível II). Os dados provenientes da organização são uma das principais ferramentas utilizadas na tomada de decisão dentro de uma organização. Uma decisão baseada em dados inconclusivos pode levar a investimentos de alto risco que não trarão o resultado esperado, impactando diretamente na produtividade e no desempenho.

O nível mais baixo é o proveniente dos *stakeholders* (nível III). As suas preocupações e comportamento podem afetar drasticamente a forma como reagem as consequências das decisões.

Seu envolvimento é vital para o sucesso da identificação das ações realizadas para o problema identificado, bem como para a avaliação da evidência.

Para a análise das evidências provenientes da literatura científica faz-se uso do método proposto por (BARENDS; ROUSSEAU; BRINER, 2014) como forma de auxiliar na avaliação da evidência. Nessa análise, quanto maior for o nível da evidência científica maior será o seu grau de recomendação. A Tabela 4 apresenta a pontuação de avaliação para a literatura.

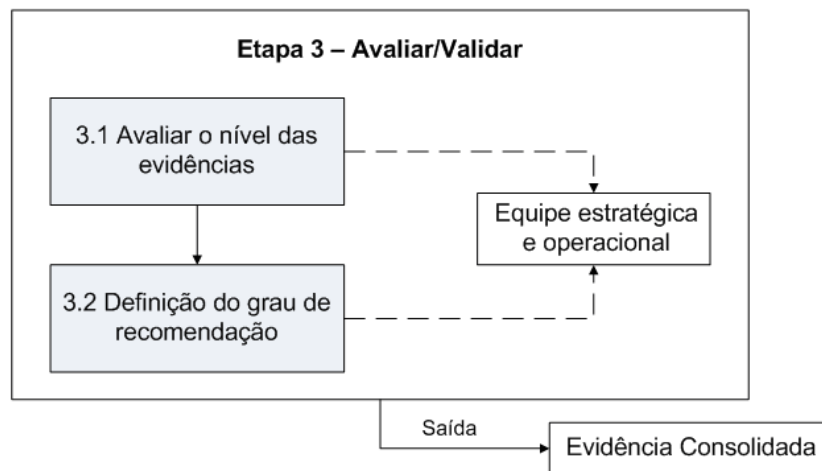
Tabela 4 – Avaliação evidência científica

| Design | Nível |
|---|-------|
| Revisão sistemática ou meta análise de estudos randômicos controlados | AA |
| Revisão sistemática ou meta análise de estudos randômicos não controlados | A |
| Estudos randômicos controlados | A |
| Revisão sistemática ou meta análise de estudos controlados sem um pretexto ou estudo não controlado com um pretexto | B |
| Estudo controlado não randômico | B |
| Séries temporais interrompidos | B |
| Revisão sistemática ou meta análise de estudos transversais | C |
| Estudo controlado sem um pretexto ou estudo não controlado com um pretexto | C |
| Estudos transversais | D |
| Estudos de caso, revisão tradicionais de literatura, artigos teóricos | E |

Fonte: Barends, Rousseau e Briner (2014).

Dessa forma, a avaliação e validação das evidências e sua possível utilização em intervenções dependem da avaliação dos especialistas, que avaliam não somente a qualidade da evidência, mas também o possível impacto que as intervenções podem causar. Esses, precisam ter claro que o desenvolvimento de competências para analisar criticamente a evidência exige o domínio do conhecimento e compreensão de um conjunto de conceitos e aspectos que envolvem o problema identificado. A Figura 18 apresenta o detalhamento dessa fase.

Figura 18 – Detalhamento Etapa 3 - Avaliar e Validar



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Na etapa 4 do método, **aplicar**, tem como finalidade aplicar a evidência consolidada resultante da etapa anterior em um problema real para auxiliar na tomada de decisão. Após aplicar a evidência em um problema real é necessário compilar todas as informações utilizadas para a tomada de decisão em um documento único, que servirá de subsídios para os gestores avaliarem a sua tomada de decisão, monitorar os resultados e, principalmente, acrescentar essa experiência na tomada de decisões no futuro.

Além disso, esse documento servirá como recurso para comunicar todos os envolvidos das lições aprendidas, permitindo que o conhecimento seja compartilhado entre todos os envolvidos. Ressalta-se que esse documento deve ser elaborado em conjunto, por um grupo de especialistas de preferência das várias áreas envolvidas no problema, pois as respostas devem ser baseadas nas evidências das análises, ou seja, nos fatos verificados, e não na subjetividade dos gestores.

Na última etapa do método, etapa 5 **concluir**, tem como finalidade incorporar a evidência validada em uma base de conhecimento de evidências. A base de conhecimento será responsável por armazenar todas as evidências potencialmente relevantes a respeito do gerenciamento de falhas e servirá de base para o desenvolvimento do artefato computacional, apresentado na seção 5.3.

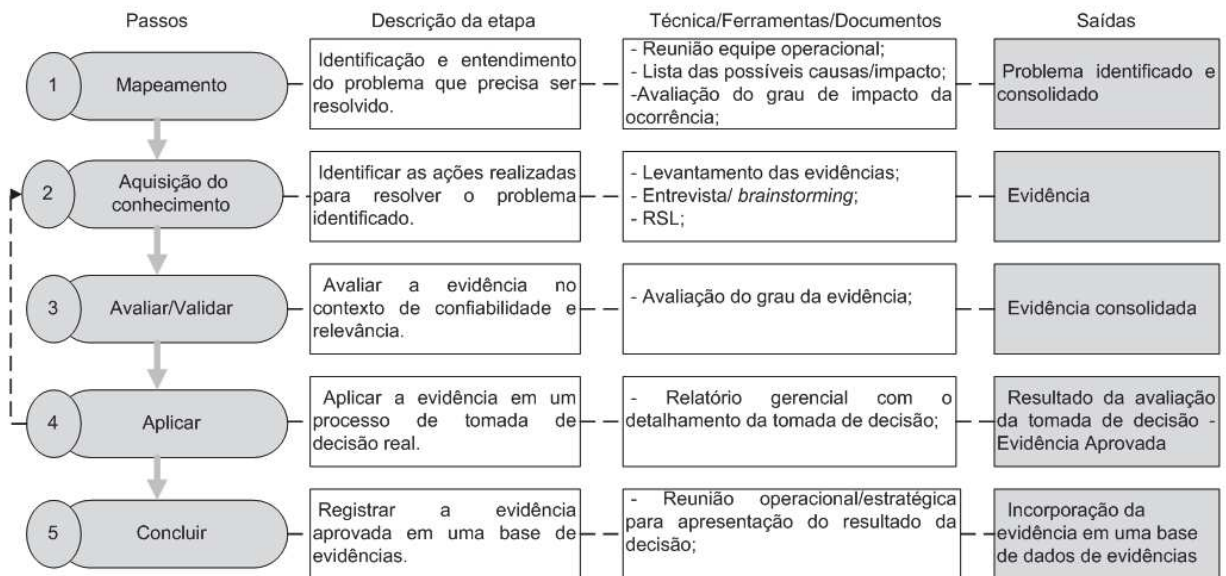
O próximo ciclo do método, ciclo 3, contempla as ferramentas utilizadas para a aplicação das etapas do método e para avaliação do impacto e das evidências. Esse detalhamento, apresentado na próxima seção, aborda as 5 etapas previstas da versão 3 do método, elucidando as particularidades de cada etapa e as ferramentas a elas atreladas.

5.2 Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências

Identificar a causa problema e a solução de uma falha em um sistema produtivo compreendem a solução pretendida. Para isso, elemento-base desta proposta envolveu a utilização da gestão baseada em evidências. Os métodos pesquisados para este estudo não articulavam a utilização das evidências como recurso para auxiliar na tomada de decisão, haja vista que a sua utilização permitirá uma operação sustentável (LEE; BAGHERI; JIN, 2016a) e principalmente, incentivará o uso de experiências passadas consolidadas como fonte de conhecimento (SANIN et al., 2019), (MARR, 2016).

A construção do Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências (MGFBE) concatena os conceitos que envolvem o gerenciamento de falhas tais como grau de impacto da falha e seu efeito, com os conceitos atinentes ao gerenciamento baseado em evidências. O método proposto que se ilustra na Figura 19 é composto por 5 etapas, cujas características, além da descrição para sua execução e das saídas produzidas em cada uma delas, se visualizam a seguir.

Figura 19 – Proposta do MGFBE para avaliação dos especialistas



Fonte: Desenvolvido pela autora.

As etapas da MGFBE com sua descrição detalhada, ferramentas, técnicas e elementos necessários para sua concretização se esclarecem a seguir. **Etapa 1 - mapeamento:** primeira etapa do MGFBE preocupa-se em entender e detalhar o problema que causa a falha. O **objeto** definido no método proposto é o gerenciamento de falhas em um sistema produtivo, independente do segmento. O Quadro 19 apresenta as fronteiras da etapa 1 do MGFBE.

Quadro 19 – Etapa 1 do MGFBE - Mapeamento

| Classe de Problema | Etapa | Entrada | Saída | Ferramenta |
|-------------------------|------------|---------------------------|-----------------------|---|
| Gerenciamento de falhas | Mapeamento | Identificação do problema | Problema identificado | - Reunião equipe operacional; - Lista das possíveis causas e impacto; - Avaliação do grau de impacto da ocorrência; |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Os primeiros passos do método consiste em identificar e entender o escopo do problema, para isso se faz necessário uma reunião com a equipe estratégica e operacional. O **objetivo** desta reunião é formar um entendimento comum sobre o problema. Após, define-se a lista das possíveis causas para o problema identificado e o seu grau de impacto.

Ressalta-se que os problemas identificados com um maior grau de impacto precisam ter prioridade na sua resolução. O **publico-alvo e partes interessadas** são os interessados nos resultados do MGFBE, que podem ser segregados em usuários internos e externos. O seu envolvimento é de extrema importância, pois são os responsáveis por auxiliar na definição do problema e no grau de impacto e também a eles compete o papel de auxiliar na identificação e na validação dos Etapas do MGFBE. A Figura 20 sugere um modelo de documentação para direcionar essa etapa.

Figura 20 – Levantamento do grau de impacto do problema

| Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------|--------------------|
| Grau de Impacto do Problema | | | | | |
| Data: | | | Participantes: | | |
| Projeto: | | | | | |
| Problema Identificado: | | | | | |
| Peça: | | | Preenchido por: | | |
| Nº | Casua Potencial | Grau de Impacto do Problema | | | Ações Recomendadas |
| | | Consequência | Grau de Impacto | Pontuação | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| ... | | | | | |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento: após a definição e entendimento do problema do MGFBE, a próxima etapa demanda a identificação de ações realizadas para resolver o problema identificado. O Quadro 20 apresenta a etapa 2 - aquisição do conhecimento do MGFBE.

Quadro 20 – Etapa 2 do MGFBE - Aquisição do conhecimento

| Classe de Problema | Etapa | Entrada | Saída | Ferramenta |
|-------------------------|---------------------------|---|-----------|---|
| Gerenciamento de falhas | Aquisição do conhecimento | Ações realizadas para o problema identificado | Evidência | - Levantamento das evidências; - Entrevista e <i>brainstorming</i> ; - RSL; |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Essa etapa tem como principal ferramenta para descoberta das evidências externas a revisão sistemática de literatura - RSL, e para as evidências internas a entrevista. O **objeto** da entrevista é identificar ações que foram ou podem ser realizadas para resolver o problema identificado. A aquisição do conhecimento é uma das etapas mais importantes da gestão baseada em evidências e resultará em subsídios para auxiliar na tomada de decisão.

Muitas decisões são tomadas erroneamente ou sem eficácia da decisão. Isso ocorre porque as informações, fatos ou dados que apoiam a tomada de decisão tem sua aquisição negligenciada ou simplesmente feita de forma ineficaz. Muitas indústrias não adotam a utilização da tomada de decisão baseada em evidências, visando a urgência do cliente, resultando em um tempo de produção rápido, gerando muito mas gasto no futuro com as manutenções.

Ao levantar informações e dados internos provenientes das evidências organizacionais disponíveis é importante que sejam validados pelos especialistas envolvidos. Esse cuidado torna o processo confiável e diminui as chances de divergências de informações. O MGFBE deve ser aplicado pela equipe responsável pela gestão e controle de falhas, a fim de garantir de forma antecipada que todas as etapas do métodos serão realizadas. Além disso, assegurar que o artefato resultante satisfaça as necessidades e expectativas dos envolvidos.

Os demais envolvidos nessa etapa são os *stakeholders* e os profissionais. Eles serão os responsáveis por identificar evidências que possam auxiliar na resolução do problema. Assim, os problemas conhecidos e potenciais são analisados primeiramente no desenvolvimento do processo, de forma a se propor melhorias nos pontos mais críticos (LIU et al., 2015), mas principalmente pela priorização das possíveis falhas do processo, associados às suas consequências e grau de impacto.

É importante ressaltar que todos os envolvidos devem auxiliar e facilitar a implementação de gestão baseadas em evidências. Ademais, vários fatores, como o individual (conhecimento), organizacional (acesso a outros conhecedores, apoio ao uso de evidências) e institucional (disseminação da prática baseada em evidências) devem ser considerados para promover, sustentar e industrializar a prática baseada em evidências em uma organização (BRINER; BARENDS, 2016). A Figura 21 facilita a organização das informações coletadas na etapa de aquisição do

conhecimento, estabelecendo as dependências para total funcionamento do problema, lista das possíveis soluções e o fluxo dos eventos.

Figura 21 – Aquisição do conhecimento pelos especialistas

| Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências | |
|---|---|
| Aquisição do Conhecimento | |
| Data: | |
| Falha: | Cod Falha: <input type="text"/> Tipo |
| Descrição: | <input type="checkbox"/> real <input type="checkbox"/> potencial |
| Pré condição para total funcionamento: | Pré Condição Realizado <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não |
| Lista das possíveis soluções para a falha | 1 - 2 - 3 - 4 - |
| Fluxo principal | Fluxo alternativo |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

A próxima etapa tem como finalidade realizar uma análise crítica da evidência, **Etapa 3 - avaliar/validar**. O Quadro 21 apresenta essa etapa.

Quadro 21 – Etapa 3 do MGFBE - Avaliar, validar

| Classe de Problema | Etapa | Entrada | Saída | Ferramenta |
|-------------------------|------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|
| Gerenciamento de falhas | Avaliar, Validar | - Lista das possíveis soluções para a falha | - Evidência consolidada; | - Avaliação do grau da evidência; |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Essa etapa **objetiva** realizar uma análise crítica da evidência e sua validação. Analisando sua relevância dentro do contexto a qual está inserida (BARENDS et al., 2012), sua consistência e precisão. Se realizada de forma apropriada, pode reduzir custos futuros de manutenção, evitando retrabalho e problemas de aplicação.

A validação da evidência é uma atividade de controle de qualidade com o objetivo de garantir que a tomada de decisão ocorra com a evidência certa. Sua validação reduzirá os riscos que podem prejudicar a qualidade do produto, os objetivos do negócio, os custos e os prazos do projeto.

Com o propósito de avaliar e validar a evidência, dois passos para a análise dessa etapa se formalizaram. O primeiro passo reside em realizar a validação da evidência junto com os especialistas envolvidos. Para auxiliar nessa análise, a Figura 22 compila questões que auxiliam na análise da validade da evidência selecionada.

Figura 22 – Validação das evidências pelos especialistas

| Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências | | | | |
|---|---|-----|-----------------------------|------------|
| Validação da Evidência | | | | |
| Data: | | | | |
| Falha: | | | | |
| Solução: | Cod Falha: | | Tipo () real () potencial | |
| Nº | Item para verificação | Sim | Não | Observação |
| 1 | Cada possível solução para a falha está descrita com clareza, concisão e sem ambiguidade | | | |
| 2 | Nenhuma das soluções descritas para a falha, ao ser utilizada individualmente, entrará em conflito com qualquer outro sistema | | | |
| 3 | As evidências exibem claramente suas restrições e dependência (se existir) | | | |
| 4 | A evidência auxilia na resolução de outro problema | | | |
| 5 | Poderá ocorrer algum evento indesejado caso venha a utilizar a evidência para resolução da falha | | | |
| 6 | Os resultados, ao aplicar a evidência, podem ser generalizados | | | |
| 7 | A evidência atende todas as necessidades para resolução da falha em questão | | | |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

O segundo passo consiste em avaliar o nível da evidência e o seu grau de recomendação. A qualidade e a confiabilidade da informação gerada na etapa 2 depende, diretamente, do grau de comprometimento dos envolvidos, da qualidade das informações levantadas e da relevância das soluções avaliadas. Com isso, pode-se gerar diferentes níveis de evidências, o que vai refletir na tomada de decisão com diferentes graus de confiabilidade.

Os diferentes níveis de evidências são hierarquizados em ordem de importância e de qualidade e orientam a elaboração dos graus de recomendação de conduta, refletindo a tomada de decisão nos diferentes graus de recomendação (CEBMA, 2013). Ressalta-se que o objetivo do uso do grau de recomendação de uma evidência é conferir transparência à procedência das informações. A Figura 23 sugere um modelo de ferramenta para auxiliar na validação da evidência.

Figura 23 – Validação das evidências pelo grau de recomendação

| Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------------------|--------------------|----|-----|------------|----------------------|--------------|---------------|------------------|--------|
| Validação da Evidência | | | | | | | | | | | |
| Data: | | | | | | | | | | | |
| Falha: | Cod Falha: | | | | | | | | | | |
| Nº | Falha | Evidência para solução | Nível da evidência | | | | Grau de recomendação | | | | |
| | | | I | II | III | Científica | Grau I AA / A | Grau II B | Grau III C | Grau IV D / E | Grau V |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

A próxima etapa, **Etapa 4 - aplicar**, destina-se em aplicar a evidência consolidada em um processo de tomada de decisão real. Ao aplicar em um problema concreto será possível avaliar a tomada de decisão por sua validade, impacto e aplicabilidade. O Quadro 22 apresenta o objetivo de cada fase da etapa 4 - aplicar do MGFBE.

Quadro 22 – Etapa 4 do MGFBE - Aplicar

| Classe de Problema | Etapa | Entrada | Saída | Ferramenta |
|---------------------------|--------------|-------------------------|---|--|
| Gerenciamento de falhas | Aplicar | - Evidência consolidada | - Resultado da avaliação da tomada de decisão - Evidência Aprovada | - Relatório gerencial com o detalhamento da tomada de decisão; |

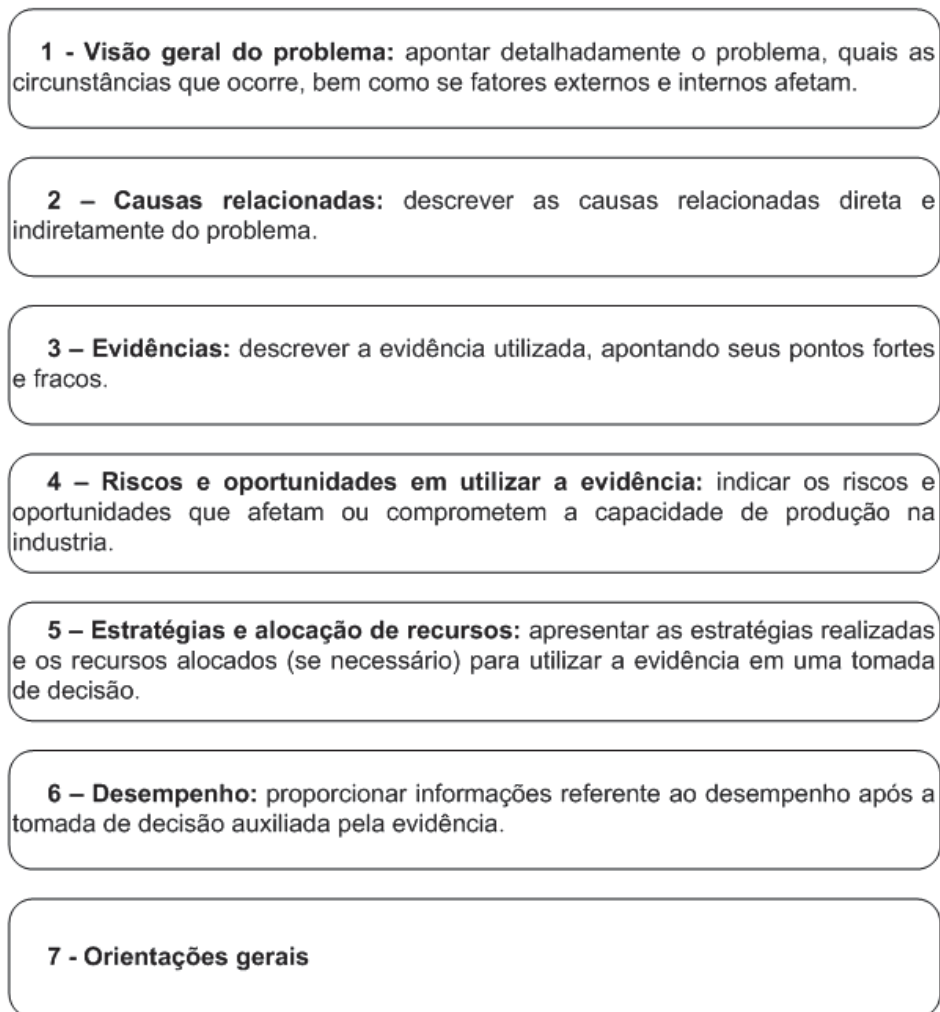
Fonte: Desenvolvido pela autora.

A validade, impacto e aplicabilidade da evidência em um processo de tomada de decisão deve ser avaliada pelos especialistas envolvidos e integrada na experiência profissional, respeitando as características do problema. Essa etapa tem como foco a participação ativa dos envolvidos e responsáveis pela informação.

Isso posto, o propósito dessa etapa é aplicar a evidência e avaliar o desempenho da tomada de decisão. Mas, além disso, identificar quais ações necessitam de uma nova abordagem, para que os objetivos desejados pela empresa sejam atingidos.

Ademais, com a tomada de decisão embasada em informações consolidadas será possível identificar pontos a serem aperfeiçoados, proporcionando aos envolvidos uma visão clara e atual em relação à situação do negócio. Essa análise faz com que a elaboração de estratégias seja mais fácil, trazendo melhores resultados. A Figura 24 apresenta um modelo de documento final.

Figura 24 – Modelo de relatório final



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Para essa etapa, a MGFBE entende o relatório final como uma ferramenta que auxiliará os gestores em alguns pontos, à saber: i) na tomada de decisão no futuro; ii) na comunicação entre gestores e envolvidos, das ações realizadas e aprendidas para resolver o problema em questão; iii) como fonte de evidências já validadas e consolidadas, auxiliando na aquisição de conhecimento para problemas futuros.

A última etapa do MGFBE, **Etapa 5 - concluir** objetiva incorporar a evidência aprovada em uma base de evidências. O Quadro 23 apresenta a descrição das fases dessa etapa.

Quadro 23 – Etapa 5 do MGFBE - Concluir

| Classe de Problema | Etapa | Entrada | Saída | Ferramenta |
|---------------------------|--------------|----------------------|--|--|
| Gerenciamento de falhas | Concluir | - Evidência aprovada | - Incorporação da evidência em uma base de dados de evidências | - Reunião operacional e estratégica para apresentação do resultado da decisão; |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

A etapa final da MGFBE visa integrar o artefato às rotinas de tomada de decisão, contribuindo para a concisão das informações. Essa integração ocorrerá por meio de uma base de conhecimento de evidências. O objetivo da base de conhecimento é conter todas as evidências aprovadas e auxiliar na tomada de decisão para resolução de uma determinada falha.

Além disso, ao usar uma base de evidências para auxiliar na tomada de decisão, melhora a eficiência operacional e o desempenho de negócios, uma vez que permite que os envolvidos tomem decisões mais rápidas e inteligentes, com base em informações validadas em vez de apenas seu instinto. Dessa feita, o detalhamento das etapas para a construção da base de conhecimento será abordado em detalhes na seção 5.5 Proposição do Artefato Computacional.

5.3 Avaliação dos Especialistas

As dúvidas e as contribuições dos especialistas foram analisadas, e aquelas consideradas pertinentes pela pesquisadora foram incorporadas ao MGFBE. O Quadro 24 contém a identificação do especialista e suas respectivas contribuições, por etapa do MGFBE.

Quadro 24 – Avaliação dos especialistas sobre o MGFBE

| Identificação | Etapa do MGFBE | Avaliação dos especialistas |
|----------------|--|--|
| Especialista A | Etapa 1 - Mapeamento Todas as Etapas | <p>Contribuição: conhecer o que ocasiona uma falha faz com que decisões precisas e ações possam ser tomadas.</p> <p>Sugestão: encontrar as causas origens de falhas como forma de resolver em definitivo a falha.</p> <p>Contribuição: a definição de papéis e funções dos envolvidos auxilia no correto andamento e, principalmente, no comprometimento da equipe.</p> <p>Sugestão: definição das funções e responsabilidades dos envolvidos na aplicação do método. Esses precisam estar envolvidos em todo o processo decisório e até o fim da aplicação.</p> |
| Especialista B | Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento | <p>Contribuição: sistemas que auxiliam na decisão para serem eficientes, os dados de entrada precisam ser confiáveis, de fácil acesso e com qualidade.</p> <p>Sugestão: para RSL procurar por trabalhos que tenham passado por revisão em pares. Indicadores e informações com credibilidade devem ser tratados como fonte de informação.</p> |
| Especialista C | Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento Etapa 4 - Aplicar | <p>Contribuição: ressalta a importância do acesso fácil as bases de dados como forma de incentivar a busca por evidências científicas.</p> <p>Sugestão: sugere a inclusão de banco de dados de fácil acesso, até mesmo materiais proveniente da literatura cinza.</p> <p>Contribuição: entender a percepção dos envolvidos com o resultado da tomada de decisão se faz necessário para definir as estratégias e também repetir alguma etapa do método .</p> <p>Sugestão: avaliar com os envolvidos se o resultado da aplicação surtiu o efeito desejado.</p> |

| Identificação | Etapa do MGFBE | Avaliação dos especialistas |
|----------------|---|--|
| Especialista D | Etapa 1 - Mapeamento Etapa 3 - Avaliar/Validar | Contribuição: ressalta a importância do envolvimento do chão de fábrica na aplicação do método. Sugestão: sugere a participação dos especialistas em operação como ator fundamental para auxiliar na identificação e entendimento do problema que precisa ser resolvido, bem como para auxiliar na validação da evidência. |
| Especialista E | Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento | Contribuição: o uso do manual dos equipamentos é um recurso mais apropriado para ajudar na resolução do problema. Sugestão: utilizar o manual de especificação técnica e de processos como fonte de evidências. |
| Especialista F | Etapa 1 - Mapeamento | Contribuição: conhecer a probabilidade de uma falha acontecer, bem como sua causa raiz impacta diretamente nas ações que o gestor ou especialista irá tomar. Sugestão: incluir a probabilidade de uma falha acontecer como um dos critérios para avaliar o grau de impacto do problema. |
| Especialista G | Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento | Contribuição: sabendo que a documentação tem um papel muito importante para a gestão e tomada de decisão e, esse, estando atualizados e validados podem ser considerados como aliado dos gestores. Sugestão: fazer uso da documentação das evidências já homologadas como fonte de consulta para o levantamento das evidências. |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Fundamentado nas contribuições dos especialistas, realizou-se ajustes nas etapas do método proposto, especialmente nas etapas: Etapa 1 - Mapeamento, Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento, na Etapa 3 - Avaliar/Validar e por fim na Etapa 4 - Aplicar. Dessa forma, a versão do método para gerenciamento de falhas baseado em evidências incorporou as ferramentas recomendadas pelos especialistas como forma de atender completamente todas as etapas do método proposto.

Para a Etapa 1 - Mapeamento aconselha-se que a probabilidade da falha acontecer seja um dos requisitos levado em consideração para avaliar o grau de impacto do problema. Conhecer a probabilidade de uma falha acontecer irá auxiliar no tratamento do problema de modo a auxiliar na redução das quebras e defeito nos equipamentos. Além disso, irá permitir que falhas com maior probabilidade de ocorrência tenham prioridade para resolução.

Ao realizar o levantamento das evidências provenientes da literatura científica com o auxílio da RSL, o objetivo é identificar o maior volume possível de pesquisas relevantes sobre o tema. Entretanto, é conveniente abranger a busca para fontes de literatura cinza, ou seja, pesquisas produzidas em níveis de governo, acadêmicos, empresas e indústrias, nos formatos impresso e eletrônico, mas que não é revisada por pares (GAROUSI; FELDERER; MÄNTYLÄ, 2019). A literatura cinza pode ser encontrada em diversos meios de comunicação, como sites, bancos de teses e dissertações, e o contato com especialistas para a identificação de pesquisas não publicadas.

No entanto, para incluir a literatura cinza é importante conhecer a sua classificação e replicabilidade. Conforme Adams, Smart e Huff (2017), a terceira camada de literatura cinza possui baixa recuperabilidade e credibilidade. Diz respeito à literatura encontrada em blogs, e-mails, tweets, cartas e catálogos. A segunda camada, refere-se a literatura considerada com moderada recuperabilidade e credibilidade. Nesta camada estão a literatura produzida por relatórios anuais, novos artigos, vídeos, apresentações e publicações empresariais (ADAMS; SMART; HUFF, 2017). A primeira camada de literatura cinza, representa a literatura de significativa recuperabilidade e credibilidade, fazendo parte desta camada os livros, uma ampla gama de revistas, relatórios governamentais, teses e dissertações.

Ainda, na Etapa 2 - Aquisição do Conhecimento, a opção por incluir a utilização do manual de operação dos equipamentos e máquinas como fonte de evidência tem como finalidade abranger todas as possíveis fontes de evidências que possam auxiliar na resolução do problema. Esse tipo de documento abrange todas as informações e limitações técnicas e de segurança pertinentes aos equipamentos e sua configuração o que auxilia na identificação do problema, uma vez que algumas falhas podem ser resultantes da falta de uma configuração específica, utilização adequada ou até mesmo calibragem correta da máquina.

Além disso, fazer uso das evidências já homologadas e sua documentação como fonte de conhecimento auxiliará na rastreabilidade das ações já realizadas para a resolução de determinado problema. O uso desse tipo de recurso como fonte de aquisição de conhecimento ajuda a reduzir esforço na busca por uma solução, além de comunicar claramente as decisões que já foram tomadas, fornecendo informações necessárias que podem vir a ser úteis na resolução de um novo problema.

O envolvimento e comprometimento dos especialistas é vital para o sucesso do método em todas as suas etapas. Sabe-se que indústria, independente do segmento e tamanho, dependem do uso do conhecimento de alta complexidade, de informações que integrem as ações e da combinação dos conhecimentos dos especialistas envolvidos. Dessa forma, se faz necessário integrar o conhecimento de diversas áreas da indústria. Para o método proposto, a equipe deve ser selecionada pelas áreas envolvidas no problema de modo que cada membro contribua com diferentes experiências e conhecimentos.

A equipe de trabalho deve conter um grupo de pessoas que se mantém durante todo o

processo. No entanto, alguns especialistas ou *stakeholders*, podem participar apenas de algumas etapas da aplicação, que dependerá de seus conhecimentos e habilidades. Ademais, para aplicação do método é necessário que haja um coordenador que detenha tanto o conhecimento técnico, quanto o metodológico para a condução da aplicação. Sendo esse um requisito que poderá ser compartilhado entre os integrantes da equipe.

Os membros da equipe são escolhidos em função do problema que precisa ser resolvido, pois cada produto possui características particulares como função, projeto, materiais, fabricação, qualidade, etc. Ainda, aconselha-se a inclusão do operador senior da linha de produção como um dos especialistas envolvidos em todas as etapas do método.

Na Etapa 4 - Aplicar, escolher a alternativa mais adequada para enfrentamento do problema é uma das etapas do processo de tomada de decisão. Contudo, avaliar o resultado da aplicação da evidência com todos os envolvidos se faz necessário como forma identificar possíveis lacunas e se necessário traçar novos cenários para a resolução do problema. Cabe ressaltar que se a decisão não atendeu à necessidade identificada na etapa de mapeamento, talvez seja conveniente repetir algumas etapas do processo. Com base nas avaliações dos especialistas, no próximo item, apresenta a proposta do MGFBE com seus objetivos e benefícios.

5.4 Proposta do MGFBE

O método proposto para o gerenciamento de falhas baseado em evidências - MGFBE foi constituído com o propósito de abranger as etapas necessárias para a inclusão da gestão baseada em evidências no contexto de um sistema produtivo, os quais são sequenciados desde o mapeamento do problema até as conclusões com a incorporação da evidência em uma base de evidências. O objetivo principal deste método é permitir e possibilitar o uso de evidências de forma consistente para auxiliar no gerenciamento de falhas.

Para tanto, o MGFBE possibilita: i) identificar e aplicar evidências do conhecimento científico sobre um determinado problema; ii) avaliar o grau de impacto do problema e sua causa e; iii) avaliar o resultado da tomada de decisão. O método proposto é composto de cinco etapas que direcionam a aplicação do método. Cada uma das etapas tem objetivo, ferramentas e documentos necessários à sua operacionalização, o que facilita a sua aplicação.

Em vista disso, o MGFBE se distingue das soluções satisfatórias definidas em outros métodos, especificamente pela amplitude da abordagem que traz a utilização da tomada de decisão baseada em evidências no contexto industrial, a saber: i) por possibilitar a tomada de decisão com base em situações passadas existentes e validadas no contexto da fábrica (OTTO; VOGEL-HEUSER; NIGGEMANN, 2018), (MARR, 2016); ii) por ter como premissa transformar a tomada de decisão baseada em máquina para baseada em evidências (LEE; BAGHERI; JIN, 2016b); e iii) permitir integrar em uma base de conhecimento o contexto, a experiência e as melhores práticas disponíveis como suporte na tomada de decisão (MARR, 2016).

O MGFBE enquanto artefato diferencia-se das demais soluções satisfatórias especialmente na etapa de aquisição do conhecimento, ao propor a utilização de evidências internas e externas. A utilização das evidências permite que a tomada de decisão não baseia-se apenas na dedução de observações ocasionais, e nas opiniões dos gestores, mas propõe que toda intervenção seja orientada pelas evidências obtidas a partir de experimentos científicos bem conduzidos ou por experiências validada dos envolvidos. De posse da evidência para auxiliar na resolução de determinado problema, o gestor poderá tomar ações de mitigação - ou de eliminação - de possíveis impactos que possam vir a acontecer.

Ao utilizar evidências científicas como forma de auxiliar na tomada de decisão busca-se contribuir para a qualidade da decisão por meio de ações que permitem a formação continuada dos envolvidos, tais como: i) identificar e compilar os melhores estudos disponíveis, ii) aprender como fazer a avaliação crítica da literatura disponível; e iii) disponibilizar essas evidências de forma que outras pessoas possam fazer uso para tomada de decisão. Além disso, através do conhecimento da melhor evidência científica disponível, o profissional pode associar esse conhecimento a sua *expertise*, sempre levando em conta os valores, crenças e preferências da organização.

Ao utilizar a gestão baseada em evidências como forma de auxiliar no gerenciamento inteligente de uma falha, servirá de elo de ligação para a implementação da Indústria 4.0. Isso porque, para ocorrer essa transformação, um dos requisitos necessários é a mudança na forma que acontece a tomada de decisão (OTTO; VOGEL-HEUSER; NIGGEMANN, 2018).

Ademais, o método proposto permitirá que a indústria deixe de ser apenas uma organização tradicional e passe se preparar para a implementação da chamada produção conectada e inteligente. Nesse contexto, a diferença para as demais ferramentas é a uniformização para a aquisição do conhecimento, permitindo a utilização de evidências internas e externas com capacidade de subsidiar gestores com informações que irão auxiliar na tomada de decisão.

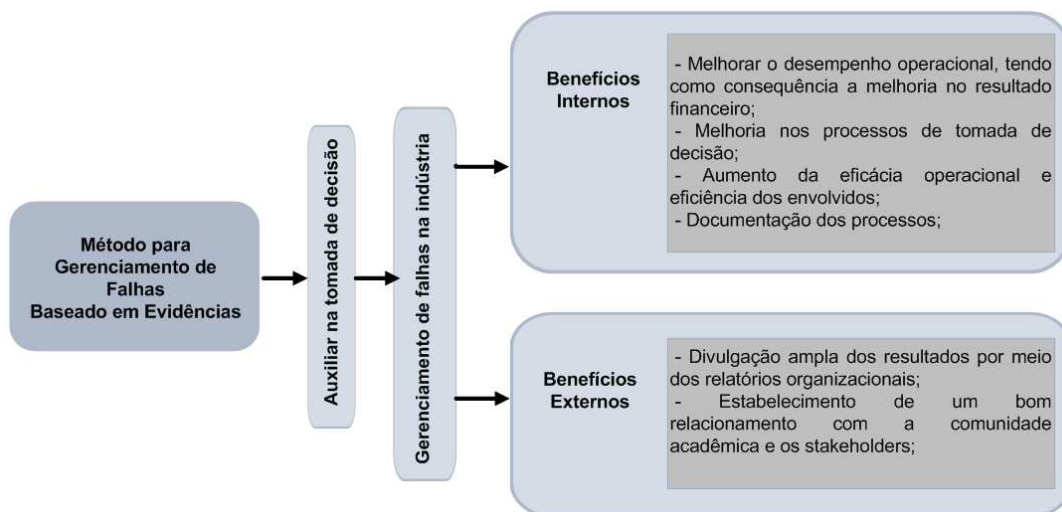
Os aspectos apontados no MGFBE justificam a sua construção, que contribui com os métodos para gerenciamento de falhas existentes e amplia o foco na utilização de evidências. O procedimento vem ao encontro das críticas listadas em outros métodos, especialmente a de que o sucesso da aplicação do método depende totalmente da qualidade e confiabilidade dos dados utilizados.

Vale destacar que a inclusão da gestão baseada em evidências vem com intuito de sanar essa crítica. Isso porque ao utilizar uma evidência para auxiliar na tomada de decisão, a mesma precisa ser avaliada, validada no contexto, na sua relevância e também na possibilidade de replicabilidade. Essa medida auxilia a reduzir o risco de erros que podem ocorrer ao utilizar os dados sem que passem por uma análise crítica, além de aumentar o nível de confiança que podemos ter nos resultados.

A utilização da gestão baseada em evidência traz benefícios diretos para a indústria,

os quais, por sua vez, ajudam a organização a cumprir uma das exigências necessárias para a indústria 4.0. Entre os benefícios da utilização das evidências no contexto da indústria, pode-se citar: i) melhoria nos processos de tomada de decisão, que são equilibradas com experiência e intuição; ii) avaliação aprimorada do desempenho de cada processo e sua capacidade de atingir objetivos; iii) aumento da eficácia operacional e eficiência dos envolvidos; e iv) demonstração, com provas, da eficácia de decisões passadas. A Figura 25 demonstra algumas das soluções satisfatórias da utilização do método proposto.

Figura 25 – Soluções satisfatórias do MGFBE



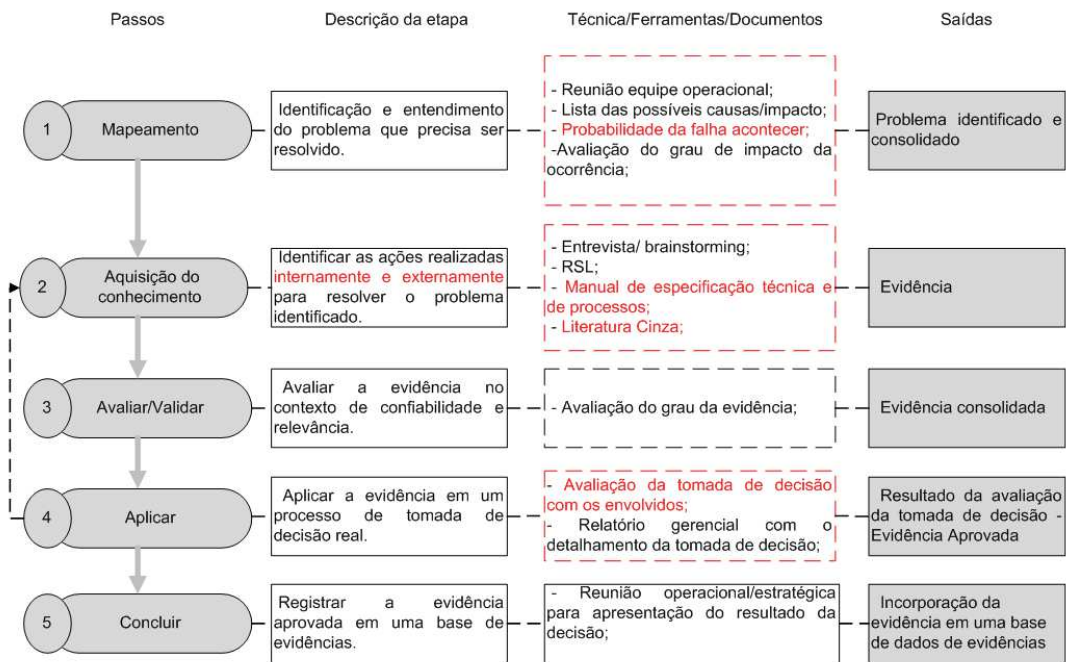
Fonte: Desenvolvido pela autora.

Ao citar o diferencial do método proposto, é importante determinar as condições de utilização e as circunstâncias que será útil. Sua formalização caracteriza o ambiente externo do artefato, ou seja, o contexto que será aplicado. Nessa perspectiva, o método proposto se estrutura para a aplicação em um sistema produtivo, em que um problema para gerenciamento de falhas é a entrada e a resolução do problema com a utilização de evidências estejam na saída.

Entretanto, deve existir a compreensão dos gestores e dos especialistas envolvidos acerca da importância e da necessidade do envolvimento e comprometimento em disponibilizar os dados necessários como fonte de evidências e principalmente, garantir que os dados e informações sejam suficientemente precisos, confiáveis e seguros. Dessa forma, os gestores e envolvidos precisam estar dispostos a mudar a forma que ocorre a tomada de decisão, passando a levar em consideração as inter-relações entre a pesquisa científica e a realidade diária da indústria.

A Figura 26 apresenta a versão do método para gerenciamento de falhas baseado em evidências - MGFBE com as contribuições dos especialistas colocadas em destaque vermelho.

Figura 26 – Versão do MGFBE para aplicação



Fonte: Desenvolvido pela autora.

A Figura 26 ilustra as etapas do método proposto, após a avaliação dos especialistas, o qual as etapas, técnicas e ferramentas emergiram das classes de problema, requisitos do artefato e dos pontos fortes e pontos fracos dos métodos existentes na literatura.

5.4.1 Papéis e Envolvidos

Para atender aos objetivos da aplicação do método é necessário possuir uma equipe comprometida, em todas as etapas do método, na resolução das falhas. Para tanto, faz-se necessário montar a equipe que irá aplicar e direcionar a aplicação do MGFBE. Além disso, é necessário ressaltar que os integrantes da equipe detenham o conhecimento sobre a temática que envolve o problema que está causando a falha.

O método sugere dois papéis principais, mas não limitados à esses, para a sua aplicação. O primeiro papel definido é o do **especialista coordenador**, visto como líder, tens a função: i) direcionar todas as etapas da aplicação; ii) formar a equipe de trabalho; e iii) comunicar todos os resultados aos envolvidos. A equipe de trabalho deve ser formada com base nas áreas/processos envolvidos no problema de modo que todos os integrantes possuam os conhecimentos necessários e estejam envolvidos em todas as fases da aplicação durante todo o processo.

O segundo papel definido é dos *stakeholders* que são as pessoas que serão afetadas pelo resultado da aplicação do método. Sua participação na aplicação trás benefícios, uma vez que, geralmente, são providos de experiência e conhecimento sobre o problema que deseja resolver. Os *stakeholders* devem participar da aplicação do método em todas as suas etapas, desde o

mapeamento do problema, até a disseminação dos resultados da aplicação. É importante ressaltar que os *stakeholders* deverão entender quais os principais pontos que envolvem o problema, para que seja possível discutir a sua natureza, o seu potencial caso venha acontecer e orientar à tomada de decisões importantes.

Os demais envolvidos precisam ser definidos tendo como critério a diversidade, qualidade e profundidade das informações, que só pode ser suprido por uma equipe composta por especialistas de diversas áreas relacionadas ao problema. A equipe deve estar selecionada pelas áreas envolvidas de modo que cada membro contribua com diferentes experiências e conhecimentos. Entre os atores necessários para o andamento do método sugere-se a participação e envolvimento em todas as etapas de engenheiros de processos, operadores sênior e técnicos de manutenção.

Além desses atores, outras funções podem vir a compor a equipe durante o processo de aplicação do método. Entretanto, alguns pontos precisam ser levados em consideração, à saber: i) a inclusão de novos integrantes não deve atrasar o término da aplicação do MGFBE, ii) os novos integrantes precisam possuir o conhecimento técnico, iii) necessitam entender sobre o problema que precisa ser resolvido e seu impacto caso venha acontecer e, principalmente iv) esteja claro qual é a função e responsabilidades dos novos integrantes.

Dessa forma, ao se definir uma equipe multidisciplinar, facilita a troca de informações e experiências entre os envolvidos, e se converte em uma tomada de decisão mais qualificada, focada no aumento da produtividade e na melhoria dos processos de trabalho. Na próxima seção são descritas as técnicas pertencentes a cada uma das etapas do método.

5.4.2 Técnicas, Ferramentas e Documentos

Como forma de operacionalizar a aplicação do MGFBE, a Figura 27, exhibe as etapas do método após validação dos especialistas, alinhadas com as técnicas pertencentes a cada uma delas e as ferramentas passíveis de utilização para sua implementação.

Figura 27 – Ferramentas para operacionalização das etapas do MGFBE

| Etapas | Técnica/Ferramentas/Documents | Objetivos |
|---------------------------|---|--|
| MAPEAMENTO | Reunião operacional | Tens como propósito apresentar e debater sobre o escopo do problema com intuito de formar um entendimento comum sobre o problema que precisa ser resolvido por meio do compartilhamento de ideias, debates, dados, entre outros. |
| | Grau de impacto do problema | Objetiva identificar riscos emergentes que possam vir a prejudicar a produtividade, a qualidade, ou até mesmo causar acidentes. |
| | Probabilidade da falha | Tens como objetivo identificar a probabilidade da falha acontecer. |
| AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO | Entrevista/Brainstorming | O objetivo de utilizar essas ferramentas como recurso para aquisição do conhecimento ocorre pela abrangência que cada técnica possui. Possibilitando direcionar e acessar um número maior de possíveis evidências provenientes de diversas bases de informações. |
| | RSL | |
| | Literatura Cinza | |
| | Manual de especificação técnica e de processos | |
| AVALIAR/VALIDAR | Avaliação do grau da evidência | Objetiva avaliar criticamente a qualidade e a confiabilidade das evidências internas e externas. |
| APLICAR | Avaliação da tomada de decisão com os envolvidos | A finalidade da avaliação da tomada de decisão com todos envolvidos é verificar os pontos negativos e positivos da tomada de decisão. Bem como possibilitar a definição de novas estratégias, alternativas e, principalmente, avaliar as barreiras da implementação da gestão baseada em evidências. |
| | Relatório gerencial com o detalhamento da tomada de decisão | O propósito desse documento é possibilitar a comunicação para todos os envolvidos das ações realizadas e lições aprendidas com a resolução de determinado problema. Além disso, tens como objetivo secundário servir de fonte de evidência para futuros problemas. |
| CONCLUIR | Reunião operacional/estratégica para apresentação do resultado da decisão | Apresentar os resultados com a aplicação do método para todos a equipe e encerrar o ciclo de aplicação, possibilitando a inclusão da solução em um banco de dados de evidências. |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

O objetivo das ferramentas descritas na Figura 27 é auxiliar os envolvidos na aplicação do método. Para cada etapa do MGFBE é possível utilizar uma ferramenta para sua operacionalização. Ressalta-se que a fase final do método, Concluir, visa integrar o artefato gerado às rotinas do negócio, como forma de complementar e contribuir para a tomada de decisão.

De posse do método validado pelos especialistas, evolui-se para o desenvolvimento do protótipo computacional. Um protótipo é uma representação ou implementação concreta, porém parcial, do design de um sistema. Dessa forma, suas características e comportamento são apresentados na próxima seção.

5.5 Proposição do Artefato Computacional

A última etapa do MGFBE contempla a incorporação da evidência em uma base de conhecimento. Para isso, um protótipo computacional foi proposto. O GF *Evidence-Based* é um protótipo computacional o qual pode ser utilizado basicamente de duas maneiras: para apoio à decisão ou para a tomada de decisão em si. No primeiro caso o usuário utiliza o sistema como um adicional, combinando o seu próprio conhecimento com o retorno do sistema especialista para tomar a decisão. No segundo caso, o próprio sistema faz a decisão com base em seu conhecimento, tomando o lugar da pessoa.

Deve-se ressaltar que automatizar um processo não é sinônimo de melhoria na tomada de decisão. Isso porque a qualidade dos resultados da análise obtida com o auxílio do sistema, depende diretamente da qualidade do conhecimento adquirido. Com isso, o processo de aquisição do conhecimento é considerado um desafio quando se desenvolve um sistema.

Como forma de sanar esse desafio, para o protótipo desenvolvido, fez uso do método para gerenciamento de falhas baseado em evidências como ferramenta utilizada para a aquisição do conhecimento especializado. Além disso, por se tratar de um protótipo computacional, algumas características foram seguidas no momento implementação, a saber: (i) enfoque interativo e incremental como forma de permitir o entendimento gradativo do problema por meio de sucessivos refinamentos; (ii) usabilidade, ou seja, o protótipo foi desenvolvido levando em consideração a facilidade na utilização, a experiência do usuário, seu conhecimento, e a capacidade autoexplicativa do sistema; (iii) visualização gráfica de fácil entendimento por meio de uma interface que seja limpa e intuitiva; (iv) apresentar o desempenho apropriado considerando os recursos utilizados, fornecendo tempo de resposta e de processamento adequados.

Ainda, para a construção do artefato computacional fez-se uso do desenvolvimento do protótipo de alta fidelidade. Os protótipos de alta fidelidade ou “protótipos verticais” são representações parecidas com o produto final, e permitem a programação em várias camadas de um sistema, tais como: interface, aplicação e base de dados (BENYON, 2011).

Na maioria dos casos é possível simular o fluxo completo de todas as funcionalidades de modo a medir a interação do usuário como se fosse o produto final. Entre as vantagens desse tipo de protótipo, conforme Benyon (2011), pode-se citar: i) permite a implementação da funcionalidade completa, ii) totalmente interativo, iii) permite o uso para exploração e teste, iv) permite a mesma interface para o produto final, e v) serve como uma especificação viva.

Além disso, para o presente protótipo foi utilizado a linguagem de *scripting* Visual Basic em conjunto com Access. A utilização conjunta desses dois recursos permitiu a criação da interface com usuário e suas associações. A escolha por implementar um protótipo está centrada nos seus benefícios. O primeiro benefício está em auxiliar aos desenvolvedores a projetar exatamente o que desejam, uma vez que pode-se testar sua facilidade de uso, funcionalidade, aplicação e representação gráfica (GUPTA, 2020).

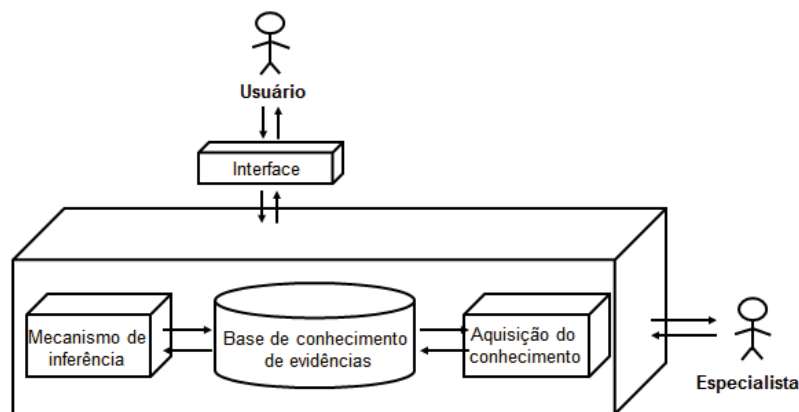
Ademais, um protótipo pode servir como uma base para derivar uma especificação do sistema com qualidade de produção, onde serviços esquecidos podem ser detectados e serviços confusos podem ser identificados. Com base no exposto, o próximo item explana sobre a arquitetura utilizada e a modelagem da aplicação.

5.5.1 Arquitetura e Modelagem da Aplicação

A arquitetura definida para o protótipo tem como finalidade englobar os elementos de *software*, as propriedades destes elementos que são visíveis externamente e os seus relacionamentos. Para o protótipo GF *Evidence-Based* os elementos interagem uns com os outros com auxílio de interfaces que oferecem detalhes sobre um elemento em partes públicas ou privadas. Entretanto, detalhes privados de elementos, tratados como implementação interna, não são arquiteturais.

Dessa forma, a arquitetura do GF *Evidence-Based* é composta por seis módulos: especialistas, aquisição do conhecimento, base de conhecimento, mecanismo de inferência, interface de usuário e usuário. A Figura 28 apresenta a estrutura da arquitetura utilizada.

Figura 28 – Estrutura do protótipo computacional



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Como pode ser visto na Figura 28, o protótipo seguirá a estrutura de arquitetura em módulos, onde cada módulo terá uma finalidade, à saber:

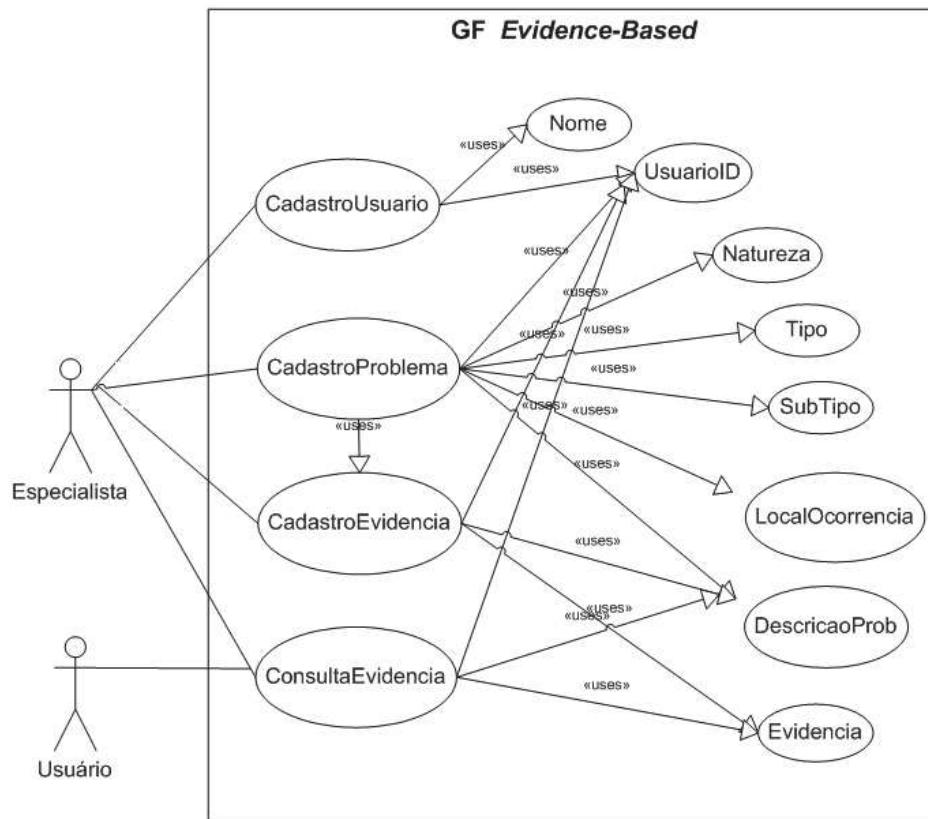
- **Interface gráfica com o usuário** é utilizada na comunicação estabelecida entre o usuário e o protótipo, obtendo assim, informações necessárias para cadastrar falhas e executar buscas e encontrar as soluções para os problemas pretendidos pelo usuário.
- **Aquisição do conhecimento** meio pelo qual se adquire o conhecimento de um ou mais especialistas. Para o GF *Evidence-Based* utilizou-se do método para gerenciamento de falhas baseado em evidências - MGFBE como forma de adquirir o conhecimento sobre o domínio do problema.

- **Base de conhecimento de evidências** é o local onde será armazenado as evidências necessárias para resolver problemas de um domínio específico. Essas informações consistem de fatos, onde os fatos são as informações que estarão sempre disponíveis para o sistema e deverão ser atualizadas pelo usuário especialista de acordo com a necessidade do protótipo.
- **Mecanismo de inferência** é a parte responsável pelas deduções sobre a base de conhecimentos. É por intermédio dele que os fatos e regras que compõem a base de conhecimento são aplicados no processo de resolução do problema.
- **Especialistas** são as pessoas que detém o conhecimento sobre um determinado assunto.
- **Usuário** é o indivíduo que utiliza o sistema para auxiliá-lo na resolução de problemas.

A estrutura utilizada possibilitará ao usuário pesquisar sobre determinado problema e para, em seguida, receber sugestões de ações já realizadas para aquele indicador com base em evidências contidas na base de conhecimento de evidências. Ademais, com intuito de facilitar o entendimento e permitir a visualização do protótipo sob diferentes perspectivas, utilizou a linguagem de modelagem UML *Unified Modeling Language*. A UML é uma linguagem de modelagem gráfica, sendo esta utilizada pelos métodos para expressar projetos (GUEDES, 2018).

Para tanto, definiu-se dois diagramas. O primeiro, **diagrama de casos de uso** teve como objetivo evidenciar os requisitos funcionais do protótipo, representando a interação entre o ator (usuário e especialista) e o sistema. A Figura 29 apresenta esse relacionamento.

Figura 29 – Diagrama de casos de uso do protótipo

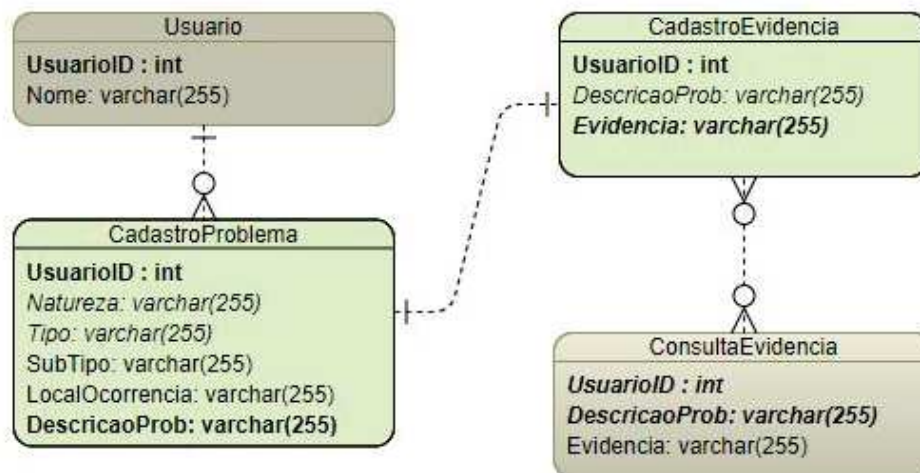


Fonte: Desenvolvido pela autora.

O ator especialista será o responsável por realizar os cadastros de usuário, do problema identificado e da evidência utilizada para resolver o problema. O cadastro de um novo problema só acontecerá com todos os dados devidamente preenchidos. O ator usuário poderá realizar a pesquisa na base de conhecimento de evidência a fim de encontrar de maneira mais rápida a evidência desejada.

O segundo diagrama, **diagrama entidade relacionamento - ER** ilustra como as entidades se relacionam entre si, seus atributos e relacionamentos envolvidos no protótipo. Além disso, visa permitir que o especialista possa realizar a manutenção na base de conhecimento, uma vez que as informações necessárias para o auxílio na tomada de decisão estão armazenadas em um banco de dados. A Figura 30 ilustra o Diagrama Entidade-Relacionamento modelado para o protótipo proposto.

Figura 30 – Diagrama de entidade relacionamento



Fonte: Desenvolvido pela autora.

A utilização da modelagem ER possibilitou a identificação de alguns pontos importantes, a saber: i) as entidades mais relevantes; ii) as propriedades de interesse das entidades utilizadas; iii) o estabelecimento dos atributos e o mapeamento dos relacionamentos existentes entre as entidades e iv) a identificação das restrições das cardinalidades.

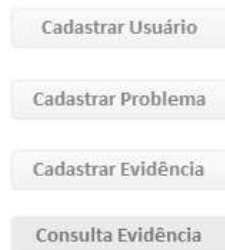
5.5.2 Apresentação do Protótipo Implementado

Conforma já exposto, para o protótipo *GF Evidence-Based* optou-se em utilizar a linguagem de *scripting* Visual Basic em conjunto com Access. A escolha ocorreu por ser uma ferramenta simples para desenvolvimento, apesar de ser limitada, mas, para um protótipo, atende a todos os requisitos necessários. Além de não necessitar de uma infraestrutura para utilização e permitir a automação simples dos processos.

O protótipo foi desenvolvido prevendo a facilidade de uso e sua apresentação pautada no entendimento fácil e direto do usuário. A Figura 31 apresenta a tela principal do *GF Evidence-Based* com suas funcionalidades.

Figura 31 – Tela principal do GF *Evidence-Based*

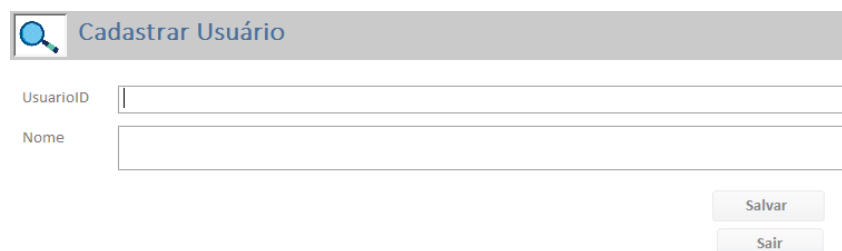
Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Na tela principal é possível visualizar os menus *Cadastrar Usuário*, *Cadastrar Problema*, *Cadastrar Evidência* e *Consulta Evidência*, que permitem o acesso às funcionalidades do protótipo. O menu *Cadastrar Usuário* permite realizar o cadastro com base no identificador do usuário e o nome.

Concluído a etapa de cadastro do usuário, a próxima etapa é a realização do cadastro do problema. No menu *Cadastrar Problema* é possível realizar o cadastro da falha identificada. É nessa funcionalidade que a descrição do problema, que foi identificado na fase 1 do MGFBE, é descrito. As Figura 32 e Figura 33 apresentam as funcionalidades necessárias para o cadastro do usuário e para o cadastro do problema.

Figura 32 – Tela cadastrar usuário do GF *Evidence-Based*A tela de cadastro de usuário, intitulada "Cadastrar Usuário". Ela possui dois campos de entrada de texto: "UsuariID" e "Nome". Abaixo dos campos, há dois botões: "Salvar" e "Sair".

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Figura 33 – Tela cadastrar problema do GF *Evidence-Based*

The screenshot shows a web form titled "Cadastrar Problema". It features a search icon and the title in a grey header bar. Below the header, there are six input fields: "UsuarioID" (a dropdown menu), "Natureza", "Tipo", "Subtipo", "LocalOcorrencia", and "DescricaoProb" (a larger text area). At the bottom right, there are two buttons: "Salvar" and "Sair".

Fonte: Desenvolvido pela autora.

É importante ressaltar que todos os campos do protótipo são de preenchimento obrigatório. Essa medida permite que informações importantes sobre o problema da falha não deixem de ser preenchidas. Na tela *Cadastrar Evidência* é possível cadastrar a evidência tendo como parâmetro para cadastro o identificador do usuário e o problema. Nesse momento, ao selecionar o *UsuarioID* o protótipo carrega a descrição do problema cadastrado por esse usuário o que permite associar a evidência cadastrada para a resolução daquele problema. As Figura 34 mostra a interface para cadastro das evidências.

Figura 34 – Tela cadastrar evidência do GF *Evidence-Based*

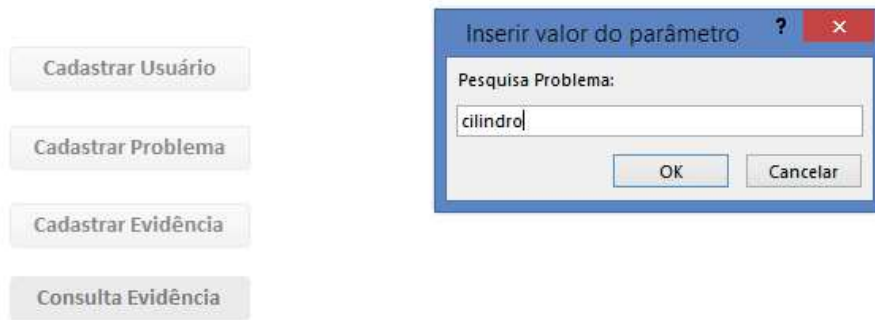
The screenshot shows a web form titled "Cadastrar Evidência". It features a search icon and the title in a grey header bar. Below the header, there are three input fields: "UsuarioID" (a dropdown menu), "DescricaoProb", and "Evidencia" (a text area with a vertical scrollbar). At the bottom right, there are two buttons: "Salvar" and "Sair".

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Para a funcionalidade *Consulta Evidência*, ilustrada na Figura 35 e na Figura 36, se realiza a consulta na base de evidências tendo como parâmetro uma palavra-chave digitada pelo usuário que descreve o problema. Ao realizar a consulta, o protótipo retorna com a descrição da evidência gerada pelo sistema para o problema consultado.

Figura 35 – Tela pesquisar evidência do GF Evidence-Based

Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências



Fonte: Desenvolvido pela autora.

Figura 36 – Resultado pesquisa evidência

| UsuarioID | Contexto | Intervenção | Mecanismo | Resultado |
|-----------|------------------|--|---|---|
| 1277797 | SR-Manutenção L1 | Instalar 3 cilindros para amortecer queda da barra no 2º passe das calhas da trio | FOI AVALIADO O PROGETO E ENTENDIDO QUE ESTA AÇÃO NÃO TEM COMO SER REALIZADA POR SER MUITO COMPLEXA E NÃO TER GARANTIA DE SOLUCIONAR O PROBLEMA. | Ação não realizada |
| 1284464 | SR-Laminador L1 | Padronizar o uso dos raspadores por diâmetro do cilindro e comprimento da saída do 2º passe. | Raspadores utilizados conforme desenho e com alteração do parafuso a rotina de montagem e regulagem está adequada mantendo apenas um modelo. | |
| 1378311 | SR-Trefila 1 | Tampas dos cilindros soltas | INSPECIONAR AS TAMPAS DOS CILINDROS, EM CASO DE ESTAREM SOLTAS, UTILIZAR COLA ESPECIAL PARA TRAVAR. | DURANTE AS TROCAS DE CILINDROS E POSTERIOR À REFORMAS DAS MESAS ELEVATÓRIAS, TEM SIDO VERIFICADO ESTE ITEM. FORAM 04 INTERVENÇÕES DESTE TIPO. |

Sair

Fonte: Desenvolvido pela autora.

O retorno da consulta foi estruturado tendo como base a ferramenta CIMO (Contexto, Intervenção, Mecanismo e *Outcomes*). Sua utilização no resultado da consulta permitiu organizar os dados de retorno da consulta de modo a explicitar o contexto, o mecanismo e as configurações dos resultados relevantes da pesquisa. O Quadro 25 apresenta a estruturação realizada.

Quadro 25 – Estrutura função consulta evidência

| Contexto | Intervenção | Mecanismo | Outcomes |
|---------------------------------|--|--|----------------------|
| Local de ocorrência do problema | Qual problema está influenciando para alcançar os resultados | Diferentes ações que são executadas a partir da Intervenção, ou seja, as evidências identificadas para determinado problema. | Resultados esperados |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Nesse sentido, quando determinado problema estiver cadastrado mais de uma evidência como solução, o protótipo retorna na pesquisa a listagem contendo todas as soluções que foram cadastradas para aquele problema, independente de quem cadastrou o problema. No que tange a manutenção da base de evidências, devem ser seguidos os mesmos procedimentos realizados para cadastro do problema, sendo possível realizar o cadastro de novas evidências, assim como listar todas já cadastradas.

Diante desse contexto, todas as informações cadastradas na base de evidências são resultantes da aplicação do método para gerenciamento de falhas baseado em evidências - MGFBE. O sucesso da aplicação do protótipo é pautado na importância de seguir passo a passo todas as etapas propostas no método, que apresenta a sequência das atividades que permitem ter o entendimento real da falha e a análise detalhada e confiável da evidência que auxiliará na resolução do problema.

5.6 Validação do Artefato Computacional

Para validação do protótipo optou-se pela realização do teste funcional (*black box*). O teste caixa preta é fundamentado na observação do resultado de saída conforme a entrada dos dados. A finalidade de realizar testes do tipo caixa preta é verificar aspectos externos ao protótipo, ao mesmo tempo que requisitos funcionais são avaliados. Dessa forma, o objetivo da validação do protótipo foi identificar possíveis defeitos, erros ou falhas. Além disso, verificar a facilidade que o protótipo possui para ser compreendido e manipulado pelo usuário.

Os testes foram realizados pela pesquisadora e sua execução foi direcionada a partir de casos de testes pré definidos. A validação do protótipo abrangeu testar dois critérios principais, conforme apresentado no Quadro 26.

Quadro 26 – Critérios avaliados para validação do protótipo

| Interface | Performance |
|---|--|
| Organização dos itens disponíveis na tela; | Tempo de resposta do protótipo ao realizar uma determinada ação; |
| Layout correto e posicionamento dos botões; | Combinações possíveis na área de entrada de dados; |
| | Funcionamento dos botões para prosseguir o fluxo de processamento; |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Com base nos critérios apresentados no Quadro 26, os testes foram realizados utilizando um volume considerado de dados, sendo utilizado dados criados na hora e também dados reais. Além disso, foram gerados cenários de testes para o protótipo. Esses cenários, descritos no Quadro 27, serviram para direcionar a elaboração dos casos de testes.

Quadro 27 – Cenários de teste do protótipo

| Cenário | Descrição do Cenário |
|----------------|---|
| I | Verificar se o protótipo permite cadastrar usuário; |
| II | Verificar se o protótipo permite cadastrar os problemas; |
| III | Verificar se o protótipo permite cadastrar as evidências; |
| IV | Verificar se o protótipo permite consultar evidências; |
| V | Verificar se após o cadastro do usuário o protótipo grava os dados no banco de dados; |
| VI | Verificar se após o cadastro do problema o protótipo grava os dados no banco de dados; |
| VII | Verificar se após o cadastro da evidência o protótipo grava os dados no banco de dados; |
| VIII | Verificar se o protótipo permite realizar consulta na base de evidências; |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Ademais, aspectos reais de uso do protótipo pelo usuário foram simulados. Os casos de teste foram definidos tendo como diretriz os cenários de teste. Para a geração dos casos de testes primeiramente foi estabelecido as entradas e saídas do protótipo para cada cenário de teste.

Para realizar a avaliação do protótipo foi organizado um esquema de utilização a ser seguido no teste. Cada atividade proposta para ser realizada no teste possui relação direta com as atividades implementadas no protótipo. O Quadro 28 apresenta os casos de testes que foram realizados com intuito de validar o protótipo.

Quadro 28 – Casos de teste

| Casos de Uso | ID | Passos | Resultado Esperado |
|----------------------------|-----------|--|--|
| Cadastrar Usuário | 1 | Acessar a página principal do protótipo; | Página principal será exibida; |
| | 2 | Clicar no ícone Cadastrar Usuário; | A página com os campos para cadastro serão exibidas; |
| | 3 | Clicar em Salvar; | O protótipo Salva o cadastro do usuário; |
| Cadastrar Problema | 1 | Acessar a página principal do protótipo; | Página principal será exibida; |
| | 2 | Clicar no ícone Cadastrar Problema | A página com os campos para cadastro serão exibidas; |
| | 3 | Clicar em Salvar; | O protótipo Salva o cadastro do problema; |
| Cadastrar Evidência | 1 | Acessar a página principal do protótipo; | Página principal será exibida; |
| | 2 | Clicar no ícone Cadastrar Evidência; | A página com os campos para cadastro serão exibidas; |
| | 3 | Clicar em Salvar; | O protótipo Salva o cadastro da evidência; |
| Consulta Evidência | 1 | Acessar a página principal do protótipo; | Página principal será exibida; |
| | 2 | Inserir uma palavra que representa o problema que deseja pesquisar e clicar em Ok; | Fluxo 1: o protótipo retorna a evidência cadastrada relativa ao problema pesquisado; Fluxo 2: o protótipo retorna os campos vazios; |
| | 3 | Cancelar a ação de pesquisa | O sistema retorna para a página principal; |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Os casos de uso descritos no Quadro 28 tiveram como finalidade testar as funcionalidades *Cadastrar Usuário*, *Cadastrar Problema*, *Cadastrar Evidências* e *Consulta Evidência*. Para cada requisito levou-se em consideração o resultado esperado para a ação testada, tempo de processamento para a execução da ação e também o fluxo do processamento. Concomitantemente,

ao testar as funcionalidades também era verificado a criação dos dados no banco de dados e facilidade de navegação entre as telas.

5.6.1 Síntese dos Resultados da Validação do Protótipo

Testar um protótipo tem o intuito de garantir a qualidade, minimizando as incertezas e sistematizando os critérios para sua aceitação. O teste ajuda a legitimar se as regras de negócio estão sendo atendidas e se o protótipo apresenta um funcionamento aceitável.

Diante do exposto e com intuito de validar o protótipo e garantir a sua qualidade, seguiu-se na íntegra todos os casos de testes que foram descritos no Quadro 28. Abrangendo os requisitos funcionais, requisitos ligados a funcionalidade do protótipo e também alguns requisitos não funcionais, que são os requisitos ligados à atributos de qualidade, como performance esperada e segurança.

Dessa forma, ao analisar os resultados gerados a partir da realização dos testes do protótipo alguns pontos foram identificados e sendo classificados como requisitos de melhorias necessários para inclusão no momento de implementação do software. Dentre as melhorias pode-se destacar: i) inclusão de mensagem de erro ao digitar um valor invalido para determinado campo; ii) inclusão de mensagem sinalizando o sucesso ao cadastrar usuário, problema e evidências; iii) inclusão de login no sistema para sua utilização com níveis de acesso; iv) mensagem avisando que não possui na base de dados a evidência para o problema pesquisado; e por fim v) inclusão de mecanismos de segurança de acesso e recuperação de senha.

Em relação a capacidade de processamento, o tempo de resposta para acessar as funcionalidades e também o tempo de resposta para consulta a base de evidências estavam dentro do esperado, não ultrapassando o tempo máximo de espera de 10 segundos. Esse tempo de resposta se manteve mesmo com carga de dados superior a dois mil problemas cadastrados.

Referente ao critério interface, sabe-se que a interface faz parte do sistema computacional e determina como as pessoas operam e controlam o sistema. Dessa forma, ela precisa ser bem projetada, compreensível, agradável, controlável e, principalmente, desperte o interesse dos seus usuários. Com isso, nos testes realizados constatou-se uma facilidade de navegação, estando apropriada para a área do problema proposto. Além disso, a interface possui uma linguagem e termos comuns para o uso dos usuários, sendo intuitiva e auto explicativa.

Por fim, todas as funcionalidades e métodos de acesso ao banco de dados funcionaram conforme projetado e sem nenhuma deterioração dos dados. Os testes realizados, por se tratar de um protótipo computacional, alcançaram todos os objetivos propostos para sua validação. Permitindo direcionamento de melhorias que possam vir a ser implementadas na versão *software* para o protótipo.

Além disso, o protótipo cumpre sua função e satisfaz todas as necessidades de negócio dos usuários finais do sistema. Os resultados gerados são precisos e consistentes, permitindo seu

uso para a tomada de decisão. Sua utilização é de fácil entendimento, confiável e principalmente, estável.

Pode-se, também, elencar alguns benefícios alcançados ao testar o protótipo, à saber: i) maior chances de sucesso no momento que for realizar a implementação da versão final do protótipo (versão *software*); ii) verificação de erros de processamento e procedimentos de exceção; e iii) verificação da capacidade do tratamento dos dados e desempenho operacional. Todos esses benefícios ajudaram a reduzir o tempo de desenvolvimento e a taxa de erro no momento da implementação final do produto.

6 CONCLUSÕES

Com o objetivo de melhorar a eficácia do processo de tomada de decisão para o gerenciamento de falhas, este trabalho apresentou um método para direcionar esse processo. Este método foi criado a partir de aspectos teóricos, oriundos de uma revisão bibliográfica, e a partir de aspectos práticos, oriundos de informações de especialistas.

A proposição de um método para direcionar a tomada de decisão no gerenciamento de falhas foi o objetivo principal desta pesquisa. Para tanto, duas abordagens principais foram utilizadas: a Gestão Baseada em Evidências e a Prototipação de *Software*.

A Gestão Baseada em Evidências forneceu a estrutura teórica e metodológica para entender e estabelecer as relações necessárias para a tomada de decisão baseada em evidências. Permitindo, assim, estabelecer as etapas principais para o método proposto. A Prototipação de *Software* forneceu a base ferramental para a construção do modelo que concretiza o método proposto. Seu objetivo foi facilitar o entendimento dos requisitos de uma aplicação. Além disso, ela permite apresentar conceitos e funcionalidades do software de modo simplificado.

Ao comparar o Método para Gerenciamento de Falhas Baseado em Evidências - MGFBE a métodos identificados na revisão de literatura, observam-se os seguintes avanços: i) inclusão do conceito de gestão baseada em evidências para a tomada de decisão no gerenciamento de falhas; ii) sistematização de processos e ferramentas para auxiliar na tomada de decisão, facilitando a construção e garantindo o cumprimento de cada etapa; iii) definição de critérios para a priorização das falhas e definição do grau de impacto com o auxílio da avaliação de concordância entre especialistas; iv) qualidade das informações utilizadas para a tomada de decisão.

A proposição e a avaliação do método em todas as suas etapas permitem concluir que o objetivo desta pesquisa foi atendido de maneira satisfatória. Dessa forma, discute-se, a seguir, as principais contribuições desta pesquisa que explicitam, por sua vez, o atendimento aos objetivos específicos propostos.

O método proposto tem como principal contribuição a aplicação da gestão baseada em evidências como uma abordagem que direciona a tomada de decisão no gerenciamento de falhas na indústria. Sob esse ponto de vista, não foram encontrados aplicações da EBM no contexto industrial na revisão da literatura. Sua utilização, até então restrita em algumas áreas, confirma a lacuna existente da utilização da gestão baseada em evidências, vindo essa pesquisa avançar nesse contexto.

Para garantir que as decisões sejam qualificadas e baseadas nas melhores evidências disponíveis, as evidências externas, em especial as provenientes da literatura científica, são necessárias. Por estarem atreladas a trabalhos publicados em periódicos acadêmicos, *journals*, etc, permitem o acesso a novas pesquisas e, muitas vezes, podem até mudar a compreensão de

determinada falha. Portanto, as evidências científicas, como base de sustentação para a tomada de decisão, é um dos diferenciais do MGFBE em relação aos demais métodos, sendo também uma das contribuições da pesquisa.

Para garantir o registro das evidências consolidadas e permitir sua replicabilidade, uma base de conhecimento de evidências foi desenvolvida. A base de conhecimento permite a utilização das evidências cadastradas na solução de problemas, permitindo generalizá-las à classe de problemas a qual está cadastrada, delimitando seu campo de aplicação.

Além disso, a melhoria contínua de processos e informações geradas pelo MGFBE requer a renovação do método ao longo do tempo, pois novas ferramentas, técnicas e bases de dados de evidências passarão a existir no futuro, fruto de novas pesquisas. Nesse sentido, se faz necessário a integração das informações, como a ferramenta de evidenciação do Relatório Final de aplicação da método. O objetivo do Relatório Final é agregar informações em um relatório único e conciso, permitindo uma visão clara e atual em relação a estratégia adotada para resolução de determinada falha.

Por integrar informações importantes, o relatório final passa a ser uma ferramenta de visão abrangente do negócio, sendo que a comunicação se torna ponto chave. Nesse sentido, o relatório final passa a ser visto como uma fonte de evidências interna para futuros problemas no gerenciamento de falhas.

Por fim, o desenvolvimento de um protótipo computacional, contemplando a base de conhecimento de evidências, como recurso para apoio à tomada de decisão servirá de elo de ligação para a implementação da indústria inteligente. Sua utilização, em conjunto com MGFBE auxiliará no direcionamento da tomada de decisão no gerenciamento de uma falha, permitindo um melhor desempenho operacional, melhoria na tomada de decisão e aumento da eficácia operacional e eficiência dos funcionários envolvidos.

6.1 Limitações do Estudo

As limitações desta pesquisa são inerentes ao método escolhido, a saber, a pesquisa qualitativa, bem como à dificuldade de acesso aos especialistas e avaliadores do método. Outra limitação encontrada centram-se nas dificuldades para aplicação do método.

Com o surgimento de uma pandemia de nível global e com suas rígidas orientações de restrições, impossibilitaram que a empresa onde seria realizada a aplicação do método recebesse a pesquisa. Tal situação inviabilizou a finalização do projeto como originalmente previsto.

A principal limitação, no entanto, diz respeito à impossibilidade de realizar as análises em conjunto com os representantes da empresa. Dessa forma, a modificação no projeto não possibilitou a realização da avaliação do método com os tomadores de decisão. Pretendia-se, ao final, realizar entrevistas com os participantes a fim de coletar suas percepções quanto à

adequação e utilidade do método.

Com essas entrevistas, objetivava-se verificar se as contribuições aqui explicitadas foram efetivamente percebidas pelos envolvidos no projeto, ou seja, se os participantes consideravam que o método proposto produziu melhores resultados. Esperava-se, igualmente, obter sugestões de melhoria a serem incorporadas em uma nova versão do método.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho é o início de um esforço de pesquisa que visa trazer para o contexto da indústria a utilização da gestão baseada em evidências como forma de auxiliar na tomada de decisão. Pode-se afirmar que há muito a ser feito para que a gestão baseada em evidências seja vista como um suporte para o processo de tomada de decisão em um processo produtivo. Nesse sentido, considerando as contribuições e avanços desta pesquisa, apresentam-se sugestões para pesquisas futuras.

Primeiramente, é identificada a necessidade de pesquisas adicionais, focadas na integração de conceitos e práticas da gestão baseada em evidências na indústria. Favorecendo para a disseminação do conhecimento e, principalmente, auxiliando para que a aplicação do conceito gestão baseada em evidências seja amplamente utilizável em sistemas produtivos.

Em segundo lugar, em relação ao MGFBE, percebe-se a necessidade da aplicação em um sistema produtivo real como forma de auxiliar na tomada de decisão. O envolvimento dos profissionais da área durante a aplicação e o uso das informações geradas pelo MGFBE para a tomada de decisão, contribuirão para testar sua efetividade na prática.

Um terceiro ponto, é possível descrever o desenvolvimento completo de um *software* tendo como base o protótipo implementado. Porém, antes dessa fase é recomendável realizar uma nova avaliação desse protótipo, o qual deve conter as melhorias levantadas no trabalho. A partir do protótipo corrigido indica-se realizar novos testes, mesclando também outras técnicas de avaliação.

Por fim, a quarta sugestão avança na realização de testes específicos para o *software*, pois permitirá avaliar pontos positivos e negativos do sistema implementado. As considerações geradas com a avaliação do produto final permitirá ao pesquisador avaliar situações críticas, pontos de melhoria e, se for necessário, novas implementações.

REFERÊNCIAS

- ABNT, N. 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. *Rio de Janeiro*, 1994. Citado na página 26.
- ABOELMAGED, M. G. Predicting e-readiness at firm-level: An analysis of technological, organizational and environmental (toe) effects on e-maintenance readiness in manufacturing firms. *Int. J. Inf. Manag.*, v. 34, p. 639–651, 2014. Citado na página 27.
- ADAMS, R. J.; SMART, P.; HUFF, A. S. Shades of grey: guidelines for working with the grey literature in systematic reviews for management and organizational studies. *International Journal of Management Reviews*, Wiley Online Library, v. 19, n. 4, p. 432–454, 2017. Citado na página 91.
- AHMED, M. B.; SANIN, C.; SZCZERBICKI, E. Experience-based decisional dna (ddna) to support product development. *Cybernetics and Systems*, Taylor & Francis, v. 49, n. 5-6, p. 399–411, 2018. Citado na página 17.
- ALAN, R. H. V. et al. Design science in information systems research. *MIS quarterly*, Springer, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004. Citado na página 43.
- ALQAHTANI, A. Y.; GUPTA, S. M.; NAKASHIMA, K. Warranty and maintenance analysis of sensor embedded products using internet of things in industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 208, p. 483–499, 2019. Citado na página 27.
- ANGELOPOULOS, A. et al. Tackling faults in the industry 4.0 era—a survey of machine-learning solutions and key aspects. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 20, n. 1, p. 109, 2020. Citado na página 17.
- BABA, V. V.; HAKEMZADEH, F. Toward a theory of evidence based decision making. *Management Decision*, v. 50, n. 5, p. 832–867, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/00251741211227546>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 23 e 24.
- BAHRAMI, M.; BAZZAZ, D. H.; SAJJADI, S. M. Innovation and improvements in project implementation and management; using fmea technique. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, v. 41, p. 418–425, 2012. Citado na página 71.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo (edição revista e actualizada). *Lisboa: Edições*, v. 70, 2009. Citado na página 53.
- BARENDS, D. et al. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of fmea. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, Elsevier, v. 64, p. 82–86, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 71 e 84.
- BARENDS, E.; ROUSSEAU, D.; BRINER, R. Cebma guideline for rapid evidence assessments in management and organizations (version 1.0). Retrieved from *Stiching Center for Evidence Based Management: <https://www.cebma.org/wp-content/uploads/CEBMA-REA-Guideline.pdf>*, 2017. Citado na página 38.
- BARENDS, E.; ROUSSEAU, D. M.; BRINER, R. B. *Evidence-based management: The basic principles*. [S.l.]: Amsterdam, 2014. Citado 10 vezes nas páginas 16, 21, 32, 33, 34, 35, 38, 62, 74 e 79.

- BARNES, D. Research methods for the empirical investigation of the process of formation of operations strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, MCB UP Ltd, v. 21, n. 8, p. 1076–1095, 2001. Citado na página 41.
- BENYON, D. Interação humano-computador. *Tradução de Heloisa Coimbra de Souza. 2a. ed. Sao Paulo: Person Prentice Hall*, p. 464, 2011. Citado na página 98.
- BORREGO, M.; FOSTER, M. J.; FROYD, J. E. Systematic literature reviews in engineering education and other developing interdisciplinary fields. *Journal of Engineering Education*, Wiley Online Library, v. 103, n. 1, p. 45–76, 2014. Citado na página 76.
- BRETTEL, M. et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, World Academy of Science, Engineering and Technology, v. 8, n. 1, p. 37 – 44, 2014. ISSN eISSN:1307-6892. Disponível em: <<http://waset.org/Publications?p=85>>. Citado na página 14.
- BRINER, R. B.; BARENDIS, E. The role of scientific findings in evidence-based hr. *People and Strategy*, Human Resource Planning Society, v. 39, n. 2, p. 16, 2016. Citado 5 vezes nas páginas 36, 39, 40, 83 e 125.
- BRINER, R. B.; DENYER, D.; ROUSSEAU, D. M. Evidence-based management: concept cleanup time? *The Academy of Management Perspectives*, Academy of Management, v. 23, n. 4, p. 19–32, 2009. Citado na página 40.
- BURZLAFF, F. Knowledge-driven architecture composition. *INFORMATIK 2017*, Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2017. Citado na página 32.
- CARRIÓ, R. T. Industria 4.0:¿ qué impacto tiene en la producción y el empleo? *La Revista del Foment*, Fomento del Trabajo Nacional, n. 2146, p. 38–41, 2015. Citado na página 29.
- CEBMA. Evidence-based management assessment for organizations. 2013. Disponível em: <<http://www.cebma.org/wp-content/uploads/EBMgt-Assessment-for-Organizations-vs-May-2013.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 85.
- CERRADA, M. et al. Agents-based design for fault management systems in industrial processes. *Computers in Industry*, Elsevier, v. 58, n. 4, p. 313–328, 2007. Citado na página 26.
- CERVO, A. I.; bervian, pa metodologia científica. *Pearson Prentice Hall São Paulo*, v. 5, p. 66, 2002. Citado na página 42.
- CHEN, Y. Integrated and intelligent manufacturing: Perspectives and enablers. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 588 – 595, 2017. ISSN 2095-8099. Citado na página 18.
- CHIN, K.-S. et al. Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 36, n. 6, p. 1768–1779, 2009. Citado na página 64.
- CHRYSSOLOURIS, G. et al. Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 223, n. 5, p. 451–462, 2009. Citado na página 30.

CNI. Confederação nacional da indústria. 2017. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 28.

DALKIR, K. *Knowledge management in theory and practice*. [S.l.]: Routledge, 2013. Citado na página 29.

DENYER, D.; TRANFIELD, D. *Producing a systematic review*. Sage Publications Ltd, 2009. Citado na página 74.

DONG, L.; MINGYUE, R.; GUOYING, M. Application of internet of things technology on predictive maintenance system of coal equipment. *Procedia engineering*, Elsevier, v. 174, p. 885–889, 2017. Citado na página 28.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015. Citado 6 vezes nas páginas 41, 42, 43, 44, 46 e 47.

ELHALIM, E. K. A. et al. An efficient maintenance plan using proposed framework of rcm made simple approach. *Industrial Engineering & Management Systems*, v. 18, n. 2, p. 222–233, 2019. Citado na página 15.

ERMEL, A. P. C. *Literature Grounded Theory: Método de Pesquisa para Investigação sobre o Conhecimento Científico e Tecnológico*. Dissertação de Mestrado, 2020. Citado na página 49.

FERNANDES, M. et al. Data analysis and feature selection for predictive maintenance: a case-study in the metallurgic industry. *International Journal of Information Management*, Elsevier, v. 46, p. 252–262, 2019. Citado na página 27.

FRANCALANZA, E.; BORG, J.; CONSTANTINESCU, C. A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems. *Computers in Industry*, Elsevier, v. 84, p. 39–58, 2017. Citado na página 19.

FSP. Fortalecimento da indústria 4.0 requer agenda de prioridades. *Folha de São Paulo*, 2018. Disponível em: <<https://www.folha.uol.com.br>>. Citado na página 24.

FUENTES-HUERTA, M. A. et al. Rcm implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 95, n. 9-12, p. 3465–3473, 2018. Citado na página 15.

GAROUSI, V.; FELDERER, M.; MÄNTYLÄ, M. V. Guidelines for including grey literature and conducting multivocal literature reviews in software engineering. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 106, p. 101–121, 2019. Citado na página 91.

GONÇALO, C. R.; BORGES, M. d. L. Organizações de saúde intensivas em conhecimento: um estudo no contexto de serviços de alta complexidade. *Saúde e Sociedade*, SciELO Public Health, v. 19, p. 449–461, 2010. Citado na página 24.

GUEDES, G. T. *UML 2-Uma abordagem prática*. [S.l.]: Novatec Editora, 2018. Citado na página 100.

GUPTA, S. An analysis of ui/ux designing with software prototyping tools. In: *Crowdsourcing and Probabilistic Decision-Making in Software Engineering: Emerging Research and Opportunities*. [S.l.]: IGI Global, 2020. p. 134–145. Citado na página 98.

HAIANY, H. A. *Reliability Centered Maintenance: Different Implementation Approaches*. 2016. Citado na página 15.

HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. *MIS quarterly*, JSTOR, p. 75–105, 2004. Citado na página 47.

HOLMSTRÖM, J.; TUUNANEN, T.; KAUREMAA, J. Logic for accumulation of design science research theory. In: IEEE. *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences*. [S.l.], 2014. p. 3697–3706. Citado na página 75.

HUANG, Y. et al. An inner-enterprise wiki system integrated with semantic search for reuse of lesson-learned knowledge in product design. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 230, n. 3, p. 548–561, 2016. Citado na página 30.

IBM. Faça parte da era da computação cognitiva. 2017. Disponível em: <<http://www.ibm.com/br-pt/>>. Citado na página 18.

KAGERMANN, H. et al. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. [S.l.]: Forschungsunion, 2013. Citado na página 23.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Frankfurt, Main: Acatech, 2013. 4-7 p. Citado 4 vezes nas páginas 14, 15, 22 e 23.

KAUARK, F. d. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. Metodologia da pesquisa: um guia prático. Via Litterarum, 2010. Citado na página 41.

KENDALL, M. G.; SMITH, B. B. *Tables of random sampling numbers*. [S.l.]: University Press, 1939. Citado na página 71.

KHAN, Z. A. et al. Agent-based fault tolerant framework for manufacturing process automation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Taylor & Francis, v. 32, n. 3, p. 268–277, 2019. Citado na página 26.

KLÖBER-KOCH, J. et al. Knowledge-based decision making in a cyber-physical production scenario. *Procedia Manufacturing*, v. 9, n. Supplement C, p. 167 – 174, 2017. ISSN 2351-9789. 7th Conference on Learning Factories, CLF 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917301324>>. Citado na página 16.

KUMAR UDAY E GALAR, D. Manutenção na era da indústria 4.0: questões e desafios. In: SPRINGER (Ed.). *Qualidade, TI e operações de negócios*. [S.l.: s.n.]. p. 231–250. Citado na página 28.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. d. A. Metodologia científica. são paulo: Atlas, 2000. *Metodologia do trabalho científico*, v. 6, 2010. Citado na página 41.

LAW, M.; PHILP, I. Systematically reviewing the evidence. *Law M. Evidence-based rehabilitation: a guide to practice*. Thorofare (NJ): SLACK Inc, p. 83–89, 2002. Citado na página 77.

- LEE, J.; BAGHERI, B.; JIN, C. Introduction to cyber manufacturing. *Manufacturing Letters*, v. 8, n. Supplement C, p. 11 – 15, 2016. ISSN 2213-8463. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213846316300049>>. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 81.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; JIN, C. Introduction to cyber manufacturing. *Manufacturing Letters*, Elsevier, v. 8, p. 11–15, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 61, 66 e 92.
- LEITÃO, P.; COLOMBO, A. W.; KARNOUSKOS, S. Industrial automation based on cyber-physical systems technologies. *Comput. Ind.*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 81, n. C, p. 11–25, set. 2016. ISSN 0166-3615. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2015.08.004>>. Citado na página 17.
- LI, Z.; WANG, Y.; WANG, K.-S. Intelligent predictive maintenance for fault diagnosis and prognosis in machine centers: Industry 4.0 scenario. *Advances in Manufacturing*, Springer, v. 5, n. 4, p. 377–387, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 28.
- LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. *Systematic reviews and meta-analysis*. [S.l.]: Oxford University Press, 2008. Citado na página 74.
- LIU, H.-C.; LIU, L.; LIU, N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert systems with applications*, Elsevier, v. 40, n. 2, p. 828–838, 2013. Citado na página 56.
- LIU, H.-C. et al. Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended vikor method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 39, n. 17, p. 12926–12934, 2012. Citado na página 64.
- LIU, H.-C. et al. Improving risk evaluation in fmea with a hybrid multiple criteria decision making method. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Emerald Group Publishing Limited, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 71 e 83.
- LO, H.-W. et al. A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 183, p. 173–183, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 14, 20 e 56.
- LONGO, R. M. J. Gestão do conhecimento: A mudança de paradigmas empresariais no século xxi. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2014. Citado na página 31.
- MANSON, N. Is operations research really research? *Orion, ORSSA*, v. 22, n. 2, p. 155–180, 2006. Citado na página 43.
- MARCONNET, B. et al. Towards an approach to link knowledge and prediction in product design. In: SPRINGER. *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*. [S.l.], 2015. p. 248–258. Citado na página 30.
- MARR, B. What everyone must know about industry 4.0. *The Forbes*, v. 20, 2016. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#327956184e3b>>. Citado 5 vezes nas páginas 15, 17, 23, 81 e 92.
- MAY, J. H. et al. A knowledge-based approach for improving information and decision making in a small business. *Information & management*, Elsevier, v. 21, n. 3, p. 177–189, 1991. Citado na página 18.

MONOSTORI, L. et al. Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, Elsevier, v. 65, n. 2, p. 621–641, 2016. Citado na página 29.

MORANDI, M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão sistemática da literatura. *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, p. 141–75, 2015. Citado na página 49.

NONAKA, I.; KROGH, G. V.; VOELPEL, S. Organizational knowledge creation theory: Evolutionary paths and future advances. *Organization studies*, Sage Publications London, Thousand Oaks, CA & New Delhi, v. 27, n. 8, p. 1179–1208, 2006. Citado na página 29.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. Tradução de ana beatriz rodrigues e priscilla martins celeste. *Criação do Conhecimento na Empresa: como as empresas geram a dinâmica da inovação*, v. 20, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

NUTT, P. C. Surprising but true: Half the decisions in organizations fail. *The Academy of Management Executive*, Academy of Management, v. 13, n. 4, p. 75–90, 1999. Citado na página 17.

NUZZO, P. et al. A platform-based design methodology with contracts and related tools for the design of cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 103, n. 11, p. 2104–2132, 2015. Citado na página 19.

OLIVA, F. L. Knowledge management barriers, practices and maturity model. *Journal of Knowledge Management*, Emerald Group Publishing Limited, v. 18, n. 6, p. 1053–1074, 2014. Citado na página 29.

OTTO, J.; VOGEL-HEUSER, B.; NIGGEMANN, O. Automatic parameter estimation for reusable software components of modular and reconfigurable cyber-physical production systems in the domain of discrete manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 14, n. 1, p. 275–282, Jan 2018. ISSN 1551-3203. Citado 3 vezes nas páginas 15, 92 e 93.

PALADY, P. Fmea. *Análise dos modos de falha e efeitos prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. São Paulo: Editora Instituto Iman, 1997. Citado na página 71.

PARISI, M. L. et al. Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, v. 108, p. 514–524, 2015. Citado na página 22.

PEETERS, J.; BASTEN, R. J.; TINGA, T. Improving failure analysis efficiency by combining fta and fmea in a recursive manner. *Reliability engineering & system safety*, Elsevier, v. 172, p. 36–44, 2018. Citado na página 64.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, Taylor & Francis, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 34, 42 e 66.

PEGN. Conheça as oportunidades por trás da indústria 4.0. *Pequenas Empresas & Grandes Negócios*, 2016. Disponível em: <<https://revistapegn.globo.com/>>. Citado na página 24.

PEGN. Brasil se insere na indústria 4.0, mas é preciso acelerar o passo. *Pequenas Empresas & Grandes Negócios*, 2019. Disponível em: <<https://revistapegn.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/10/brasil-se-insere-na-industria-40-mas-e-preciso-acelerar-o-passo.html>>. Citado na página 24.

- PETNGA, L.; AUSTIN, M. An ontological framework for knowledge modeling and decision support in cyber-physical systems. *Advanced Engineering Informatics*, Elsevier, v. 30, n. 1, p. 77–94, 2016. Citado na página 19.
- PFEFFER, J.; SUTTON, R. I. *Hard facts, dangerous half-truths, and total nonsense: Profiting from evidence-based management*. [S.l.]: Harvard Business Press, 2006. Citado 5 vezes nas páginas 16, 17, 34, 38 e 40.
- POSSELT, G. et al. Intelligent learning management by means of multi-sensory feedback. *Procedia CIRP*, Elsevier, v. 54, p. 77–82, 2016. Citado na página 32.
- QIN, J.; XI, Y.; PEDRYCZ, W. Failure mode and effects analysis (fmea) for risk assessment based on interval type-2 fuzzy evidential reasoning method. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 89, p. 106134, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 61 e 64.
- QUANDT, C. Impactos da implantação do processo de gestão do conhecimento na estruturação dos sistemas de informações empresariais. In: *International Symposium on Knowledge Management/Document Management*. Curitiba, PUCPR/CITS. [S.l.: s.n.], 2001. Citado na página 29.
- RAHMANI, K.; THOMSON, V. Ontology based interface design and control methodology for collaborative product development. *Computer-Aided Design*, Elsevier, v. 44, n. 5, p. 432–444, 2012. Citado na página 30.
- RAHMAWATI, Y.; UTOMO, C. The influence of knowledge management to integrated design. In: IEEE. *Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014 1st International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 193–198. Citado na página 30.
- REAY, T.; BERTA, W.; KOHN, M. K. What’s the evidence on evidence-based management? *Academy of Management Perspectives*, Academy of Management Briarcliff Manor, NY, v. 23, n. 4, p. 5–18, 2009. Citado na página 23.
- RICHTER, F. A. Cultura organizacional e gestão do conhecimento. *Organizações do conhecimento: infra-estrutura, pessoas, e tecnologias*. São Paulo: Saraiva, 2002. Citado na página 29.
- ROUSSEAU, D. M. Is there such a thing as “evidence-based management”? *Academy of management review*, Academy of Management, v. 31, n. 2, p. 256–269, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 16, 32, 35 e 66.
- ROWLEY, J. Evidence-based marketing. *International Journal of Market Research.*, v. 54, n. 4, p. 521–541, 2012. Citado na página 78.
- SANIN, C. et al. Experience based knowledge representation for internet of things and cyber physical systems with case studies. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 92, p. 604–616, 2019. Citado na página 81.
- SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. *Research methods for business students london*: Pitman. 2009. Citado na página 42.
- SCHEUERMANN, C. et al. Mobile augmented reality based annotation system: A cyber-physical human system. In: SPRINGER. *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*. [S.l.], 2016. p. 267–280. Citado na página 32.

- SCHNOOR, T. Transformação digital na indústria vai além da redução de custos. *Revista Valor Econômico*, 2018. Citado na página 18.
- SCHWAB, K. A quarta revolução industrial. *São Paulo: Edipro*, 2016. Citado na página 29.
- SELCUK, S. Predictive maintenance, its implementation and latest trends. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 231, n. 9, p. 1670–1679, 2017. Citado na página 27.
- SHARMA, R. K.; SHARMA, R. G. Integrating six sigma culture and tpm framework to improve manufacturing performance in smes. *Quality and reliability engineering international*, Wiley Online Library, v. 30, n. 5, p. 745–765, 2014. Citado na página 27.
- SHIMIZU, H.; OTSUKA, Y.; NOGUCHI, H. Design review based on failure mode to visualise reliability problems in the development stage of mechanical products. *International journal of vehicle design*, Inderscience Publishers Ltd., PO Box 735 Olney Bucks MK 46 5 WB UK, v. 53, n. 3, p. 149–165, 2010. Citado na página 56.
- SHIMIZU, H.; YOSHIMURA, T. Reliability problem prevention method of stimulating creativity needed to notice problems. *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu C Hen(Transactions of*, v. 16, n. 1, p. 243–250, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 60 e 64.
- SIEGEL, S.; JR, N. J. Castellan. 1988. nonparametric statistics for the behavioral sciences. *New York*, 1988. Citado na página 71.
- SINGH, M.; SACHDEVA, A.; BHARDWAJ, A. An interpretive structural modelling approach for analysing barriers in total productive maintenance implementation. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Inderscience Publishers Ltd, v. 16, n. 4, p. 433–450, 2014. Citado na página 27.
- SOMMERVILLE, I. *Engenharia de Software*. ed. [S.l.]: São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2011. Citado na página 55.
- STAMATIS, D. H. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. [S.l.]: ASQ Quality press, 2003. Citado na página 56.
- STOCKER, A. et al. Mensch-zentrierte ikt-lösungen in einer smart factory. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, Springer, v. 131, n. 7, p. 207–211, 2014. Citado na página 32.
- SVEIBY, K. E. *A nova riqueza das organizações*. Rio de Janeiro. [S.l.]: Campus, 1998. Citado na página 31.
- SYNNES, E. L.; WELO, T. Enhancing integrative capabilities through lean product and process development. *Procedia CIRP*, Elsevier, v. 54, p. 221–226, 2016. Citado na página 32.
- TERRA, J. C. C. *Gestão do conhecimento: o grande desafio empresarial*. [S.l.]: Elsevier, 2005. Citado na página 31.
- TIAN, Z.-p.; WANG, J.-q.; ZHANG, H.-y. An integrated approach for failure mode and effects analysis based on fuzzy best-worst, relative entropy, and vikor methods. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 72, p. 636–646, 2018. Citado na página 56.

- TORT-MARTORELL, X.; GRIMA, P.; MARCO, L. Management by facts: The common ground between total quality management and evidence-based management. *Total Quality Management & Business Excellence*, Taylor & Francis, v. 22, n. 6, p. 599–618, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 16, 23 e 78.
- VALILAI, O. F.; HOUSHMAND, M. A collaborative and integrated platform to support distributed manufacturing system using a service-oriented approach based on cloud computing paradigm. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 110–127, 2013. Citado na página 30.
- VESELY, W. E. et al. *Fault tree handbook*. [S.l.], 1981. Citado 3 vezes nas páginas 58, 59 e 64.
- VYATKIN, V. et al. Now that's smart! *IEEE Industrial Electronics Magazine*, IEEE, v. 1, n. 4, p. 17–29, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 23.
- WARIS, M. M.; SANIN, C.; SZCZERBICKI, E. Framework for product innovation using soeks and decisional dna. In: SPRINGER. *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. [S.l.], 2016. p. 480–489. Citado na página 17.
- WARIS, M. M.; SANIN, C.; SZCZERBICKI, E. Smart innovation engineering (sie): Experience-based product innovation system for industry 4.0. In: SPRINGER. *International Conference on Information Systems Architecture and Technology*. [S.l.], 2017. p. 379–388. Citado na página 19.
- WIIG, K. M. Knowledge management: an introduction and perspective. *Journal of knowledge Management*, MCB UP Ltd, v. 1, n. 1, p. 6–14, 1997. Citado na página 29.
- WOLF, M. et al. Current and future industrial challenges: Demographic change and measures for elderly workers in industry 4.0. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*, v. 16, n. 1, p. 67 – 76, 2018. ISSN 15842665. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=128266208&lang=pt-br&site=eds-live>>. Citado na página 14.
- YASSERI, S. Evidence-based practice in subsea engineering. *Underwater Technology*, Society for Underwater Technology, v. 32, n. 4, p. 231–244, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 16, 23, 32 e 62.
- YIN, T. Yin, rk (2009). case study research: Design and methods . thousand oaks, ca: Sage. *The Canadian Journal of Action Research*, v. 14, n. 1, p. 69–71, 2013. Citado na página 53.
- ZHOU, Q.; YAN, P.; XIN, Y. Research on a knowledge modelling methodology for fault diagnosis of machine tools based on formal semantics. *Advanced Engineering Informatics*, Elsevier, v. 32, p. 92–112, 2017. Citado na página 15.

**APÊNDICE A – PROTOCOLO DA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

| Protocolo para Revisão Sistemática da Literatura | |
|---|---|
| Características | Definição |
| Tema de Pesquisa | O presente trabalho aborda a temática da estruturação de um método baseado em evidências para auxiliar no gerenciamento de falhas. Para isso, serão discutidos os conceitos e ferramentas existentes para o gerenciamento de falhas na indústria. |
| Objetivo da Pesquisa | O objetivo geral desta pesquisa é a proposta de um método para gerenciamento de falhas baseado em evidências. |
| Contexto | O contexto do método proposto é um sistema produtivo, independente do segmento, do tamanho e das suas estratégias de negócio. |
| Horizonte | Estudos publicados a partir de 1990. |
| Correntes Teóricas | Abordagens utilizadas para "auxiliar na tomada de decisão". |
| Idioma | Os termos de busca serão descritos na língua inglesa. Porém, os resultados obtidos são de documentos em diversas línguas. Desta maneira, o processo de busca será limitado a documentos oriundos da língua inglesa e língua portuguesa. |
| Questão de Revisão | Como seria um método para auxiliar na implementação da gestão baseada em evidências no contexto do gerenciamento de falhas? |
| Estratégia de Revisão | Configurativa |
| Critérios de Busca | <p>Critérios para inclusão</p> <ul style="list-style-type: none"> - Métodos, técnicas ou abordagens estruturadas e sistemáticas para o gerenciamento de falhas; - Métodos e técnicas que contemplem a utilização da EBM; - Aplicação em ambientes industriais; - Texto completo; |
| | <p>Critérios para exclusão</p> <ul style="list-style-type: none"> - Não conter artefato relacionado à tomada de decisão, gestão do conhecimento e gerenciamento de falha; - Pesquisas que envolvam segurança, redes e controles para a tomada de decisão; - Pesquisas que não atendam aos de inclusão; - Acessibilidade do documento; |
| Termo de Busca | <ul style="list-style-type: none"> - "evidence based decision", "manufacturing OR industry" - "failure management", "method OR systems" - "potential failure analysis", "knowledge based system" - "evidence based management", "methodology" |
| Fontes de Busca | <ul style="list-style-type: none"> - Ebscohost; - Scopus - Web of Science; - Periódicos Capes; - Google Scholar; - CBMa; |

APÊNDICE B – PROCESSO DE BUSCA, ELEGIBILIDADE E CODIFICAÇÃO

O objetivo desta seção é apresentar as análises dos dados oriundos da revisão sistemática da literatura. Como forma de operacionalizar a procura, foram definidos termos de busca que auxiliassem na localização de estudos relacionados ao uso da EBM para auxiliar na tomada de decisão no gerenciamento de falhas. Os termos de busca e as bases de dados utilizadas estão disponíveis no Quadro 8, na seção Coleta de Dados.

Para atender aos requisitos de pesquisas, a busca combinada dos termos escolhidos deveria constar nos campos Título, Resumo e Palavras-chave, de modo a garantir uma ampla abrangência no estudo. No Quadro 29 é apresentado os números totais de registros encontrados tendo como base a busca através dos termos combinados.

Quadro 29 – Termos de Busca

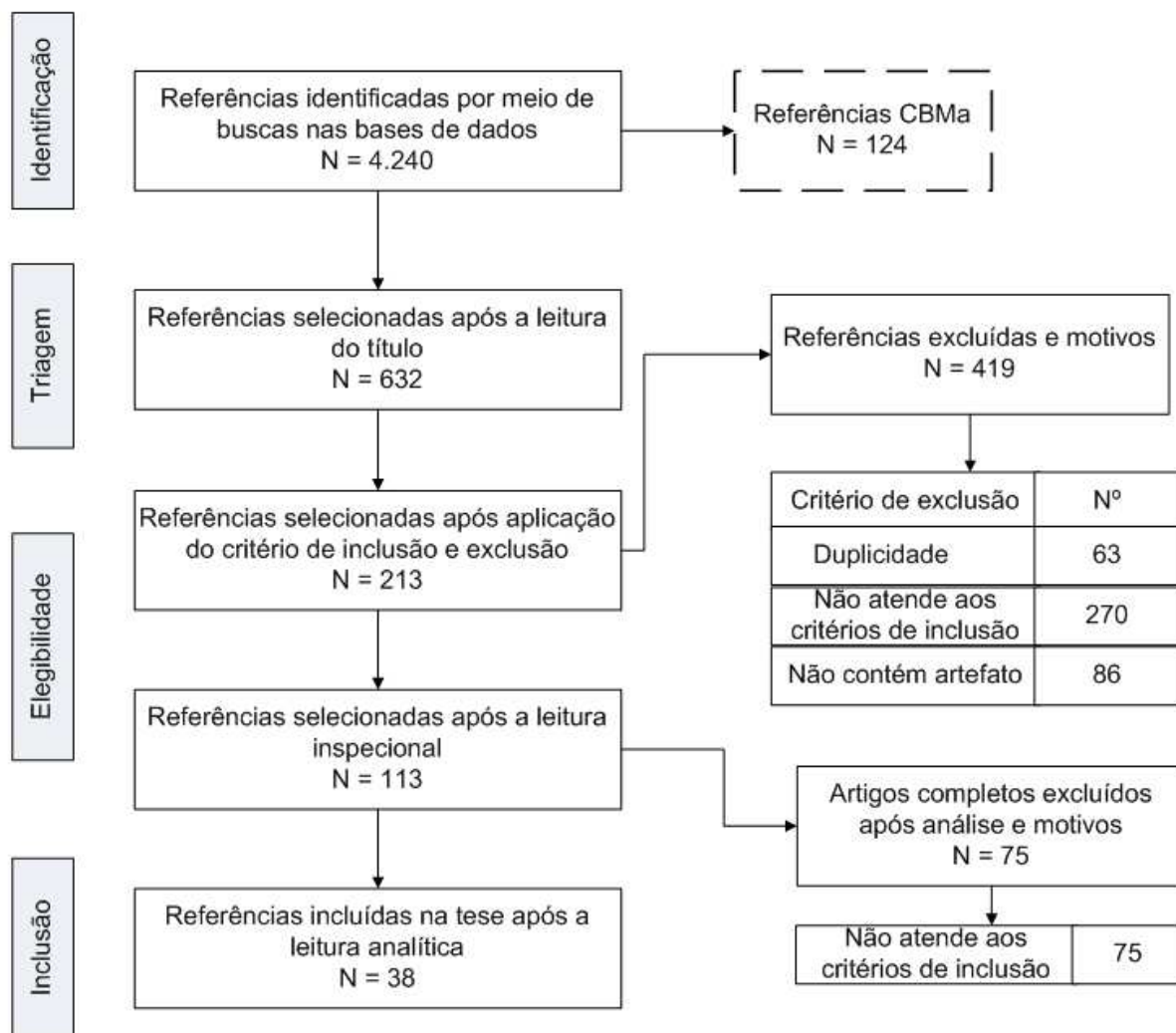
| # | Termo 1 | Termo 2 | Artigos |
|---------------|----------------------------|---------------------------|---------|
| P01 | evidence based decision | manufacturing OR industry | 96 |
| P02 | failure management | method OR systems | 1.240 |
| P03 | potential failure analysis | knowledge based system | 2.850 |
| P04 | evidence based management | methodology | 54 |
| TOTAL: | | | 4.240 |

Fonte: Desenvolvido pela autora.

Além dos registros encontrados e apresentados no Quadro 29, identificou-se a existência de 124 artigos, todos provenientes de pesquisadores integrantes do Centro de Gestão Baseada em Evidências (CEBMa). Este Centro foi fundado em 2011, como uma organização sem fins lucrativos, tendo como missão promover a prática baseada em evidências no campo da gestão (BRINER; BARENDS, 2016), concentra os maiores pesquisadores de gestão baseada em evidências como: Denise Rousseau, Eric Barends, Rob Briner, entre outros.

Após realizar uma limpeza na base de dados com intuito de remover todos os trabalhos duplicados, foi dado início a análise dos títulos e resumos dos trabalhos selecionados. A Figura 37 apresenta a estrutura da RSL utilizada com a visão geral do processo de busca, elegibilidade e codificação utilizada.

Figura 37 – Processo de busca, elegibilidade e codificação.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Ao término do processo de busca, elegibilidade e codificação, 38 estudos foram incluídos nesta tese e listados no Anexo 1, conforme os critérios de inclusão apresentados no Apêndice A.

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Eu, Adriane Pedroso Dias Ferreira, discente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção de Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – PPGEPS/UNISINOS, nível de Doutorado, tendo como orientador desta pesquisa o Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda, solicito sua participação como entrevistado na pesquisa intitulada: Gestão Baseada em Evidências em Sistemas Produtivos: Proposta de Método e Protótipo Computacional.

Esta pesquisa tem como objetivo geral propor um método que possibilite o apoio para a implantação da gestão baseada em evidências nos sistemas produtivos. e como objetivos específicos: i) definir critérios e regras para a elaboração da base de conhecimento; ii) identificar e integrar um conjunto de conhecimentos existentes em uma base de evidências; iii) avaliar as evidências existentes nas dimensões de replicabilidade e contextualização e iv) implementar um protótipo computacional baseado no modelo de tomada de decisão proposto. O estudo justifica-se uma vez que com a chegada, cautelosa, da Indústria 4.0 no Brasil os sistemas de produção convencionais serão alterados e será necessária mudança no foco da tomada de decisões, permitindo o decisor fazer uso de experiências passadas consolidadas para auxiliar na tomada de decisão.

Sua contribuição para a pesquisa é de extrema valia, e você poderá ter acesso aos resultados finais, caso seja de seu interesse. Saliento que assumo o compromisso de manter confidencialidade e sigilo sobre o nome da empresa, informações técnicas de processos, de produtos e de pessoas e a não me apropriar de material confidencial e/ou sigiloso de documentação e tecnologia que venha a ser disponível. Pode, ainda, solicitar informações sobre o andamento da pesquisa e/ou seus resultados por meio eletrônico ou contato telefônico: dias.adriane@gmail.com ou (51) 99934.9166

Atenciosamente,

Adriane Pedroso Dias Ferreira

Local e Data

Consinto em participar desta pesquisa e declaro ter recebido uma cópia deste termo de autorização. Estou ciente de que as informações disponibilizadas serão utilizadas exclusivamente para o resultado desta pesquisa, mantendo o sigilo das informações recebidas.

Especialista

Local e Data

ANEXO A – ESTUDOS INCLUIDOS

| Autor | Título | Ano |
|--|---|------|
| Jerrold H. May, William E. Spangler and Richard E. Wendell | A knowledge-based approach for improving information and decision making in a small business | 1991 |
| Keith Leslie, Mark A. Loch and William Schaninger | Managing your organization by the evidence | 2006 |
| Denise M. Rousseau | Is there such thing as evidence based management? | 2006 |
| Jeffrey Pfeffer; Robert I Sutton | Treat Your Organization as a Prototype: The Essence of Evidence-Based Management | 2006 |
| Rob Briner | Is HRM evidence-based and does it matter? | 2007 |
| Denise M. Rousseau and Sharon Mccarthy | Educating Managers From an Evidence-Based Perspective | 2007 |
| Harold E. Briggs and Bowen McBeath | Evidence Based Management Origins, Challenges, and Implications Social and Service Administration | 2009 |
| Rob B. Briner, David Denyer, and Denise M. Rousseau | Evidence-Based Management: Concept Cleanup Time? | 2009 |
| Derek C. Man, Steven Lui, and John Lai | New Product Development for a Food and Beverage Company: A Showcase of Evidence-based Management | 2010 |
| Yuichi Otsuka, Takashi Yukawa, Yoshiharu Mutoh | Development of Web-Based Design Review System for Reliability and Safety Knowledge Management | 2010 |
| Edward T. Jennings Jr., and Jeremy L. Hall | Evidence-Based Practice and the Use of Information in State Agency Decision Making | 2011 |
| Cynthia A. Lengnick-Hall, and Robert J. Griffith | Evidence-based versus tinkerable knowledge as strategic assets: A new perspective on the interplay between innovation and application | 2011 |
| B. Ruiz-Mezcua, A. Garcia-Crespo, J.L. Lopez-Cuadrado, and I. Gonzalez-Carrasco | An expert system development tool for non AI experts | 2011 |
| Vishwanath V. Baba, and Farimah HakemZadeh | Toward a theory of evidence based decision making | 2012 |

| Autor | Título | Ano |
|--|---|------------|
| Jodi S. Goodman, and James O'Brien | Teaching and Learning Using Evidence-Based Principles | 2012 |
| Dennis Tourish | 'Evidence Based Management', or 'Evidence Oriented Organizing'? A critical realist perspective | 2012 |
| Henning Kagermann | Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 | 2013 |
| Eric Barends, Denise M. Rousseau, and Rob Briner | The principles basics | 2014 |
| Malte Brettel, Niklas Friederichsen, Michael Keller, and Marius Rosenberg | How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective | 2014 |
| Alfredo A. F. Saldivar, Cindy Goh, Wei-neng Chen and Yun Li | Self-organizing tool for smart design with predictive customer needs and wants to realize Industry 4.0 | 2015 |
| Sirous Yasserli | Evidence-based practice in subsea engineering | 2015 |
| Kevin Morrell Mark Learmonth | Against Evidence-Based Management, for Management Learning | 2015 |
| Jay Lee, Behrad Bagheri, and Chao Jin | Introduction to cyber manufacturing | 2016 |
| Vasja Roblek, Maja Meško, and Alojz Krapež | A Complex View of Industry 4.0 | 2016 |
| Navid Shariatzadeha, Thomas Lundholma, Lars Lindberga and Gunilla Sivarda | Integration of digital factory with smart factory based on Internet of Things | 2016 |
| Shiyong Wang, Jiafu Wan, Daqiang Zhang, Di Li and Chunhua Zhang | Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination | 2016 |

| Autor | Título | Ano |
|---|---|------------|
| April L. Wright, Raymond F. Zammuto, and Peter W. Liesch | Evidence-based Management in Practice: Opening up the Decision Process, Decision-maker and Context | 2016 |
| E. Francalanzaa, J. Borga, C. Constantinescub | A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems | 2016 |
| Denise M. Rousseau, Brian C. Gunia | Evidence-Based Practice: The Psychology of EBP Implementation | 2016 |
| Leonard Petnga and Mark Austin | An ontological framework for knowledge modeling and decision support in cyber-physical systems | 2016 |
| Yubao Chen | Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers | 2017 |
| Fentahun M. Kasie, Glen Bright, Anthony Walker | Decision support systems in manufacturing: a survey and future trends | 2017 |
| Waris, Sanin and Szczerbicki | Smart Innovation Engineering (SIE) Experience-Based Product Innovation System for Industry 4.0 | 2017 |
| Siew H. Chana, Qian Songb, Saonee Sarkerc, R. David Plumleed | Decision support system (DSS) use and decision performance: DSS motivation and its antecedents | 2017 |
| Jens Otto Birgit Vogel-Heuser | Automatic Parameter Estimation for Reusable Software Components of Modular and Reconfigurable Cyber-Physical Production Systems in the Domain of Discrete Manufacturing | 2018 |
| Cesar Sanin, Zhang Haoxi, Imran Shafiq and Maqbool Waris | Experience based knowledge representation for Internet of Things and Cyber Physical Systems with case studies | 2018 |
| J.F.W. Peeters, R.J.I. Basten, T. Tinga | Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner | 2018 |
| Huai-Wei Lo, James J.H. Liou, Chun-Nen Huang, Yen-Ching Chuang | A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis | 2019 |