



Programa de Pós-graduação em Gestão de Negócios

PROJETO APLICATIVO 2023

GESTÃO DE RISCOS E O DESEMPENHO OPERACIONAL:

um modelo analítico para o segmento ferroviário de
cargas

Prof. Marcos Eugenio Vale Leão

FUNDAÇÃO DOM CABRAL

Anderson Wesley Faustino
Bruna Fernandes Rossi
Danilo Rogério Altoé
Jésus Jonatan Souza Santos
Pablo Rodrigo de Paula
Silvana Alves Oliveira

**GESTÃO DE RISCOS E O DESEMPENHO OPERACIONAL:
um modelo analítico para o segmento ferroviário de cargas**

Campinas

2023

Anderson Wesley Faustino
Bruna Fernandes Rossi
Danilo Rogério Altoé
Jésus Jonatan Souza Santos
Pablo Rodrigo de Paula
Silvana Alves Oliveira

**GESTÃO DE RISCOS E O DESEMPENHO OPERACIONAL:
um modelo analítico para o segmento ferroviário de cargas**

Projeto apresentado à Fundação Dom Cabral como requisito parcial para a conclusão do Programa de Pós-graduação em Gestão de Negócios.

Professor Orientador: Marcos Eugenio Vale Leão.

Campinas

2023

AGRADECIMENTOS

Agradecemos e dedicamos este projeto a todos os professores da Fundação Dom Cabral que contribuíram para nossa trajetória acadêmica e profissional. Ao ITL e SEST SENAT pela oportunidade de realizar uma formação dessa magnitude.

Ao nosso professor orientador, Marcos Leão, por nos orientar e ajudar durante a execução deste projeto.

Aos colegas e amigos que fizemos durante esta jornada e aos nossos familiares que nos apoiam constantemente.

RESUMO

O presente trabalho visa analisar o gerenciamento de risco no setor ferroviário, bem como, destacar a importância do equilíbrio entre os custos de manutenção e os riscos operacionais no transporte ferroviário de cargas. O projeto propõe um modelo analítico para a gestão de riscos e o desempenho operacional nesse setor, considerando os custos de manutenção. O objetivo é identificar, avaliar e mitigar os riscos relacionados à segurança das operações ferroviárias, proteger os ativos e minimizar os danos causados por eventos adversos. O modelo analítico proposto envolve a análise de riscos e a simulação de diferentes cenários de operação, permitindo identificar os principais riscos operacionais, avaliar sua probabilidade de ocorrência e os impactos operacionais e financeiros associados. A gestão eficaz de riscos é fundamental para garantir a segurança e a eficiência das operações ferroviárias, além de minimizar acidentes, avarias em equipamentos e interrupções operacionais que possam afetar a economia e a segurança pública.

Palavras-chave: ferrovia; gerenciamento de risco; manutenção; vagões; transporte de cargas.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze risk management in the railway sector, as well as to highlight the importance of the balance between maintenance costs and operational risks in rail freight transport. The paper proposes an analytical model for risk management and operational performance in this sector, considering maintenance costs. The objective is to identify, evaluate and mitigate risks related to the safety of railway operations, protect assets and minimize damage caused by adverse events; the proposed analytical model involves risk analysis and simulation of different operating scenarios, allowing identifying the main operational risks, assessing their probability of occurrence and the associated operational and financial impacts. Effective risk management is essential to ensure the safety and efficiency of railway operations, in addition to minimizing accidents, equipment breakdowns and operational interruptions that could affect the economy and public safety.

Keywords: railroad; risk management; maintenance; wagons; cargo transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de diagrama de bow tie para consequências indesejadas.....	26
Figura 2 - Competividade	28
Figura 3 - Relacionamentos entre os princípios da gestão de riscos, estrutura e processo.....	32
Figura 4 - Mapa ferroviário brasileiro.....	36
Figura 5 - Hierarquia de sistemas para vagões.....	39
Figura 6 - Engate tipo E	41
Figura 7 - Visão explodida de um truque de 3 peças	44
Figura 8 - Etapas do processo HIRA.....	69
Figura 9 - Métricas de topo Petrobras	76
Figura 10 - Mapeamento de riscos.....	83
Figura 11 - Cenários de riscos relacionados aos vencimentos de manutenção.....	84
Figura 12 - Avaliação do risco até a falha por Km rodado.....	85
Figura 13 - Framework do sistema de tomada de decisões para priorização de manutenção.....	101
Figura 14 - Formulação do MVP	104
Figura 15 - Algoritmo Desenvolvido	105
Figura 16 - Resultados das simulações	106
Figura 17 - Tabela Resumo Resultados simulação 01	108
Figura 18 - Análise e projeções de riscos	115
Figura 19 - Cronograma do projeto	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução da manutenção.....	23
Quadro 2 - Principais fontes de risco que afetam administradores financeiros e os acionistas	30
Quadro 3 - Definição de categoria (tipificação) de riscos	34
Quadro 4 - Tipos de vagões.....	39
Quadro 5 - Riscos ambientais físicos mapeados	81
Quadro 6 - Probabilidade x impacto	89
Quadro 7 - Plano de ações para mitigação de riscos estratégicos.....	91
Quadro 8 - Análise de defeitos x riscos operacionais.....	112

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado x tipos de manutenção.....	25
Gráfico 2 - Crescimento de movimentação de cargas.....	37
Gráfico 3 - Densidade das malhas ferroviárias.....	44
Gráfico 4 - Custo Logístico por segmento econômico como percentual médio do faturamento bruto das empresas.....	64
Gráfico 5 - Maturidade de projetos	82
Gráfico 6 - Gráfico ilustrativo da relação entre custo de gerenciamento de riscos e custos preventivos.....	97



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade das malhas ferroviárias	38
Tabela 2 - Concessionárias ferroviárias constituídas no processo de privatização...	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAR	<i>Association of American Railroads</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANPTrilhos	Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
APR	Análise Preliminar de Risco
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCT	Conjunto de Choque e Tração
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
DDV	Detector de Descarrilamento de Vagão
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EPL	Empresa de Planejamento e Logística
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EUA	Estados Unidos da América
FDC	Fundação Dom Cabral
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FMI	Fundo Monetário Internacional
FRA	<i>Federal Railroad Administration</i>
IAF	Índice de Acidentes Ferroviários
IESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
MC	Manutenção Corretiva
MP/MPd	Planos de Manutenção Proativa
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>
PD	Detectiva
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RETREM	Programa de Renovação da Frota do Transporte Público Coletivo Urbano de Passageiros sobre Trilhos
RFID	Identificação por Radiofrequência
RG	Revisão Geral



TAR	Taxa de acidentes registráveis
TIR	Taxa Interna de Retorno
TLSA	Transnordestina Logística
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TU	Toneladas Úteis
UCJ	UFMG Consultoria Júnior
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. RESUMO EXECUTIVO	16
1.1 Objetivos	17
1.2 Objetivo geral	17
1.3 Objetivos específicos	17
1.4 justificativa	18
1.5 Estrutura	18
2. BASES CONCEITUAIS	21
2.1 A gestão estratégica da manutenção e seus reflexos no desempenho corporativo	21
2.1.1 <i>Gerações da manutenção</i>	22
2.1.2 <i>Estratégias da manutenção</i>	24
2.1.3 <i>Ferramenta de análise bow tie</i>	26
2.1.4 <i>Planejamento financeiro corporativo na área de manutenção</i>	27
2.1.5 <i>Geração de competitividade por meio da manutenção</i>	27
2.2 A gestão de riscos e sua relação com investimentos e custos operacionais	29
2.2.1 <i>Riscos corporativos e seus reflexos nas organizações</i>	30
2.2.2. <i>Análises fundamentais para a gestão de riscos</i>	31
2.2.3 <i>Fases dos investimentos em uma gestão de risco</i>	33
2.2.4 <i>Gestão de custos</i>	35
2.3 A manutenção e a segurança operacional ferroviária	35
2.3.1 <i>Modal ferroviário no Brasil e mundo</i>	36
2.3.2 <i>Ativos ferroviários de carga</i>	38
2.3.3 <i>Mecanismos de acidentes ferroviários e suas consequências</i>	44
2.3.4 <i>Monitoramentos das condições dos ativos</i>	45
2.4 Estudo de viabilidade para novos projetos: principais análises e indicadores de atratividade	47
2.4.1 <i>Viabilidade estratégica</i>	49
2.4.2 <i>Viabilidade operacional</i>	49
2.4.3 <i>Viabilidade técnica</i>	50

2.4.4 Viabilidade político-legal.....	51
2.4.5 Viabilidade financeira	51
2.4.5.1 Payback simples	53
2.4.5.2 Payback descontado.....	53
2.4.5.3 Valor presente líquido (VPL)	54
2.4.5.4 Taxa interna de retorno (TIR)	55
3. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	57
4. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE INFORMAÇÃO	60
4.1. História da ferrovia no Brasil	60
4.1.1 Sobre a privatização das ferrovias	61
4.1.2 Situação atual.....	62
4.1.3 Transporte ferroviário de passageiros.....	63
4.1.4 Investimentos e custos operacionais.....	63
4.1.6 Empresas do setor	65
4.2 Benchmarking / realidades organizacionais.....	67
4.2.1. Análise geral quanto a práticas de sucesso e à modelagem de riscos	67
4.2.1.1 Benchmarking - VLI.....	68
4.2.1.2 Benchmarking - Petrobras.....	75
4.2.1.3 Benchmarking - Metrô de São Paulo	77
4.2.2 Melhores práticas observadas.....	79
4.3 Realidade atual da empresa	80
4.3.1 A gestão de riscos quanto à manutenção de vagões na empresa Rumo SA: uma análise crítica	84
4.4. O conceito para o modelo analítico de risco/custos de manutenção ferroviária.....	86
4.4.1 Plano estratégico de gestão dos riscos.....	87
4.4.2 Suposições, riscos e oportunidades.....	88
4.4.3 Iniciativas estratégicas de gestão de riscos	90
4.4.4 Compreensão dos riscos.....	91
4.4.5 Avaliação de risco	92
4.4.6 Resultado da avaliação de risco.....	93

4.4.7	<i>Objetivos do sistema de gestão de riscos e planejamento para alcançá-los...</i>	93
4.4.8	<i>Planejamento para alcançar os objetivos do sistema de gestão de riscos.....</i>	94
4.5.	Avaliar a percepção dos principais <i>stakeholders</i> sobre a ideia conceito...	96
4.5.1	<i>Percepção sobre a proposta e contribuições</i>	97
5.	DESENVOLVIMENTO - PROPOSTA DE SOLUÇÃO	99
5.1	O modelo analítico para projeção de custos e riscos quanto à manutenção ferroviária de cargas	99
5.2.	<i>Minimum Viable Product (MVP)</i> do modelo	102
5.2.1	<i>Desenvolvimento do MVP</i>	103
5.2.2	<i>Análises de viabilidades aplicadas ao MVP</i>	109
5.2.1.1	<i>Viabilidade operacional</i>	111
5.2.1.2	<i>Viabilidade técnica</i>	114
5.2.1.3	<i>Viabilidade político-legal</i>	116
5.2.1.4	<i>Viabilidade estratégica</i>.....	117
5.2.1.5	<i>Viabilidade financeira</i>.....	119
5.3	Plano de implementação do projeto	120
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	124
	REFERÊNCIAS.....	127

1. RESUMO EXECUTIVO

Este trabalho aborda o *trade-off* entre os custos de uma gestão de riscos e o desempenho operacional no segmento ferroviário de cargas, com foco na criação de um modelo analítico. Além disso, discute-se a importância de equilibrar os custos de manutenção com os riscos operacionais no transporte ferroviário de cargas.

O setor ferroviário de cargas é utilizado para transporte em larga escala, e desempenha no Brasil e no mundo um papel de suma importância para a economia, principalmente com o transporte de minério de ferro, petróleo, soja, produtos agrícolas, entre outros. Dado a sua relevância, espera-se que o setor ferroviário continue sendo uma opção de transporte importante em todo o mundo.

No contexto global, a gestão de riscos é uma preocupação crescente em diversas indústrias, incluindo o setor ferroviário. Empresas e governos, ao redor do mundo, reconhecem a importância de identificar, avaliar e mitigar os riscos para garantir a segurança e a eficiência das operações ferroviárias. A gestão eficaz de riscos é essencial para minimizar acidentes, avarias em equipamentos e interrupções operacionais, que podem ter impactos significativos na economia e na segurança pública.

No contexto brasileiro, o transporte ferroviário de cargas desempenha um papel estratégico no desenvolvimento econômico e na logística do país. A empresa Rumo é uma das principais operadoras ferroviárias do Brasil, responsável por uma extensa malha ferroviária utilizada para o transporte de commodities, como grãos, minério e produtos industrializados. A empresa enfrenta desafios relacionados à gestão de riscos e ao desempenho operacional, devido à complexidade e à extensão de suas operações.

Diante da complexidade das operações e os riscos, potencialmente, envolvidos, a implementação de estratégias de gestão de riscos no transporte ferroviário é parte fundamental do processo de gestão, e servem para identificar, avaliar, mitigar e monitorar os riscos vinculados à segurança das operações, proteger os ativos e minimizar os danos negativos causados por eventos adversos. Tais medidas podem garantir à empresa uma operação segura, eficiente e confiável, além de promover a cultura de segurança a todos os envolvidos, mitigando riscos.

Observa-se a relevância desse tema devido à necessidade de um equilíbrio adequado entre os custos de manutenção e os riscos operacionais no transporte ferroviário de cargas. Uma abordagem inadequada pode resultar em altos custos de manutenção, o que impacta, negativamente, a competitividade da empresa, ou em riscos operacionais elevados, que comprometem a segurança e a eficiência das operações. Portanto, é fundamental desenvolver um modelo analítico que permita avaliar os riscos, de forma sistemática, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e a gestão eficaz dos recursos.

Com uma malha ferroviária com cerca de 14 mil quilômetros e ligação direta com os portos de Santos, Paranaguá, São Francisco do Sul e Rio Grande, a Rumo tem como missão transportar produtos para as principais regiões com total eficiência, prezando pela qualidade, diversidade e com foco em tornar o país mais capacitado para o desenvolvimento econômico.

A Rumo possui planejamento estratégico de manutenção de vagões, mas não se consegue relacionar isso hoje a uma condição de lucros cessantes ou sequencias de eventos que poderiam paralisar as operações, trabalha-se com estimativas dos efeitos do *back log* (manutenções vencidas). Os custos associados a isso não são tão claros quando projetados a longo prazo, sendo insuficientes quando se procura uma avaliação mais profunda sobre os investimentos correntes na frota de vagões versus os riscos associados à postergação de tais manutenções.

1.1 Objetivos

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo analítico para a gestão de riscos e o desempenho operacional no segmento ferroviário de cargas, levando em consideração os custos de manutenção.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar elementos de riscos quanto à manutenção ferroviária de cargas;

- Identificar práticas de sucesso quanto à modelagem envolvendo custos e riscos;
- Avaliar a percepção das empresas quanto à sua gestão de riscos, envolvendo a manutenção ferroviária;
- Propor o modelo analítico para a adequação dos custos de manutenção aos riscos operacionais, quanto ao transporte ferroviário de cargas;
- Analisar a viabilidade do modelo;
- Elaborar o plano de implementação para o modelo.

1.4 justificativa

A proposta consiste na análise de risco devido ao ativo operacional não cumprir a sua função principal, baseado no mapeamento de eventos de falhas leves, médias, graves e catastróficas, em cenários diferentes de operação. Ela consiste em simular diferentes situações de risco e avaliar, em cada uma, as potenciais consequências. Essa metodologia permite identificar os principais riscos operacionais e avaliar a probabilidade de ocorrência e impactos operacionais e financeiros.

A gestão de riscos requer uma análise abrangente e fundamentada na identificação dos riscos, suas probabilidades e impacto potencial do fato causador, priorizar os riscos com base em sua gravidade e desenvolver estratégias de mitigação planejadas.

As análises são partes fundamentais do processo de gestão de riscos, permitindo uma compreensão mais completa dos riscos e auxiliando na tomada de decisões.

Por outro lado, a estratégia de manutenção de vagões de trem ferroviário tem papel crucial para garantir segurança, eficiência e confiabilidade das operações ao longo do tempo.

1.5 Estrutura

Este trabalho está estruturado em diferentes capítulos, cada um abordando aspectos específicos relacionados à gestão de riscos e ao desempenho operacional

no segmento ferroviário de cargas, bem como ao equilíbrio dos custos de manutenção.

No capítulo 2, intitulado Bases conceituais, serão apresentados os fundamentos teóricos relacionados à gestão estratégica da manutenção e seus reflexos no desempenho corporativo. Será discutida a importância de uma abordagem integrada entre a gestão de riscos e os investimentos e custos operacionais. Além disso, será explorada a relação entre a manutenção e a segurança operacional ferroviária, destacando-se a relevância da gestão de riscos nesse contexto. Também serão abordadas as principais análises e indicadores de atratividade para estudos de viabilidade de novos negócios.

No capítulo 3, será detalhada a metodologia de pesquisa utilizada no estudo, explicando as etapas e os procedimentos adotados para coleta e análise de dados. Serão descritas as técnicas utilizadas, como entrevistas, *benchmarking* e análise de casos.

No capítulo 4, intitulado Levantamento e análise de informação, será realizada uma análise do setor de transporte ferroviário de cargas, com foco na gestão de riscos e nos custos operacionais de manutenção de trens. Será conduzido um estudo abrangente, que incluirá entrevistas com empresas do setor e de fora para avaliar como elas lidam com essa questão. Também serão levantados e analisados casos de sucesso, tanto no setor ferroviário quanto em outros setores, no Brasil e no mundo, buscando melhores práticas de modelagem de riscos e custos operacionais.

No capítulo 5, intitulado Desenvolvimento - proposta de solução, será apresentado o modelo analítico proposto para a projeção de custos e riscos relacionados à manutenção ferroviária de cargas. Serão detalhados os elementos e variáveis consideradas nesse modelo, visando fornecer uma ferramenta eficaz para a gestão de riscos e o equilíbrio dos custos de manutenção. Será realizada uma análise de viabilidade do modelo, abordando aspectos operacionais, técnicos, político-legais, estratégicos e financeiros. Além disso, será elaborado um plano de implementação do projeto, com diretrizes e etapas a serem seguidas.

Por fim, no capítulo 6, serão apresentadas as conclusões e recomendações decorrentes do estudo. Será realizado um resumo dos principais resultados obtidos e destacadas as principais contribuições do modelo analítico proposto. Serão oferecidas recomendações para aprimorar a gestão de riscos e o desempenho operacional no transporte ferroviário de cargas, levando em consideração a necessidade de equilibrar



os custos de manutenção com os riscos operacionais. Também serão sugeridas possíveis áreas de pesquisa futura e aprimoramento do modelo proposto.

2. BASES CONCEITUAIS

2.1 A gestão estratégica da manutenção e seus reflexos no desempenho corporativo

As organizações, no geral, têm dificuldades em ajustar, de forma concisa, seus processos de manutenção e chegar à equalização do momento exato para se fazer a manutenção de seus equipamentos. De forma geral, eles têm como objetivo avaliar elementos como vulnerabilidade, vantagens competitivas temporárias, exploração de oportunidades, além da qualidade dos processos e serviços que são de fundamental importância em qualquer empresa.

Para Kardec e Nascif (2009):

A manutenção, para ser estratégica, precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. É preciso, sobretudo, deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz; ou seja, não basta, apenas, reparar o equipamento ou instalação tão rápido quanto possível, mas é preciso, principalmente, manter a função do equipamento disponível para a operação reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada. (KARDEC e NASCIF, 2009, p.11).

A gestão estratégica de manutenção, quando bem implementada, atua na solução de problemas, trabalha de forma preventiva, reduz riscos e o tempo de equipamentos parados, ajudando a minimizar os custos operacionais.

Empresas de transporte de carga ferroviária obtêm a lucratividade por meio do volume transportado em grande escala, com isso os ativos devem ter o funcionamento constante, buscando a velocidade e segurança da operação. O desempenho logístico visa atender os contratos estabelecidos buscando maior rentabilidade, para isso é necessário um planejamento que mantenha os ativos em perfeito funcionamento, ao menor custo possível, adotando políticas corretas. A companhia pode garantir maior confiabilidade e usabilidade dos equipamentos, gerando confiança ao cliente.

Segundo Kardec & Nascif (2009), a fase de manutenção tem por objetivo garantir a função dos equipamentos, sistemas e instalações no decorrer de sua vida útil e não a degeneração do empenho. Para os autores as empresas vencedoras, ou seja, longínquas e competitivas, têm na gestão de manutenção uma reação rápida a mudanças com uma conscientização minuciosa dos riscos que falhas e paradas indesejadas nos equipamentos impactam na rentabilidade e qualidade do produto

final. Isso ocorrendo afeta a segurança e o meio ambiente, sendo que as habilidades das pessoas envolvidas no processo de gestão da manutenção passam por constantes transformações, com novas exigências a todo momento, afetando desde a alta liderança aos executores, de fato.

São essas pessoas que definem a gestão estratégica de manutenção, quando, o motivo de se fazer a manutenção dos equipamentos, buscando garantir a maior disponibilidade possível dos equipamentos consumindo o mínimo de recursos. Dessa forma, pode-se acompanhar a vida útil e o desgaste das peças, fazendo a manutenção no momento certo, mitigando riscos que a sua falha ou pane traria ao negócio.

Segundo os autores Tavares, Calixto e Poydo (2005) a manutenção deve se tornar uma “gestora de ativos”, que aumente a capacidade produtiva da empresa, se tornando uma atividade de geração de receita, de modo que toda a demanda da produção seja efetuada com base no poder de vendas, necessitando da integração corporativa entre essas áreas, com o objetivo de diminuir o risco do excesso de produção, torna um passivo. Todas as decisões devem estar alinhadas com as demais áreas da companhia, que, de alguma forma, serão impactadas. Essas áreas são variáveis, de empresa para empresa.

2.1.1 Gerações da manutenção

Os autores Kardec & Nascif (2009) dividem a manutenção em quatro gerações (Quadro 1): a primeira geração teve início antes da segunda guerra, com foco no reparo após falhas ou quebras, já que o pensamento da época era que “todos os equipamentos se desgastam com o passar dos anos, vindo a sofrer falhas ou quebras”.

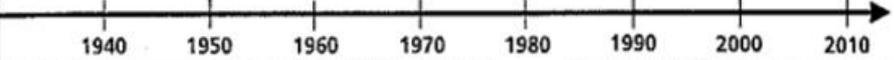
A segunda geração contempla o período dos anos 50 a 70. O aumento da demanda pós-guerra e a diminuição da mão de obra disponível ocasionou o aumento da mecanização no processo industrial e a busca por produtividade, tendo início a ideia da manutenção preventiva, a fim de evitar as falhas dos equipamentos junto ao sistema de planejamento e controle de custos, utilizado até os dias de hoje.

A terceira geração iniciou-se na década de 70, com o processo de automatização e mecanização nas indústrias. As falhas causam aumento de custos, perda de qualidade do produto, a diminuição da produção ou até mesmo a paralização total da fábrica, com isso os padrões de exigências para uma fábrica operar

aumentaram significativamente, inclusive nos requisitos segurança e meio ambiente, ao ponto de não poderem operar ao não atender determinadas exigências.

Já a quarta geração teve início por volta dos anos 2000, com a visão de manter a disponibilidade dos equipamentos buscando a confiabilidade e a mínima intervenção na fábrica, por meio de práticas como a análise de falhas, que consiste em uma metodologia consagrada que busca melhorar a performance da empresa.

Quadro 1 - Evolução da manutenção

	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham 	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubrey) Ver Capítulo 5 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F. (Nowlan & Heap e Moubrey) Ver Capítulo 5
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviços 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada • Análise de Falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida. • Contratação por resultados

Fonte: Kardec, Nascif (2009).

2.1.2 Estratégias da manutenção

Com a evolução da tecnologia e dos equipamentos as empresas necessitam realizar uma análise de desempenho dos ativos, a fim de mapear e entender o melhor momento para se aplicar o plano de manutenção com o objetivo de realizar as intervenções no momento correto, evitando custos desnecessários e mantendo a produtividade. Segundo Viana (2002), para formular essa estratégia de manutenção deve-se considerar os fatores recomendados pelo fabricante que permite observar o que o projetista do equipamento recomenda, a segurança do trabalho e meio ambiente, buscando as exigências legais e integração harmônica, homem-máquina, com o mínimo de agressão ao meio ambiente. É preciso respeitar as características do equipamento, levando em consideração o ciclo de vida, com o tempo de operação e tempo disponível para reparo, todos regrados pelo fator econômico, que é composto por todos os custos envolvidos no processo de manutenção.

Ainda, segundo Viana (2002), depois de analisar os fatores abordados, é necessário definir qual estratégia de manutenção será realizada para tratar a falha, sendo elas:

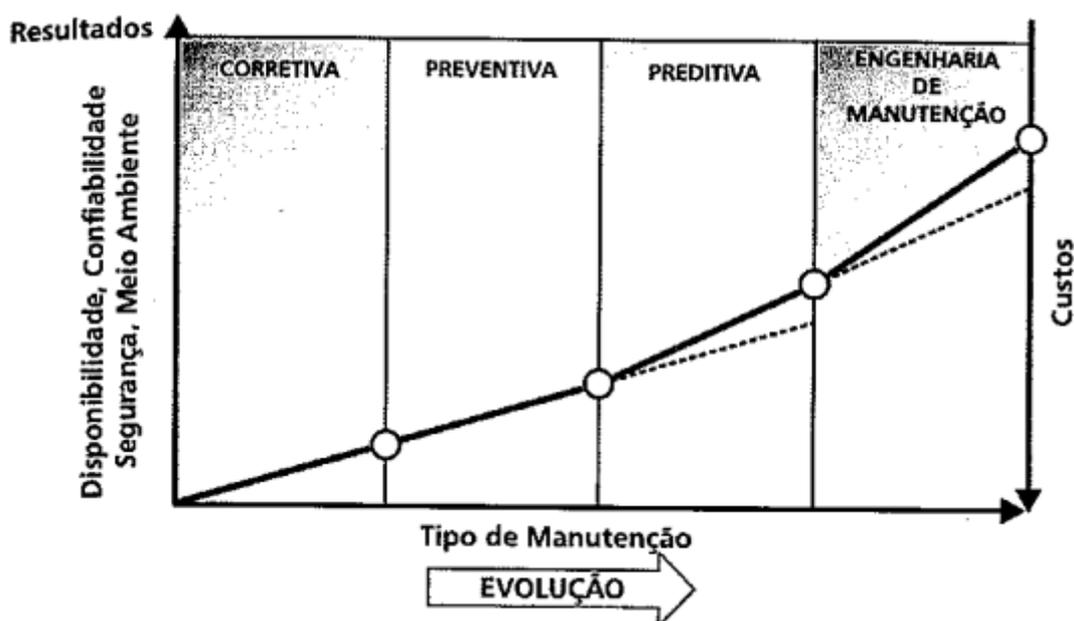
- Simples corretiva – quando o equipamento é utilizado até sua exaustão, e a manutenção é realizada apenas após a falha, absorvendo os custos com recursos humanos e materiais necessários. Nesta estratégia, o custo produtivo não é relevante;
- Preventiva periódica – define-se uma estratégia de manutenção periódica evitando a falha indesejada. Os custos de manutenção serão de materiais e recursos humanos com maior acréscimo, pois é necessário uma equipe permanente e compra periódica de matérias de reposição;
- Ação preditiva – realiza o acompanhamento da condição dos equipamentos buscando utilizar os componentes durante toda sua vida útil. Nesta estratégia, os ativos são utilizados o máximo de tempo possível, porém os custos de manutenção serão mais altos em relação às outras duas estratégias, pois dependem de ferramentas mais sofisticadas e técnicos bem treinados para diagnósticos mais precisos.

Corroborando com Viana (2002), Kardec & Nascif (2009) adotam os três mesmos conceitos com a inclusão da estratégia “Engenharia de manutenção” definida pelos autores como: “Quebra de paradigma na manutenção. Praticar a engenharia de manutenção significa uma mudança cultural. (...) engenharia de manutenção significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção de primeiro mundo” (KARDEC & NASCIF, 2009, pg. 50).

Para os autores, a partir do momento em que a organização buscar a melhoria contínua, estiver utilizando dados que o sistema de manutenção preditiva obtém e intervir no momento correto com a utilização total da vida útil dos componentes evitando falhas e quebras indesejadas, a estratégia passa a ser denominada Engenharia de manutenção.

Para Kardec & Nascif (2009), as estratégias de manutenção corretiva e preventiva seguem uma evolução discreta, de maneira contínua. Mudando para preditiva há um ganho maior nos resultados, e ao mudar para engenharia de manutenção os resultados são mais evidentes, com um salto ainda maior em relação à estratégia anterior (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Resultado x tipos de manutenção



Fonte:

Kardec (2009).

Relacionadas ao transporte ferroviário, as manutenções corretivas podem ser programadas, a fim de serem executadas em uma oficina, ou, quando não

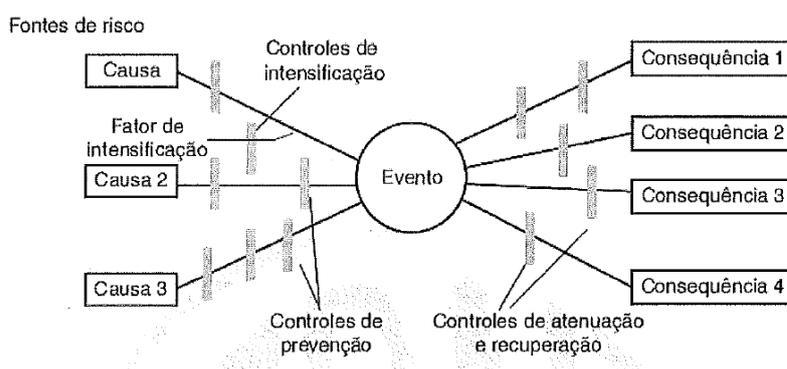
programadas, assim que identificada a avaria, serão realizadas em pátios ou oficina. As manutenções preventivas, geralmente são definidas por agendamento, sendo realizadas atividades de verificação, qualificação e correção de componentes, conforme gabaritos e padrões existentes, visando à redução de falhas para garantia de desempenho operacional e maior confiabilidade do ativo.

Independente da estratégia adotada pela organização, a gestão estratégica da área de manutenção sofrerá mudanças constantemente, focando em sustentar os ativos para que se mantenha toda a atividade da empresa em funcionamento. Deixa-se de olhar apenas para o conserto, pós-falha, tornando-se essencial, evitando que se quebrem. Com isso, o setor busca afastar a imagem de “custoso”, com atuação apenas em emergências, para uma visão estratégica fundamental na busca pelo aumento da produtividade atrelada à diminuição de custos.

2.1.3 Ferramenta de análise bow tie

Segundo a ISO/IEC 31010 (2012) análise *bow tie* é uma maneira esquemática, simples, de descrever e analisar os caminhos de um risco desde as causas até as consequências. Pode ser considerada uma combinação do raciocínio de árvore de falhas, que analisa a causa de um evento (representada pelo nó de uma *bow tie*), com árvore de eventos, que analisa as consequências. Entretanto, o foco *bow tie* está nas barreiras entre as causas e o risco, e o risco e as consequências. Diagramas de *bow tie* podem ser construídos a partir das árvores de falhas e eventos, porém são mais frequentemente desenhados diretamente a partir de uma sessão de *brainstorming*. (ISO/IEC 31010, 2012, p 68.).

Figura 1 - Exemplo de diagrama de *bow tie* para consequências indesejadas



Fonte: ISO/IEC 31010 (2012).

2.1.4 Planejamento financeiro corporativo na área de manutenção

Para Tavares, Calixto e Poydo (2005) gerar informações confiáveis aos setores financeiros da organização é o primeiro passo para uma gestão de manutenção eficaz. Na definição do planejamento orçamentário é possível determinar a receita que a gestão de manutenção terá para manter seu fluxo de pagamentos e suas atividades, conhecendo, assim, o patamar financeiro máximo que poderá atingir durante o período definido no orçamento. Os autores consideram o fluxo de caixa da gestão da manutenção relativamente simples, pois os custos são constituídos por aquilo que se gasta e, mesmo que esses sejam numerosos, seguem a prática operacional de suas atividades, mantendo o controle na gestão da gerência de manutenção.

As organizações que conseguem mapear todo o processo de manutenção, identificando, minuciosamente, os custos e oportunidade, evitam desperdícios desnecessários, garantindo o funcionamento pleno dos ativos ao menor custo possível. Especificamente no setor de transporte ferroviário de cargas é essencial que ocorra essa gestão financeira da manutenção. Como a rentabilidade é atrelada à produção em escala, garantindo o pleno funcionamento dos ativos, identificando o momento correto de parada, com controle dos custos de manutenção, obtém-se grande vantagem competitiva junto aos concorrentes, gerando um maior poder de negociação com os *stakeholders*. Os preços tendem a se tornar mais competitivos, a partir do momento que os ativos estejam em sua produtividade máxima ao menor custo possível.

2.1.5 Geração de competitividade por meio da manutenção

Para Furmann (2002): “Uma vez reconhecido o potencial da manutenção como um elemento importante para obtenção de resultados empresariais, surge outro desafio ainda maior. É o de explorar na plenitude os potenciais de agregação de valor da manutenção” (FURMANN, 2002, pg.16). Com isso, observa-se a importância, não apenas, de reconhecer os benefícios que a gestão da manutenção gera para a organização, como explorar esses pontos ao máximo, de forma que o resultado gere o valor planejado e desejado.

Para Kardec & Nascif (2009): “A Competitividade depende, fundamentalmente, da maior produtividade de uma organização em relação aos seus concorrentes, sendo

essa produtividade, ao mesmo tempo, simples e complexa equação” (KARDEC & NASCIF, 2009, pg. 18)

Figura 2 - Competividade

$$\text{COMPETITIVIDADE} = \frac{\text{FATURAMENTO}}{\text{CUSTOS}}$$

Fonte: Kardec, Nascif (2009).

Para se otimizar o faturamento é preciso, na linguagem da manutenção, otimizar a confiabilidade e a disponibilidade. O que pode levar a um aumento de produção, redução dos tempos da parada das máquinas, redução do tempo médio de parada para manutenção, redução de perdas, tempo médio de paradas tendendo a zero e ainda reduzindo o tempo médio de falhas.

Para se otimizar o custo é preciso adotar as melhores práticas de manutenção, com destaque para a engenharia de manutenção aplicada a novos projetos, na busca pela alta performance, e nas instalações existentes, na busca da causa fundamental da falha, na qualidade dos serviços que se traduz na redução do retrabalho, na qualidade dos materiais e sobressalentes e na utilização de técnicas modernas para avaliação e diagnóstico.

Diante deste contexto Kardec & Nascif (2009), afirmam:

É por esse motivo que uma redução de custo na manutenção, se malconduzida, pode levar a significativas perdas de disponibilidade, confiabilidade, segurança e consequências ambientais, que irão afetar negativamente o faturamento, o lucro da organização e, até mesmo, produzir desgastes na imagem. (KARDEC & NASCIF, 2009).

Ainda para Kardec & Nascif (2009): “a competitividade de uma organização depende de vários subsistemas que se interligam através de relações extremamente fortes e interdependentes” (KARDEC & NASCIF, 2009).

No campo da competitividade, a manutenção tem papel extremamente importante, pois é responsável em atender aos clientes internos e externos; pelo

melhor funcionamento dos equipamentos; pela minimização de acidentes e falhas com economia; e pela otimização de recursos, atuando como elo de ligações entre todas as áreas da companhia.

As organizações têm concentrado esforços para manter a manutenção como elemento de negócios geradores de lucro, dessa forma o papel da manutenção está se tornando cada vez mais importante. Diante disso há uma importância em harmonizar as operações de manutenção com os objetivos de negócios corporativos.

Dessa forma, além do quesito equipamento, as organizações também devem levar em consideração o aspecto humano. As pessoas são responsáveis pela realização dos diagnósticos, recuperação de erros, planejamento, programação, registro de dados, acompanhamento, operação dos equipamentos e treinamentos no ambiente de manutenção.

Para Kardec& Nascif (2009): “O novo papel da manutenção é o grande desafio gerencial desses novos tempos. A visão sistêmica do negócio e a mudança de paradigmas de conceitos levarão a grandes inovações” (KARDEC& NASCIF, 2009)

2.2 A gestão de riscos e sua relação com investimentos e custos operacionais

Em muitas definições o risco está associado à condição de incerteza, indeterminação, perda ou ganho superior ao resultado planejado. Por ameaçar a continuidade do negócio e das organizações, a gestão de riscos ganhou ênfase e muito se tem discutido a respeito de uma definição para risco.

Segundo Gitman (2010, pg. 203): “em sua aceção mais simples, risco é a chance de perda financeira [...] em termos mais formais, risco é usado de forma intercambiável com incerteza em referência à variabilidade dos retornos associados a um determinado ativo.” Dessa forma a gestão financeira está atrelada, diretamente, à gestão de risco, pois envolve compreender e analisar qual o melhor momento para realizar um investimento que acabe gerando o retorno planejado e definir, estrategicamente, onde realizar cortes de custos operacionais sem impactar na qualidade da prestação do serviço. Ainda segundo Gitman (2010) alguns riscos afetam, diretamente, as empresas juntamente com seus acionistas, como descrito, sucintamente, no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais fontes de risco que afetam administradores financeiros e os acionistas

Fonte de risco	Descrição
Riscos específicos da empresa	
Risco operacional	A possibilidade de que a empresa não seja capaz de cobrir seus custos operacionais. Seu nível é determinado pela estabilidade das receitas da empresa e pela estrutura de seus custos operacionais (fixos versus variáveis).
Risco financeiro	A possibilidade de que a empresa não seja capaz de fazer frente a suas obrigações financeiras. Seu nível é determinado pela previsibilidade dos fluxos de caixa operacionais da empresa e por suas obrigações financeiras de custo fixo.
Riscos específicos do acionista	
Risco de taxa de juros	A possibilidade de que mudanças nas taxas de juros afetem negativamente o valor de um investimento. A maioria dos investimentos perde valor quando a taxa de juros aumenta e ganha valor quando a taxa cai.
Risco de liquidez	A possibilidade de que um investimento não possa ser facilmente liquidado a um preço razoável. A liquidez é afetada de modo significativo pela extensão e profundidade do mercado em que um investimento costuma ser negociado.
Risco de mercado	A possibilidade de que o valor de um investimento caia devido a fatores de mercado que independem do investimento em si (como acontecimentos econômicos, políticos e sociais). De modo geral, quanto mais o valor de um investimento reage ao mercado, maior seu risco; e quanto menos reage, menor o risco.
Riscos da empresa e do acionista	
Risco de evento	A possibilidade de que algum evento inteiramente imprevisto exerça efeito significativo sobre o valor de uma empresa ou de um investimento específico. Esses acontecimentos raros, como uma ordem governamental para a retirada do mercado de um medicamento popular, costumam afetar grupos pequenos de empresas ou investimentos.
Risco de câmbio	A exposição dos fluxos de caixa esperados futuros a flutuações da taxa de câmbio. Quanto maior a chance de flutuações indesejadas da taxa de câmbio, maior o risco dos fluxos de caixa, portanto, menor o valor da empresa ou do investimento.
Risco de poder aquisitivo	A possibilidade de que uma mudança nos níveis de preços causada pela inflação ou deflação possa afetar negativamente os fluxos de caixa e o valor da empresa ou investimento. Normalmente, empresas ou investimentos cujos fluxos de caixa se movam de maneira semelhante aos níveis gerais de preços apresentam baixo risco de poder aquisitivo, enquanto aquelas cujos fluxos de caixa não acompanhem os níveis gerais de preço apresentam elevado risco de poder aquisitivo.
Risco tributário	A possibilidade de que sobrevenham mudanças desfavoráveis na legislação tributária. Empresas e investimentos cujo valor seja sensível a mudanças da legislação tributária são mais arriscados.

Fonte: Gitman (2010).

2.2.1 Riscos corporativos e seus reflexos nas organizações

De acordo com a Coso (2007):

Gerenciamento de riscos corporativos é um processo conduzido em uma organização pelo conselho de administração, diretoria e demais empregados, aplicado no estabelecimento de estratégias, formuladas para identificar em toda a organização eventos em potencial, capazes de afetá-la, e administrar os riscos de modo a mantê-los compatíveis com o apetite a risco da organização e possibilitar garantia razoável do cumprimento dos seus objetivos. (COSO, 2007, pg.4).

O risco é representado pela possibilidade de que um evento ocorrerá e afetará, negativamente, a realização dos objetivos da empresa. Gerenciar riscos é parte de todas as atividades associadas à organização e inclui interação com todas as partes interessadas, sendo uma opção nas ações de tomada de decisão que depende da capacidade e do grau de liberdade de seus gestores. Considerando o contexto externo e interno da organização, incluindo o comportamento humano e fatores culturais, o gerenciamento de risco eficaz está atrelado diretamente ao sucesso do planejamento estratégico das organizações.

Segundo a norma ISO 31000 (ABNT NBR 2009): “Organizações de todos os tipos e tamanhos enfrentam influências e fatores externos e internos que tornam incerto se elas alcançarão seus objetivos. O efeito que essa incerteza tem sobre os objetivos da organização é chamado de risco”. Gerenciar riscos é interativo e auxilia as organizações no estabelecimento de estratégias, no alcance de objetivos e na tomada de decisões fundamentadas, fazendo parte da governança e liderança, sendo fundamental para a maneira como a organização é gerenciada em todos os níveis, contribuindo para melhorias dos processos e sistemas de gestão.

Por ser complexo, as organizações têm investido em sofisticados sistemas de gestão de riscos e normas regulamentadoras, a fim de monitorar e controlar determinados ambientes. Atualmente, o mercado dispõe de diversos *frameworks* para a gestão de risco nas empresas, tornando, tecnologicamente, possível o envolvimento de todas as áreas das organizações no monitoramento dessa gestão.

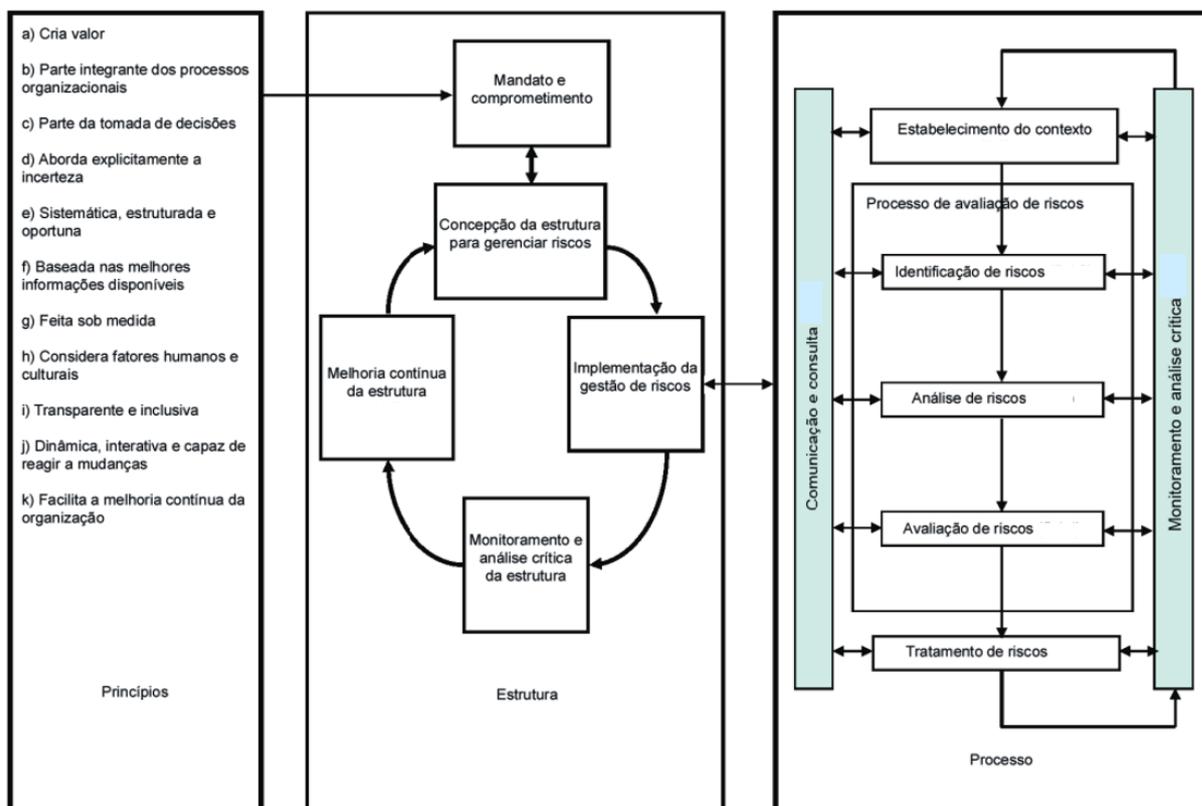
Na questão de o setor de manutenção, relacionada ao transporte ferroviário de cargas, gerir o risco, ainda parte do pressuposto de coordenar as atividades relacionadas ao serviço prestado, desde a escolha de um vagão até a distribuição, controle de estoque, pesagem, regulação e gerenciamento de peças como a vida útil, risco de reposição, entre outros. De modo que a organização não se afete de forma negativa ou que também deixe passar alguma oportunidade de melhoria, reduzindo as falhas e riscos recorrentes de incidentes internos ou externos.

2.2.2. Análises fundamentais para a gestão de riscos

A norma ISO 31000 (ABNT NBR 2009), fornece as diretrizes de forma abrangente, auxiliando diversas organizações em seus monitoramentos e análises de risco, pautada, principalmente, no trabalho da alta gestão, trazendo outras análises

fundamentais, subdivididas em três pilares descritos como Princípios, Estrutura e Processo, relacionadas conforme Figura 3.

Figura 3 - Relacionamentos entre os princípios da gestão de riscos, estrutura e processo



Fonte: ISO 31000 (2009).

A norma sugere uma gestão de riscos eficaz, descrita como sendo: integrada, estruturada e abrangente, personalizada, inclusiva, dinâmica, com melhor informação disponível, também considera fatores humanos e culturais além da melhoria contínua.

Dessa forma, a alta gestão é convidada a assegurar que a gestão de riscos esteja integrada em todas as atividades da organização. E que, inclusive, demonstrem liderança em personalizar e implementar todos os componentes da estrutura, emitindo uma declaração ou política que estabeleça uma abordagem, plano ou curso que vise disponibilizar os recursos necessários. Assim são alocados para gerenciar plenamente os riscos calculados, atribuindo autoridades, responsabilidades e responsabilização nos níveis apropriados dentro da organização, abrangendo as diretrizes e processos de maturação da cultura da organização. Com isso, pode-se perpetuar os processos eficazes de gestão de riscos, não esquecendo de relacionar

os investimentos na melhoria dos processos, minimizando os custos operacionais, sempre gerando valor e propósito para todos os envolvidos.

Entende-se, que a gestão de riscos não consiste em atividade voltada à eliminação dos riscos, mas, sim, para identificação, controle e mensuração. Dessa gestão pode depender a continuidade dos negócios da empresa.

2.2.3 Fases dos investimentos em uma gestão de risco

Para Neto (2023), um investimento possui três fases: a fase de aquisição, a fase de manutenção e a fase de transferência. Cada uma com custos específicos, e sua identificação é importante ao apurar o real retorno do investimento. Para o autor cada fase é descrita da seguinte forma:

Fase de aquisição é o momento inicial da aplicação, no qual o investidor toma posição comprada e incorpora o ativo em seu patrimônio. Neste momento o investido incorre em gastos para receber a posse do ativo. Tais gastos assumem várias formas determinadas em função do tipo de ativo negociado. Fase de manutenção refere-se à posse do ativo. Nesta incorre-se no custo de manutenção que são os gastos para manter o ativo. É importante frisar que o custo de manutenção também assume várias modalidades específicas em função do tipo de ativo. Fase de transferência ou liquidação de posição do principal gasto está associado a tributação. Há também comissões de venda, no caso de ativos reais. (NETO, 2023).

No Quadro 3 é descrito o ambiente global de risco e suas possíveis classificações:

Quadro 3 – Definição de categoria (tipificação) de riscos

Riscos	Definição
Estratégico	São os riscos de se implementar estratégias que fracassem na tentativa de alcançar os retornos pretendidos. Eles estão ligados à forma de gerenciamento da atividade da empresa, e representam a possibilidade de ocorrerem perdas pelo insucesso das estratégias adotadas (Marshall, 2002; Moraes, 2003).
Mercado	Os riscos de mercado têm relação com os investimentos financeiros que as organizações realizam, podendo representar o risco de perdas devido a oscilações de variáveis econômicas e financeiras, como a taxa de juros, taxa de câmbio e preços de ações (Goulart, 2003).
Crédito	O risco de crédito decorre das operações de crédito estabelecidas entre duas ou mais partes, onde alguém cede temporariamente parte do seu patrimônio a terceiros, com a intenção de receber determinado valor em determinado período (Shrickel, 1998).
Liquidez	O risco de Liquidez está relacionado à capacidade financeira que a empresa possui para honrar seus compromissos. Ele também pode ser caracterizado pela falta de recursos disponíveis para a empresa cumprir suas obrigações (Gonçalves e Braga, 2008; Zonatto e Beuren, 2010).
Legal	O risco legal está relacionado com a possibilidade de perda na organização por não observar dispositivos legais ou regulamentares, como a mudança na legislação e transações efetuadas de maneira incorreta (Moraes, 2003).
Imagem	O risco de imagem está relacionado à visão que a sociedade tem em relação à organização, a imagem da empresa perante a sociedade. Esse tipo de risco decorre de informações que afetam negativamente a imagem da empresa, como o descumprimento de leis, má conduta de funcionários, entre outros (Stuchi, 2003; Zonatto e Beuren, 2010).
Operacional	Os riscos operacionais são todos os riscos decorrentes de perdas diretas ou indiretas ocasionadas por processos de produção falhos, sistemas inadequados, mal desempenho de funções, conluíus, fraudes, falta de segregação de funções, erros em sistemas de controle, processamento e informação, entre outros (Brito, 2000; Duarte Júnior, 2001).

Fonte: Adaptado de Zanatto e Beuren (2010).

Tentar esgotar todos os possíveis riscos torna-se inviável, pois diversos deles são específicos a cada ramo de atividade empresarial e, por outro lado, novos riscos acabam, constantemente, surgindo (SANTOS, 2002).

Portanto, Deloach (2001): “o risco de que as operações sejam ineficientes e ineficazes para executar o modelo de negócio da empresa, satisfazer seus clientes e atender os objetivos da empresa, em termos de qualidade, custo e desempenho temporal” (DELOACH, 2001) como foco no gerenciamento de riscos operacionais. Para Duarte Junior (2001) o “risco operacional está relacionado a possíveis perdas como resultado de sistemas e/ou controles inadequados, falhas de gerenciamento e erros humanos” (JUNIOR, 2001).

2.2.4 Gestão de custos

Para Tavares, Calixto e Poydo (2005):

A avaliação dos custos de instalação de uma infraestrutura operacional deve considerar, além do investimento propriamente dito, os custos de operação e manutenção dos equipamentos, edificações, infraestrutura etc. Não é fácil estabelecer um valor numérico que seja absoluto e definitivo. São tantas as variáveis, incidentes, em cada caso, que as comparações se tornam complexas e acabam indo por terra ao longo do tempo. (TAVARES, CALIXTO e POYDO, 2005, pg. 60).

Ainda segundo os autores, utilizar a gestão de custos como ferramenta estratégica pode ser analisada como custos contábeis e custos gerenciais sendo:

- Custo contábil - subordinado à contabilidade financeira e regrados por normas legais, técnicas, fiscais e societárias;
- Custo gerencial - visa a eficiência pela redução de gastos com análises e estudos focados na gestão financeira, objetivando mudanças nos processos, de modo que continuem atendendo os clientes internos ou externos. Não está vinculado a nenhuma norma legal.

Atualmente, o sistema de custeio assume uma posição de auxiliar e desenvolver novas estratégias para a organização. Na atividade de manutenção busca por novas alternativas para enfrentar a alta volatilidade e variedade de preços nos insumos e equipamentos necessários para exercer a atividade fim.

2.3 A manutenção e a segurança operacional ferroviária

Serão abordados 5 tópicos sobre a manutenção e a segurança operacional de trens de carga, sendo elas:

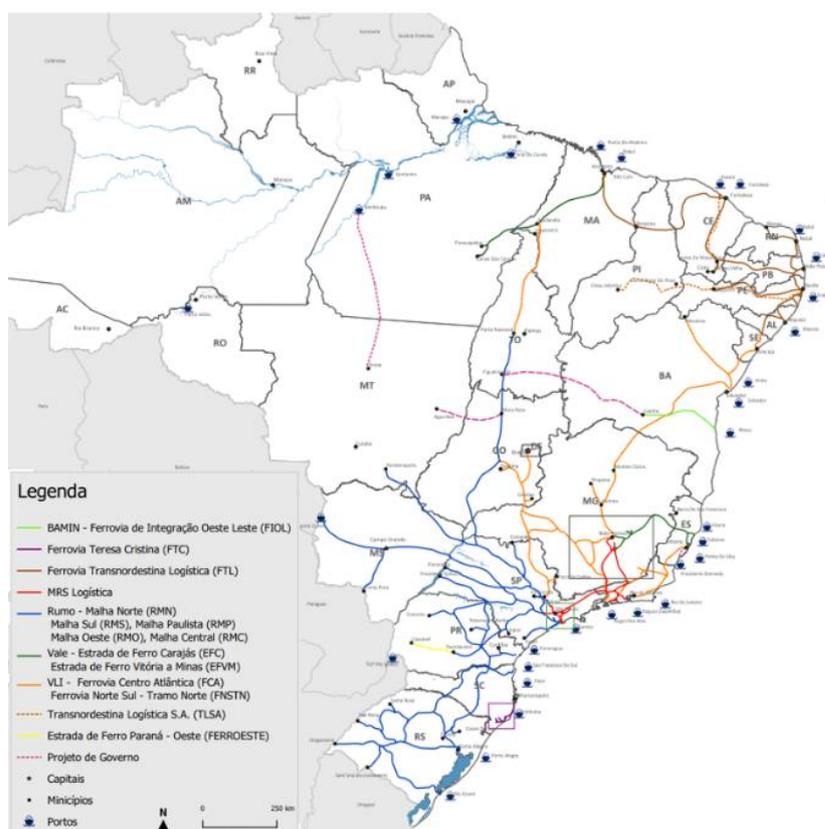
- Modal ferroviário no Brasil e mundo;
- Ativos ferroviários de carga;
- Tipos de manutenção;
- Mecanismos de acidentes ferroviários e suas consequências;
- Monitoramentos das condições dos ativos,

2.3.1 Modal ferroviário no Brasil e mundo

Em países com grandes extensões territoriais, como o Brasil, as ferrovias devem ter uma significativa participação na matriz de transportes, em que os produtos básicos, tais como: minério de ferro, produtos agrícolas e carvão, têm forte participação no total das cargas movimentadas. Apesar de ter um custo fixo de implantação e manutenção elevado, o modal ferroviário apresenta grande eficiência energética e viabiliza a movimentação de grandes volumes de cargas de baixo valor agregado, a altas velocidades e a grandes distâncias (ARAÚJO, 2008).

Segundo a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF-2023) com mais de 31 mil km, as ferrovias das empresas associadas conectam o Quadrilátero Ferrífero, no sul de Minas Gerais, e outros centros de mineração e siderurgia, além dos maiores polos industriais e áreas agrícolas aos principais portos brasileiros, entre eles: os de Santos, no estado de São Paulo, de Itaqui, no Maranhão, Vitória, no Espírito Santo, e o do Rio de Janeiro. Confira abaixo cada uma das malhas, atualmente, em operação.

Figura 4 - Mapa ferroviário brasileiro



Fonte: ANTF (2023).

Em 2021, o setor ferroviário de carga brasileiro mostrou sinais de retomada de crescimento, apresentando uma evolução de 3,6%, 506,8 milhões de toneladas úteis (TU), em comparação a 2020, 489 milhões de TU, e 2% em comparação a 2019, 494,5 milhões de TU, período pré-pandemia (ANTF, 2023).

Segundo dados da ANTF (2023), em mais de duas décadas de concessões, as associadas à ANTF apresentaram um crescimento de 100,1% na movimentação de cargas pelas ferrovias, em relação a 1997 — época do início das concessões, quando foram movimentadas 253 milhões de toneladas úteis; tendo assim um crescimento anual médio de 2,93%, conforme apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Crescimento de movimentação de cargas



Fonte: ANTF (2023).

O cenário internacional também apresentou crescimento na movimentação de cargas por ferrovias, os Estados Unidos da América (EUA), que comporta a maior rede ferroviária do mundo, com 293,56 mil km, apresentou um crescimento de 6,6% no transporte de cargas em comparação ao ano de 2020, e uma evolução de 4,9% no transporte de contêineres (ANTF, 2023).

Com uma representatividade de 81% na matriz de transporte, as ferrovias russas apresentaram, em 2021, um aumento de 3,2% em relação ao ano anterior, de acordo com dados da Sea News (ANTF, 2023).

O Brasil ocupa a 10ª posição no ranking de países com maiores extensões em malha ferroviária do mundo, mesmo assim está muito distante de países como Rússia

e EUA, nos quais, a ferrovia representa uma participação na matriz de transportes na ordem de 81,0% e 27,0%, respectivamente. Na Tabela 1 é possível verificar o tamanho da malha ferroviária dos 10 países com maior extensão do mundo (ANTF, 2023).

Tabela 1 - Densidade das malhas ferroviárias

	ÁREA (MILHÕES KM ²)	FERROVIA (MIL KM)	FERROVIAS/ÁREA (KM/1000KM ²)
ÍNDIA	3,29	108,71	33,04
EUA	9,83	293,56	29,86
ÁFRICA DO SUL	1,22	24,28	19,90
CHINA	9,6	141,40	14,73
MÉXICO	1,96	26,91	13,73
CANADÁ	9,98	77,93	7,81
ARGENTINA	2,78	18,00	6,47
RÚSSIA	17,1	86,00	5,03
AUSTRÁLIA	7,74	33,34	4,31
BRASIL	8,52	30,81	3,62

Fonte: ANTF (2023).

2.3.2 Ativos ferroviários de carga

O sistema ferroviário é composto por ativos que se movimentam sobre a via férrea e são denominados de material rodante, os quais podem ser divididos em ativos que tracionam e ativos que são rebocados (SIEMENTKOWSKI, 2016).

Os ativos de carga, vagões, são rebocados, geralmente, por locomotivas, e podem ser de diversos tipos. A necessidade de transportar cargas diferentes e garantir uma operação de carga e descarga eficiente fez com que surgissem vários vagões especializados, sendo que, hoje, há um tipo específico de veículo para cada grupo de mercadorias transportada (SANTOS, 2011). Quadro 4 ilustra os tipos mais comuns de vagões de carga.

Quadro 4 - Tipos de vagões

Tipo	Aplicação	Prefixo	Vagão
Hopper	Granéis sólidos, ensacados, caixarias, cargas unitizadas e produtos em geral que não podem ser expostos ao tempo, como celulose	H	
Fechado	Granéis sólidos e produtos diversos que podem ser expostos ao tempo, como minério de ferro	F	
Gôndola	Granéis corrosivos e sólidos que não podem ser expostos ao tempo e abertos, como grãos e farelo de soja, milho e calcário agrícola	G	
Plataforma	Contêineres, produtos siderúrgicos, grandes volumes, madeira, peças de grandes dimensões	P	
Tanque	Derivados de petróleo, cimento a granel e líquidos	T	

Fonte: Oliveira, Breno (2020).

De acordo com Oliveira, Breno (2020) os vagões podem ser subdivididos em 4 sistemas, cada um com uma função específica, sendo eles: conjunto de choque e tração (CCT), freio, truque e estrutura. É possível verificar os principais componentes para cada sistema na Figura 5.

Figura 5 - Hierarquia de sistemas para vagões

ESTRUTURA	CCT	FREIO	TRUQUE
Super	Engate	Timoreia	Aranha
Infra	ACT	Válvulas	Suspensão
Elementos de acoplamento e estabilização	Braçadeira	Cilindro	Rodeiro
	Acessórios	Reservatório	Timoneria

Fonte: Oliveira (2020).

a) Superestrutura

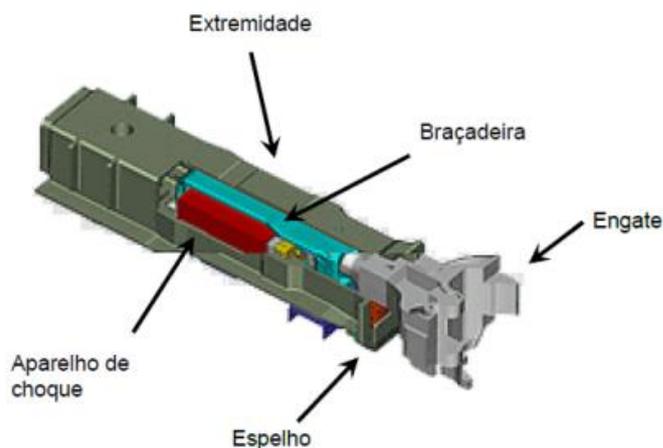
É o conjunto responsável por receber, acomodar e descarregar os produtos transportados. A boa condição desse sistema é essencial para o bom desempenho da operação ferroviária, visto que impacta, diretamente, nos tempos do fluxo logístico. A superestrutura é formada por quatro subsistemas: caixa, estrado, teto e sistema de descarga.

- Caixa - a caixa, ou plataforma do vagão, é responsável pelo acondicionamento da carga transportada. Deve ter sua construção adaptada para o tipo de carregamento/ descarga a ser utilizado;
- Estrado - é a estrutura sobre a qual se apoia a caixa dos veículos ferroviários e tem a função de transferir para o truque (suspensão do vagão) o peso imprimido pela caixa, além de transmitir os esforços de tração e compressão de um veículo a outro. O estrado serve também de alojamento e suporte para os sistemas de freio e conjunto de choque e tração;
- Teto - em vagões fechados, o teto é responsável pela vedação contra a água da chuva e impurezas para evitar a contaminação da carga;
- Sistema de descarga - em vagões fechados, o sistema de descarga é composto por tampas, com abertura horizontal ou vertical, que são utilizadas para descarregamento do vagão.

b) Conjunto de Choque e Tração - CCTS

Localizado nas cabeceiras dos vagões, o conjunto de choque e tração tem a finalidade de permitir o acoplamento de um veículo ao outro, para transmitir os esforços de tração e compressão, além de amortecer parte dos choques decorrentes das variações de velocidade dos vagões em uma composição ferroviária. A Figura 6 apresenta um esquema básico desse sistema:

Figura 6 - Engate tipo E



Fonte: Oliveira (2020).

- 1) Engate: é feito de aço fundido e recebe as demais peças que possibilitam o acoplamento entre os vagões. Existem vários modelos de engate, sendo que cada um é baseado na resistência a tração necessária, no comprimento dos trens e capacidade máxima transportada dos vagões. O engate é, fisicamente, composto de um corpo fundido, mandíbula e diversos componentes que operam no travamento ou destravamento da mandíbula para permitir acoplamento e desacoplamento (OLIVEIRA, 2020).
- 2) Aparelho de choque: é o dispositivo destinado a absorver parte da energia dos impactos transmitidos aos vagões através dos engates. É acoplado ao engate pela braçadeira. Os modelos tradicionais absorvem energia através de atrito seco entre seus componentes internos e um conjunto de molas helicoidais ou mesmo borrachas (OLIVEIRA, 2020).
- 3) Sistema de freio: sistema que engloba todos os componentes que permitem a frenagem do vagão, incluindo o freio manual. Os sistemas de freio usados no Brasil são do tipo com pressão positiva no encanamento geral. Esse é um sistema automático, pois aplica, automaticamente, os freios, caso as mangueiras ou a tubulação do trem se rompam, por questões de segurança. Tal condição requer que o encanamento do trem seja carregado com ar para aliviar todos os freios e, quando parcial ou completamente descarregado, aplicá-los. Segundo Oliveira (2020) existe uma diversidade muito grande de válvulas de freio em uso no país. Seus componentes básicos são:

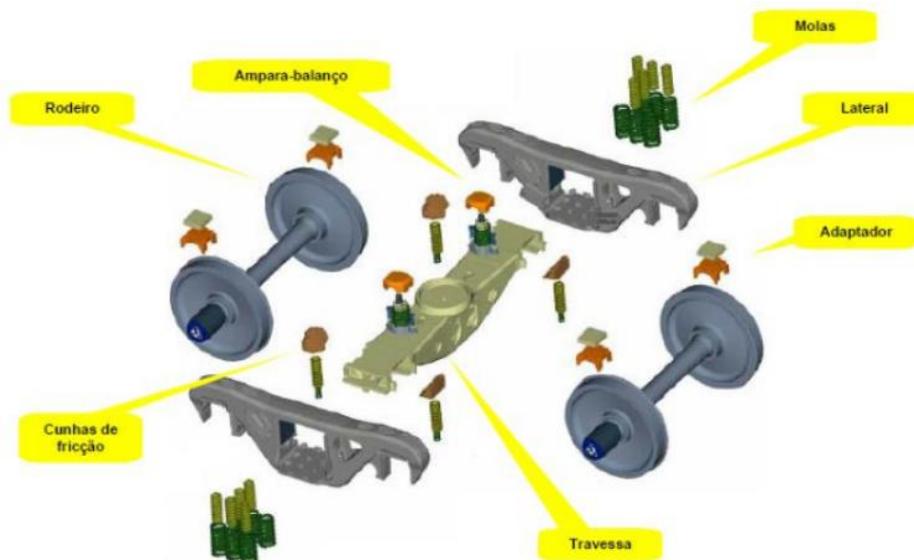
- Encanamento geral: conduz o ar pressurizado para todo o sistema de freio de uma cabeceira a outra do vagão. É composto de uniões retas, ligações retas, “T” de ramal, tubos, braçadeiras de fixação, anel de compressão e juntas de vedação;
- Mangueira de acoplamento: sua função é a de ligar o sistema de ar em toda a composição, interligando o encanamento geral entre vagões e locomotiva;
- Torneira angular: sua função é liberar ou interromper o fluxo de ar através do encanamento geral. É manipulada manualmente, tendo duas posições: aberta ou fechada. É angular para evitar o dobramento da mangueira, que provocaria restrição de ar;
- Ajustador de folga: o ajustador automático de folgas é um dos dispositivos de regulação automática das folgas provenientes do desgaste da sapata junto à timoneira de freio do vagão. Visa garantir que o curso padrão do cilindro de freio seja mantido e que as sapatas estejam sempre juntas às rodas;
- Válvulas: a válvula de controle é responsável pela aplicação e alívio dos freios dos vagões, sendo comandada pelo diferencial de pressão entre o encanamento geral e o reservatório de ar do vagão;
- Reservatório de ar: é carregado por meio da válvula de controle até atingir pressão igual ao encanamento geral, liberando ar comprimido para o cilindro de freio no momento da aplicação de freio do vagão;
- Cilindro de freio: é o componente responsável pelo acionamento mecânico do sistema de freio,
- Sapata de freio: é um elemento utilizado para frenagem do trem. Seu princípio de funcionamento é o atrito de sua massa contra a superfície da roda, provocando o retardamento de seu giro;
- Detector de descarrilamento de vagão (DDV): sua função é provocar uma frenagem de emergência no trem, quando um rodeiro descarrila, evitando assim uma consequência maior. É um ramal do encanamento geral do vagão com um tampão fusível que se desloca quando o rodeiro descarrila, permitindo que a saída do ar provoque uma aplicação emergencial de freio.

c) Truque

É a parte do vagão sobre a qual é assentado o estrado da caixa. Sua função é distribuir e transferir o peso dos vagões para os trilhos. Esse é o sistema que permite a movimentação do vagão guiada pelos trilhos (HUNGRIA, 2017). Sua função é inscrever nas curvas e amortecer os impactos provenientes da via e do contato roda-trilho, evitando que esses impactos sejam completamente transferidos para a caixa. O amortecimento é feito através do sistema de molas e cunhas e pelo atrito entre superfícies. Esses elementos agem sobre os movimentos de oscilação de auto alinhamento do truque, proporcionando equilíbrio, estabilidade e amortecimento de impactos. Sua correta manutenção é essencial para evitar acidentes ferroviários, que podem ser extremamente graves (HUNGRIA, 2017).

A Figura 7 apresenta uma visão explodida de um truque, com seus principais componentes. Existem vários tipos de truque, cada um com características e qualidades específicas. Os principais modelos são o Ride Control e o Barber. Os truques Ride Control e Super Service Ride Control têm projeto caracterizado pela existência de cunhas de fricção, montadas na extremidade das travessas centrais, de forma a aplicar força de estabilização constante sobre as laterais. Isto é, o amortecimento não varia com a carga do vagão. Os truques Barber S2C, S2E e S2M têm projeto caracterizado pela existência de cunhas de fricção montadas na extremidade da travessa central, de forma a aplicar força de estabilização variável sobre as laterais. Isso significa que as cunhas exercem mais força para estabilizar o vagão quando carregado do que vazio. As cunhas também podem ser do tipo split wedges (bipartidas).

Figura 7 - Visão explodida de um truque de 3 peças



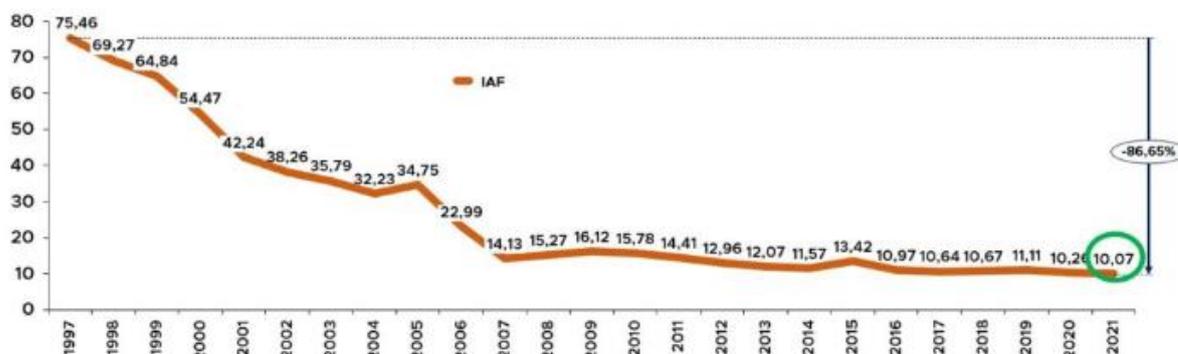
Fonte: Oliveira (2020).

2.3.3 Mecanismos de acidentes ferroviários e suas consequências

O transporte de cargas pelo modal ferroviário possui diversas vantagens, em termos de produção e eficiência energética (OLIVEIRA, 2020), porém, dado suas proporções e cargas envolvidas, os acidentes podem ser catastróficos e gerar impactos econômicos, ambientais ou à vida humana (HUNGRIA, 2017).

Em relação ao cenário brasileiro, desde as privatizações, tem-se uma evolução de 86,65% sobre o Índice de Acidentes Ferroviários (IAF) segundo a ANTF (2023).

Gráfico 3 - Densidade das malhas ferroviárias



Fonte: ANTF (2023).

Segundo Hungria (2017) os acidentes podem ser resumidos em algumas categorias:

- Comunidade (atropelamentos e abalroamentos);
- Manobras incorretas (terminais e operação ferroviária);
- Via geometria (bitola, nivelamento e empeno);
- Vagões e locomotivas (amortecimento, rodeiros e estrutura);
- Deslizamentos e fugas de aterro.

Acima, foram citadas as principais causas de ocorrências, sendo que além dessas básicas, pode-se ter diversas combinações que contribuem para uma ocorrência ferroviária.

Além das consequências diretas dos custos relacionados aos reparos dos equipamentos e vias danificados existem, segundo Hungria (2017), outras relacionadas a:

- Acidentes fatais;
- Danos ambientais;
- Interrupções longas do transporte;
- Multas.

De forma geral, a minimização desses eventos proporciona maior estabilidade, confiabilidade e perpetuidade das operações.

2.3.4 Monitoramentos das condições dos ativos

Por meio do acompanhamento da performance de componentes críticos de cada vagão é possível gerenciar os desvios causados pelo mau funcionamento e/ou desgastes excessivos nos sistemas. Com a utilização de um conjunto de equipamentos de monitoramento, conhecido como *waysides*, é possível identificar prováveis falhas, antes que essas se manifestem de maneira mais grave, tornando mais fácil planejar e programar atividades de manutenção e reparar os ativos de forma mais eficiente (OUYANG; BARKAN; KAWPRASERT, 2009).

Por meio dos *waysides*, que reúnem equipamentos para monitoramento de rodas, rolamentos, truque e sistema de freio, é possível então monitorar parâmetros críticos do vagão e, então, direcionar o ativo para a oficina, quando for necessária a intervenção (OLIVEIRA, 2020).

Segundo Lagneback (2007) para se compreender o funcionamento dos *waysides* é necessário a definição de alguns conceitos:

- Sistemas reativos - de acordo com o autor esses detectam falhas já presentes no ativo. Normalmente, não podem ser utilizados em cálculos de tendência, porém ajudam a proteger os sistemas de danos mais severos;
- Sistemas preditivos - detectam o avanço de falhas no sistema. Esses equipamentos podem ser utilizados em cálculos de tendência, de forma a manter o ativo antes que a falha ocorra;
- Sensores do sistema *waysides* - sensores instalados, lateralmente, na via, realizando aquisição e processamento de dados de condições do vagão;
- Supersite - local onde são instalados vários sensores *waysides*;
- Tagueamento - aplicação de transponder Identificação por Radiofrequência (RFID - Radio Frequency Identification) que contém informações básicas a respeito de cada ativo. Esses transponders são os responsáveis pela identificação do veículo na passagem pelos equipamentos *waysides*.

Os equipamentos mais comuns utilizados pelas ferrovias brasileiras (OLIVEIRA, 2020):

- 1) Detector acústico de rolamentos - essa tecnologia consiste no uso de microfones para captar os sons dos veículos passantes, sendo que através da amplitude da onda sonora pode-se inferir qual a gravidade da avaria e através da frequência de pico pode-se avaliar qual o tipo de avaria;
- 2) Detector de performance de truque - equipamentos que utilizam feixes de lasers para identificar a posição dos rodeiros e, dessa forma, identificam vagões com má performance de inscrição em curvas e tangentes;
- 3) Perfilômetro de rodas - sistema para medição do perfil de roda acoplado diretamente na via para aferir o perfil de roda e seus parâmetros associados

através de imagens feitas por câmeras de alta definição, enquanto as composições passam pelo aparelho;

- 4) Detector de impacto de roda - sistema no qual acopla-se aos trilhos diversos *strain gages*, células de material piezoelétrico, de forma a identificar a pressão exercida pelas rodas nos trilhos, identificando rodas com defeitos superficiais;
- 5) Detector de temperatura de rolamentos - sensores acoplados aos dormentes que medem a temperatura de cada rolamento durante a passagem da composição. Rolamentos com temperatura muito elevada devem ser retirados de circulação. Esse sistema também é conhecido como Hot Box;
- 6) Detector de temperatura de rodas conjunto de equipamentos e sensores, que estão instalados na via para medir a temperatura das rodas das composições. Temperaturas muito baixas após rampas indicarem deficiências no sistema de freio do vagão, enquanto as temperaturas muito altas em via tangente indicam que os freios estão travados.

2.4 Estudo de viabilidade para novos projetos: principais análises e indicadores de atratividade

Segundo o último relatório publicado pelo Fundo Monetário Internacional (FMI - 2022) sobre as perspectivas econômicas mundiais, datado de outubro de 2022, a atividade econômica ao redor do mundo está passando por uma desaceleração mais forte do que o esperado pelos economistas. Observa-se uma inflação em níveis que já não se via há décadas, culminando numa crise do custo de vida e no aperto das condições financeiras das pessoas/empresas/países na maioria das regiões ao redor do globo, muito impulsionado pela invasão da Ucrânia pela Rússia e a persistência da pandemia da Covid-19 (INTERNATIONAL MONETARY FUND, 2022). Somado a esse cenário, há também o grande esforço das empresas para se manterem competitivas e perenes no mercado, culminando numa busca acirrada por mais espaço e *market share*, redução dos custos operacionais e produtos/serviços diferenciados. Contudo, considerando o panorama exposto, cabe ressaltar a relevância de estudos de viabilidade e atratividade para aportes financeiros em novos negócios e/ou grandes investimentos em novos produtos e serviços no ambiente organizacional, frente aos riscos e às incertezas apresentados pelas circunstâncias da conjuntura político-econômica e financeira.

Diante do cenário descrito, anteriormente, toda empresa precisa contemplar, em seus processos decisórios, estudos de viabilidade que buscam balizar as decisões de como a empresa deve destinar seus recursos para atingir seus objetivos e metas de curto, médio e longo prazo.

O estudo de viabilidade é um processo que visa analisar as vantagens, desvantagens e riscos de um projeto (produto ou serviço) antes de sua execução. Ele considera diversos aspectos, como custos, recursos, tempo de execução, entre outros fatores importantes. O objetivo principal é avaliar se o projeto (produto ou serviço) é viável e se seus custos e benefícios são adequados.

Segundo Martins (2022), conduzir um projeto grande, complexo e com um enorme potencial de impacto na organização pode ser empolgante por promover mudanças concretas, por outro lado, a possibilidade do fracasso é assustadora. Nesse cenário, o estudo de viabilidade se torna muito importante.

Segundo Castro (s.d.), a análise de viabilidade de projetos é o estudo que evidencia se um projeto deve ou não sair do papel. Isso significa que, antes de qualquer ação sair do papel, as organizações devem saber se um projeto atende aos requisitos para ser executado.

O estudo de viabilidade, às vezes, chamado de análise ou relatório de viabilidade, é uma forma de avaliar se o seu plano de projeto pode dar certo ou não. Esse estudo analisa a praticidade do seu plano de projeto para determinar se é possível ou não avançar com ele (MARTINS, 2022).

Estudos de viabilidade são importantes para projetos que constituem investimentos significativos para o seu negócio. Projetos com um alto potencial de impacto, na sua presença de mercado, também podem exigir um estudo de viabilidade (MARTINS, 2022).

Segundo o artigo “Análise de viabilidade de projetos: saiba como elaborá-lo e aplicá-lo no seu negócio”, publicado pela UFMG Consultoria Júnior (UCJ - 2021) o objetivo principal, ao realizar uma análise de viabilidade de projetos, é verificar e antecipar cenários e resultados otimistas e pessimistas, permitindo a realização de projeções assertivas, de forma a balizar as decisões quanto a levar o projeto adiante ou não. O estudo de viabilidade permite, também, realizar comparações, sejam elas internas ou em relação a outros atores do mercado, analisando seu tamanho, considerando a aceitação de um produto ou serviço, ou estimando o retorno financeiro de um projeto (UCJ - 2021).

Ainda, segundo a UCJ (2021), os estudos de viabilidade consideram todo um conjunto de informações relevantes para que os tomadores de decisão estabeleçam estratégias para viabilizar o projeto de forma segura e com perspectivas de faturamento. Por esse motivo, essa ferramenta serve como apoio e base para fazer as melhores escolhas para o futuro do negócio, devendo ser atualizada com frequência e consultada à medida que os passos são seguidos, mantendo-a realista e condizente com a realidade da empresa (UCJ, 2021).

Para a UCJ (2021) a principal vantagem do estudo de viabilidade é minimizar o desperdício de recursos como tempo e dinheiro, otimizando a tomada de decisão e o desenvolvimento de um planejamento estratégico mais eficaz, prevendo ações e cenários futuros.

A análise pode ser realizada a partir de diferentes pontos: análise da estratégia, análise técnica, operacional, legal, econômico-financeira, ambiental, mercadológica, política, fiscal, localização etc. (CASTRO, [s.d.]).

2.4.1 Viabilidade estratégica

O estudo de viabilidade estratégica de projetos busca entender a capacidade de um projeto em relação aos objetivos e metas da organização. Esse estudo é, geralmente, avaliado com base na análise de seu custo-benefício, seus potenciais efeitos e a viabilidade operacional. É importante que as organizações analisem, cuidadosamente e periodicamente, a viabilidade estratégica de seus projetos, para garantir que eles se alinhem às suas estratégias e objetivos da companhia.

Segundo Teles, *head* de inovação da Criarh, um estudo de viabilidade estratégica é a análise de uma ideia de projeto, a partir de uma perspectiva estratégica. Ou seja, vai medir se o projeto é coerente com os objetivos e rumos da empresa (TELES, s.d.).

2.4.2 Viabilidade operacional

O estudo de viabilidade operacional tem como objetivo avaliar a capacidade de uma organização de desempenhar determinadas atividades de forma eficaz. O estudo se concentra, especificamente, na operação da empresa, analisando a capacidade de recursos, processos e métodos para atingir os objetivos de desempenho definidos. O

estudo de viabilidade operacional também identifica e avalia as barreiras que podem impedir o desempenho desejado e as possíveis soluções para esses problemas.

Segundo Martins (2022), o estudo de viabilidade operacional avalia se a organização é ou não capaz de executar o projeto. Isso inclui a força de trabalho necessária, a estrutura organizacional e todos os requisitos legais aplicáveis. No fim do estudo da viabilidade operacional, a equipe terá uma noção se ela tem ou não recursos, habilidades e competências para executar o projeto.

Segundo Teles (s.d.), um estudo de viabilidade operacional é a análise de uma ideia de projeto a partir de uma perspectiva operacional. Ou seja, vai medir a viabilidade levando em conta tudo o que é necessário para produzir o seu produto ou serviço, desconsiderando outros custos, como o custo de oportunidade. O objetivo principal desse tipo de estudo é avaliar os fatores operacionais que podem levar ao sucesso do projeto, ou seja, verificar se o projeto pode ser executado como planejado, levando em conta todos os seus aspectos (TELES, s.d.).

2.4.3 Viabilidade técnica

O estudo de viabilidade técnica é um processo que avalia se o projeto (produto ou serviço) pode ser executado de acordo com as especificações definidas, com base em fatores técnicos, tecnológicos, operacionais, financeiros e comerciais. O estudo inclui testes e análises para avaliar se as tecnologias, recursos e processos necessários para realizar o projeto estão disponíveis e se eles podem ser usados de forma eficaz.

Para Martins (2022), o estudo de viabilidade técnica analisa os recursos técnicos disponíveis para o projeto. Esse estudo determina se a empresa dispõe de equipamentos certos e suficientes e o conhecimento técnico adequado para cumprir os objetivos do projeto (MARTINS, 2022).

Segundo Madureira (2016), professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e da Fundação Vanzolini, a análise de viabilidade técnica começa a partir da relação dos objetivos a serem alcançados pelo projeto (produto ou serviço) e pelas propostas de soluções técnicas para cada um dos objetivos propostos, para seguir com a análise técnica e avaliação da capacidade de cada uma das soluções possíveis a fim de atender aos requisitos técnicos, funcionais e operacionais, estabelecidos no planejamento. Essa tarefa consiste em verificar o

atendimento a requisitos como: desempenho, segurança, confiabilidade e cada análise produzirá conclusões positivas ou negativas, a serem completamente documentadas. O produto desse trabalho será um conjunto de soluções viáveis, em termos de atendimento, aos requisitos técnicos (MADUREIRA, 2016).

2.4.4 Viabilidade político-legal

O estudo de viabilidade político-legal se concentra no contexto legal e político de uma empresa ou projeto. Ele avalia todos os aspectos legais, políticos e regulatórios que afetam a empresa ou projeto para determinar a sua viabilidade. O estudo de viabilidade político-legal também leva em consideração a competição, os interesses dos *stakeholders* (governos, organizações sem fins lucrativos e grupos de interesse), as tendências do mercado e os cenários políticos e regulatórios futuros. Esse estudo ajuda a empresa ou projeto a evitar problemas legais e políticos, bem como a fornecer as melhores estratégias para garantir o sucesso, sendo um processo importante para garantir que os projetos sejam executados de acordo com as leis e regras vigentes.

Para Castro (s.d.), a viabilidade legal estuda se a iniciativa está de acordo com as normas e leis do país, no qual o projeto será implantado, e se esse é condizente com as normas da própria organização. Em alguns casos, a análise de viabilidade legal é realizada por advogados.

2.4.5 Viabilidade financeira

O estudo de viabilidade financeira avalia a capacidade de um projeto (produto ou serviço) gerar retornos suficientes para cobrir seus custos e ainda proporcionar lucros. Geralmente, é realizado antes da tomada de decisão de investimento e é baseado em dados quantitativos, como fluxo de caixa previsto, custos e despesas, tributos e outras variáveis. O estudo de viabilidade financeira inclui uma análise aprofundada das perspectivas de lucro e de risco, bem como as opções de financiamento necessárias para tornar a empresa ou projeto um sucesso. É uma ferramenta importante para a tomada de decisões estratégicas, pois fornece aos profissionais uma compreensão clara dos riscos potenciais e dos retornos esperados. Os resultados do estudo de viabilidade financeira podem ser usados para ajudar os

empreendedores a avaliar se devem prosseguir com seus planos ou se a empresa precisa de ajustes para ter sucesso.

Segundo Martins (2022), a viabilidade financeira define se o projeto é ou não viável economicamente. O relatório de viabilidade financeira inclui uma análise de custo-benefício do projeto, além de prever o retorno sobre o investimento esperado e indicar qualquer risco financeiro. O objetivo, ao final do estudo, é entender os benefícios econômicos que serão gerados pelo projeto.

Garcia (s.d.), diz que tão importante quanto definir um ramo de atuação no mundo dos negócios, o estudo de viabilidade financeira é crucial para o sucesso do empreendimento. Uma análise bem-feita trará segurança e bases sólidas para o novo negócio, influenciando, positivamente, na tomada de decisões mais acertadas.

Segundo Camargo (2017), o estudo de viabilidade financeira tem como objetivo estimar o total de investimento necessário para colocar o projeto em prática. Para isso, ele considera diversos fatores, como capital inicial, despesas, receitas, rendimentos e desembolsos de investidores.

Para Reis (2018), a viabilidade financeira procura relacionar o investimento total, necessário para iniciar o projeto (capital inicial), os seus custos correntes fixos e variáveis para mantê-lo, com os rendimentos que ele pode gerar com o tempo. Portanto, se os custos forem menores que as potenciais receitas em um determinado período, e se essas conseguirem se estabelecer de forma sustentável a partir de um momento, o projeto é viável financeiramente.

Para Garcia (s.d.), a viabilidade financeira nada mais é do que uma ferramenta para cálculo de dados sobre despesas e lucro, para que o investidor saiba, de forma clara, se o seu empreendimento será economicamente e financeiramente viável.

Segundo Garcia (2018), o estudo de viabilidade financeira é pensado e projetado para reduzir riscos, evitando prejuízos futuros. O estudo busca direcionar as decisões empresariais, indicando quais são os caminhos e ações mais promissoras, que devem sair do papel e serem postas em prática.

A seguir será descrito os principais indicadores financeiros para novos projetos. A análise de viabilidade econômico-financeira, por meio da aplicação de medidas, é um procedimento indicado quando se pretende obter dados consistentes e uma visão mais ampla da situação da empresa envolvendo cálculos e resultados. Entre todas as métricas existentes para identificar a geração de valor, as que são notadamente mais utilizadas são o *payback* simples, *payback* descontado, o Valor Presente Líquido

(VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). (DINIZ; SOUZA; DELFIOR apud HOJI, 2010).

2.4.5.1 Payback simples

Segundo La Torre (2015), o *payback* simples é o primeiro parâmetro de análise e, como o próprio nome diz, é de simples aplicação e direto. Esse método é feito medindo o prazo necessário objetivando recuperar o investimento a se realizar, sem considerar o custo de capital. Nesse caso, os valores futuros não serão descontados.

Em outras palavras, Lima (2019) diz que o *payback* simples é o período necessário para que o fluxo operacional de caixa do projeto recupere o valor a ser investido.

Segundo Lima (2019), o *payback* simples é uma das ferramentas mais fáceis e muito utilizada nas decisões de investimento de longo prazo, principalmente como uma medida de risco. Uma vez que se define um período máximo para o retorno de um projeto, procura-se reduzir o risco e valorizar a liquidez. Um problema do método do *payback* simples, que o faz ser considerado deficiente, é o fato de ele não considerar o valor do dinheiro no tempo.

Segundo Reis (2019), a lógica do *payback* é simples, ou seja, quanto maior for o tempo de recuperação do investimento feito, maior é o risco e a possibilidade de prejuízo envolvida. Por outro lado, quanto menor for o tempo de recuperação do investimento feito, menor é o risco e maior é a atratividade do investimento. Ou seja, o cálculo do *payback* não considera o valor do dinheiro no tempo, ele é determinado contando o número de anos necessários para recuperar os fundos investidos (REIS, 2019).

De acordo com Reis (2019), a fórmula para o cálculo do *payback* apresenta a seguinte estrutura:

$$\text{Payback} = \text{Investimento inicial} / \text{Ganhos no período}$$

2.4.5.2 Payback descontado

Payback descontado é o tempo que uma pessoa leva para recuperar seus recursos, que foram aplicados em um determinado investimento, considerando o valor

do dinheiro no tempo, isto é, descontando os saldos futuros do fluxo de caixa a valor presente por uma taxa. Essa taxa pode ser denominada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA), custo de capital ou taxa de desconto (ESPÓSITO, 2021).

Segundo La Torre (2015), como os recursos alocados nos projetos não são gratuitos, deve-se considerar e incluir o custo do capital nas condições e prazos necessários ao sucesso operativo do projeto, e a TMA será considerada como o custo de capital ao longo do prazo de análise.

Conforme Lima (2019), o método de *payback* descontado foi desenvolvido para corrigir uma das desvantagens do *payback* simples, que é a não consideração do valor do dinheiro no tempo.

Conforme Fernandes et al apud Souza e Clemente (1999), a fórmula para calcular *payback* descontado apresenta a seguinte estrutura:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TMA)^t}$$

Onde:

TMA é a taxa mínima de atratividade

T é o índice que representa o período de 1 a n

FC₀ é o fluxo de caixa no momento zero (investimento)

FC_t é o fluxo de entrada até o período n, e

VPL é o valor presente líquido

Na prática, quando o VPL igualar a zero, será o *payback* descontado resultante. O número fracionário (quantidade de meses) será obtido dividindo o saldo de investimento que irá retornar pelo fluxo de caixa descontado do período subsequente (FERNANDES et al., 2022).

2.4.5.3 Valor presente líquido (VPL)

Segundo Lima (2019), o VPL é o valor presente do fluxo de caixa operacional do projeto, descontado ao custo de capital da empresa. Em linha gerais, pode-se afirmar que quanto maior for o VPL, melhor será o projeto.

Segundo La Torre (2015), o VPL compara todas as entradas e saídas de dinheiro, na data inicial do projeto, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa. Deve-se sempre levar em consideração a TMA que mede o custo de capital,

mostrando-se o seguinte referente de análise: quanto maior for o VPL do projeto maior o potencial de gerar lucro, no entanto, maior também poderá ser o risco do projeto gerar o lucro.

Segundo Reis (2017), o VPL pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$VPL = FC_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+TMA)^i}$$

Onde:

TMA é a taxa mínima de atratividade

i é o índice que representa o período de 1 a n

FC₀ é o investimento na data de hoje (momento zero)

FC_i são os fluxos de caixa que acontecerão nos próximos períodos

VPL é o valor presente líquido

2.4.5.4 Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR de um investimento é a taxa que iguala o fluxo de caixa operacional ao valor a ser investido no projeto. Ou seja, a TIR é a taxa que iguala o VPL a zero. É dita interna porque depende somente dos fluxos de caixa do projeto e não de taxas oferecidas pelo mercado. Em linhas gerais, quanto maior a TIR, melhor será o projeto (LIMA, 2019).

Segundo Kovacks (s.d.), a TIR é um método utilizado para a análise de investimentos. A definição da TIR é a taxa de desconto que iguala o VPL a zero. O cálculo da TIR age fazendo com que todas as entradas de capital se tornem iguais a todas as aplicações.

Em resumo, a TIR complementa a análise de VPL e reflete os rendimentos reais gerados por um investimento em um espaço de tempo. A funcionalidade da TIR é complementar a VPL, pois a comparação dos valores é feita em relação à TMA, presente no cálculo do VPL (KOVACKS s.d.).

Para Camargo (2017), a TIR reflete a qualidade de um investimento, e é amplamente utilizada por empresas para determinar se devem ou não investir. Além disso, gestores financeiros fazem uso da TIR para comparar diferentes opções de investimentos.

Segundo Coutinho (2018), a TIR é uma métrica usada para avaliar o percentual de retorno de um projeto para a empresa. Ao encontrar essa taxa, geralmente ela será comparada à TMA para que se decida se o projeto deve ou não ser aceito.

Caso a TIR seja maior que a TMA, o investimento deve ser aceito (geralmente não se baseia apenas em um indicador), caso contrário será rejeitado. Em geral, as empresas darão preferência aos projetos que possuem a maior diferença entre a taxa requerida e a taxa interna de retorno, ou seja, projetos com uma TIR muito maior que outros terão uma chance muito melhor de crescimento (COUTINHO, 2018).

Ainda segundo Coutinho (2018), embora a TIR seja uma métrica atraente para muitos, ela deve sempre ser usada em conjunto com o VPL para obter uma imagem mais clara do valor representado por um projeto que uma empresa possa empreender.

Conforme Coutinho (2018), a TIR pode ser representada pela fórmula a seguir:

$$0 = \text{VPL} = \sum_{t=0}^T \frac{\text{FC}_t}{1 + \text{TIR}^t}$$

Onde:

FC_0 = investimento inicial, sendo, portanto, inserido como negativo

FC_t = fluxo de caixa até o período n

t = cada período

T = período total

VPL = valor presente líquido

TIR = taxa interna de retorno

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia utilizada para a realização deste projeto aplicativo. O objetivo é detalhar os passos seguidos para a coleta e análise dos dados.

O uso da metodologia descritiva possui importante papel na realização de pesquisas científicas, uma vez que ela tem como objetivo principal fornecer informações detalhadas sobre o estudo em questão. Como afirma Freire (2008): “a metodologia descritiva caracteriza-se por buscar descrever e explicar as relações existentes entre os elementos que compõem um sistema, procurando identificar características, variáveis e fatores que possam explicar ou contribuir para a compreensão do fenômeno estudado” (FREIRE, 2008).

Sendo assim, é possível perceber que a metodologia descritiva se torna principalmente importante quando há necessidade de se compreender o estudo da forma mais completa possível.

De acordo com Soares (2009): “a metodologia descritiva é um procedimento utilizado para obter informações detalhadas sobre determinado objeto de estudo, de forma a estabelecer relações entre o que é observado e o que é descrito” (SOARES, 2009). Dessa forma, é possível perceber que a metodologia descritiva possui papel importantíssimo na realização de pesquisas científicas, sendo necessário que se faça uso das técnicas corretas para que se possa obter uma análise minuciosa e completa dos elementos que compõem o estudo.

Como conclui Ramos (2011): “a metodologia descritiva é fundamental para que se obtenham informações detalhadas sobre o estudo em questão, permitindo que se faça uma análise minuciosa de todos os elementos presentes no mesmo” (RAMOS, 2011). Portanto, é possível perceber que a metodologia descritiva é de grande importância para que se possa realizar pesquisas científicas de forma mais completa e eficiente, uma vez que ela possibilita a obtenção de informações detalhadas sobre o estudo.

Segundo Gil (2009), a metodologia descritiva é um método que “busca descrever, analisar e interpretar as informações obtidas sobre determinado fenômeno”. Partindo desse princípio, essa metodologia foi a escolhida para o desenvolvimento deste trabalho, pois, por meio de observação e análise, foi possível verificar os principais fatores que influenciaram o tema escolhido. Nessa pesquisa, o

método descritivo foi empregado para identificar as principais características do tema em questão, a fim de obter uma maior compreensão do assunto.

Segundo Silva (2016), esse método é baseado na coleta de dados sobre o tema e na análise desses dados para compreender melhor o assunto. Além disso, a metodologia descritiva possibilita a compreensão das relações entre as variáveis estudadas. Neste trabalho, foram utilizadas técnicas como a pesquisa documental, a pesquisa bibliográfica e a pesquisa de campo.

A pesquisa documental é definida como: “qualquer procedimento de pesquisa que se baseia em fontes documentais, tais como documentos, registros, publicações, relatórios, arquivos, correspondências, dados estatísticos e outras fontes escritas” (MORAIS, 2014, p. 90). Essa forma de pesquisa é útil para estudar o passado ou o presente de uma determinada área de estudo, pois ajuda os pesquisadores a obterem informações sobre o assunto investigado a partir de fontes já existentes. A pesquisa documental deste trabalho foi realizada a partir de documentos oficiais e materiais disponíveis na internet.

A pesquisa bibliográfica é definida como: “uma pesquisa sistemática de publicações existentes sobre um tema determinado” (ALMEIDA, 2018, p. 104). Essa forma de pesquisa é importante para a compreensão e análise de informações sobre determinados assuntos. Por exemplo, um pesquisador pode usar a pesquisa bibliográfica para identificar e examinar as obras publicadas sobre um determinado tema. A pesquisa bibliográfica, para este projeto aplicativo, foi realizada a partir da leitura de livros, artigos científicos e outras fontes de informação.

A pesquisa de campo é definida como: “qualquer forma de pesquisa que envolve o contato direto com os participantes e a coleta de dados no local onde ocorrem os eventos” (GONÇALVES, et al., 2015, p. 32). Essa forma de pesquisa é importante para coletar dados diretamente dos participantes e entender melhor o contexto em que o assunto está sendo estudado. Por exemplo, um pesquisador pode usar a pesquisa de campo para entrevistar participantes, observar seu comportamento ou realizar testes em ambientes reais. Por fim, a pesquisa de campo foi realizada por meio da aplicação de questionários e entrevistas aos profissionais da área.

A análise dos dados coletados foi realizada a partir da leitura atenta dos documentos e materiais obtidos. A partir dessa análise, foi possível identificar os principais fatores que influenciam o tema em questão. Além disso, a análise dos dados permitiu obter resultados significativos para o desenvolvimento deste trabalho.

Em suma, a metodologia descritiva foi escolhida para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, pois se trata de um método que permite obter informações detalhadas sobre o tema em questão. Por meio da análise dos dados coletados com base nas técnicas citadas acima, foi possível obter resultados significativos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Juntamente a metodologia descritiva foi utilizado a estratégia qualitativa com um enfoque de pesquisa que se concentra na compreensão aprofundada e na interpretação dos pontos estudados, fornecendo uma perspectiva detalhada sobre as experiências, percepções e significados subjacentes aos fenômenos em estudo. Ela se baseia em métodos de coleta de dados como entrevistas, observação participante, análise de documentos e análise de conteúdo, valorizando as perspectivas dos participantes da pesquisa buscando identificar os diferentes pontos de vista e significados atribuídos aos eventos e processos. Ao explorar as experiências e opiniões dos participantes, a estratégia qualitativa pode revelar informações valiosas que não seriam capturadas apenas por meio de medidas quantitativas. Em suma, a metodologia estratégica qualitativa desempenha um papel fundamental na pesquisa exploratória e na compreensão dos fenômenos complexos. Ela oferece uma abordagem detalhada, rica e contextualizada, que pode gerar insights valiosos e informar a tomada de decisões em diversos campos do conhecimento.

4. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE INFORMAÇÃO

O transporte ferroviário de cargas no Brasil tem sido, historicamente, importante para o país, especialmente para o transporte de grãos e contêineres. No entanto, nos últimos anos, o setor enfrenta desafios, como a concorrência com o transporte rodoviário e a falta de investimentos em infraestrutura.

Apesar desses obstáculos, houve um esforço recente para revigorar o setor de transporte de cargas no Brasil, com o objetivo de torná-lo mais eficiente e competitivo. Isso inclui a modernização de infraestruturas existentes, o desenvolvimento de novas linhas assistidas e implementação de tecnologias avançadas, como o sistema de controle de tráfego e automação do processo de tráfego de cargas.

Além disso, há um aumento da demanda por soluções de transporte mais eficientes, o que é positivo para o setor ferroviário de transporte de cargas no Brasil. A tendência é que o setor continue a crescer no futuro, especialmente se os esforços de modernização e investimento prosseguirem.

4.1. História da ferrovia no Brasil

O setor ferroviário de transporte de cargas é um dos mais antigos e importantes da indústria de transportes. Ele é responsável por mover grandes volumes de mercadorias em todo o mundo, desde matérias-primas até produtos acabados, como grãos, minerais, petróleo e gás, entre outros. No Brasil, de acordo com a Equipe Brasil Escola (2023), a primeira ferrovia brasileira foi fundada pelo Visconde de Mauá e construída pela Imperial Companhia de estradas de ferro, ligando o Porto de Mauá, na Baía de Guanabara, a Serra da Estrela, no caminho de Petrópolis, com uma extensão de 14,5 km. Em seguida, surgindo em outros estados e em São Paulo, com o objetivo de atender a demanda de escoação das safras de café (BRASIL ESCOLA, 2023).

Entre os anos de 1870 e 1920, o crescimento médio dessas ferrovias era de 6.000 km por década, criando uma verdadeira “Era das ferrovias”. Já após 1920, com o crescimento da era do automóvel, as ferrovias entraram numa fase de estagnação não se recuperando até os dias atuais, sendo distribuídas irregularmente no território brasileiro. Apenas a região Sudeste concentra 47% das ferrovias do país, enquanto

as ferrovias das regiões Norte e Centro-oeste concentram apenas 8% do total (BRASIL ESCOLA, 2023)

Em comparação com outros modos de transporte, como rodovias e transporte marítimo, o transporte ferroviário é, geralmente, mais eficiente e seguro. Além disso, ele é menos afetado por contínuo devido às condições climáticas adversas, como tempestades ou enchentes, o que o torna uma escolha para empresas que precisam transportar grandes cargas.

No entanto, o setor ferroviário de transporte de cargas enfrenta alguns desafios. Uma das principais questões é a infraestrutura obsoleta, incluindo trilhos e sistemas de sinalização que precisam ser renovados ou substituídos. Isso pode ser dispendioso, mas é crucial para manter a eficiência e segurança do transporte ferroviário.

4.1.1 Sobre a privatização das ferrovias

O contexto histórico que levou ao processo de privatização das ferrovias nacionais é complexo, transitando em uma série de questões políticas e econômicas. Porém, de forma resumida, cabe destaque para as últimas décadas da administração estatal, que foram marcadas por poucos investimentos e que culminaram em um sistema estagnado no que se refere à sua expansão geográfica e de mercado. Houve exceções, como a implantação da Estrada de Ferro Carajás e os projetos da Ferrovia Norte-Sul e Ferronorte (KANTINSKY;1994), contudo, principalmente durante as décadas de 1980 e 1990, a ausência de investimentos abrangentes manteve a malha deficitária, sem modernizações expressivas, com muitos trechos, inclusive, sendo desativados. Nesse contexto, a política de concessões adotada pelo Governo Federal, na segunda metade da década de 1990, especificamente com relação à privatização das ferrovias, teve como objetivo atrair investimentos para a recuperação e modernização do sistema, e assim aumentar a participação e a qualidade do serviço (CASTRO, 2019).

Tabela 2 - Concessionárias ferroviárias constituídas no processo de privatização

Malhas Regionais	Data do Leilão	Concessionárias	Início da Operação	Extensão (km)
Oeste	05.03.96	Ferrovias Novoeste S.A.	01.07.96	1.621
Centro-Leste	14.06.96	Ferrovias Centro-Atlântica S.A.	01.09.96	7.080
Sudeste	20.09.96	MRS Logística S.A.	01.12.96	1.674
Tereza Cristina	26.11.96	Ferrovias Tereza Cristina S.A.	01.02.97	164
Sul	13.12.96	ALL-América Latina Logística do Brasil S.A	01.03.97	6.586
Nordeste	18.07.97	Companhia Ferroviária do Nordeste	01.01.98	4.238
Paulista	10.11.98	Ferrovias Bandeirantes S.A.	01.01.99	4.236
Total				25.599

Fonte: ANTT (2019).

Partindo da evolução dos indicadores do transporte ferroviário depois da privatização, observa-se uma melhora significativa quanto à volumetria das cargas transportadas (aumento exponencial do modal), inclusive a redução de acidentes e o desenvolvimento tecnológico. Esses números representam um cenário muito positivo, porém quando o diagnóstico avança para dados mais detalhados, o cenário se modifica, principalmente, no que se refere ao tipo de serviço prestado pelas ferrovias e pela taxa de utilização das linhas. Isso, porém, não é um fenômeno recente, pois a matriz de produtos transportados pelas ferrovias se alterou pouco desde então.

4.1.2 Situação atual

O setor de transporte de cargas no Brasil está enfrentando grandes desafios nos últimos anos, mas está em processo de revitalização, com a implementação de novas tecnologias e modernização de infraestruturas existentes. A tendência é de que o setor continue a crescer no futuro, com o aumento da demanda por soluções de transporte mais eficientes e sustentáveis. Segundo o boletim de logística da Empresa de Planejamento e Logística (EPL - 2021) o Brasil, em comparação aos países de dimensões semelhantes, é o que menos utiliza o sistema ferroviário para o transporte de cargas, com percentuais de utilização inferiores à Rússia, Canadá, Austrália, Estados Unidos e China. Para efeito de comparação, as rodovias representam o principal meio de transporte apenas no Brasil e na China (50% do total), a Rússia

transporta 81% das cargas sobre trilhos, Canadá 46%, Austrália e EUA 43% e China 37% (EPL,2021).

Contudo, embora a participação das ferrovias no transporte de cargas no país seja baixa, mais de 45% das commodities agrícolas exportadas são transportadas por via ferroviária. No caso dos minérios, mais de 95% chegam aos portos pelos trilhos (EPL, 2021).

4.1.3 Transporte ferroviário de passageiros

Segundo dados da Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre trilhos (ANPTrilhos;2023), o setor de passageiros tem 1.129,4 km de malha metroferroviária construída; 5145 carros de passageiros; 38,2 mil funcionários; 2,3 bilhões de passageiros transportados por ano; 47 linhas distribuídas em 21 sistemas metroferroviários, sendo esses distribuídos em 12 regiões metropolitanas, das quais somente em São Paulo e Rio de Janeiro o modal predomina.

A rede de trens metropolitanos da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) abrange 1,7 bilhão de passageiros transportados no ano de 2022, atingindo um crescimento de 31% em relação a 2021, crescimento alavancado devido ao período ocasionado pela Covid-19, com o Metrô de São Paulo sendo o maior e mais movimentado sistema de transporte metroviário do país.

Ainda segundo ANP o acesso ao transporte de passageiros sobre trilhos só está presente em 53% das cidades brasileiras com mais de 1 milhão de habitantes, e 39% das regiões metropolitanas e aglomerações urbanas com mais de 1 milhão de habitantes. Esses dados revelam um cenário limitado e preocupante de acesso ao transporte metroferroviário que acaba se tornando insuficiente devido à demanda de descolamento da população.

4.1.4 Investimentos e custos operacionais

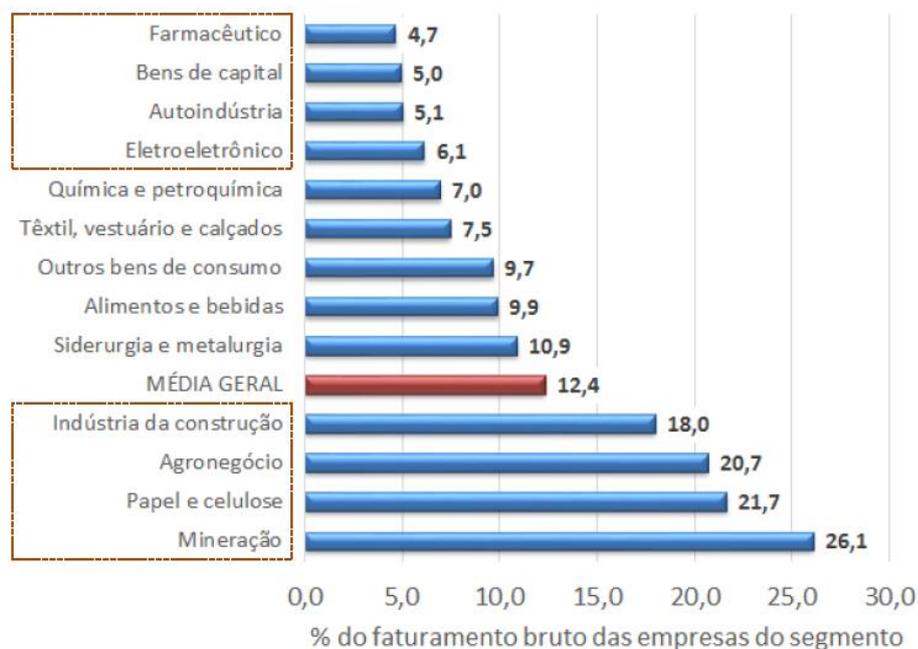
Os custos com infraestrutura atrelados ao transporte ferroviário e o *lead time* do setor são maiores que os gastos com empregados no transporte rodoviário. O governo tem uma política de priorização de investimentos em rodovias que faz com que a estrutura ferroviária acabe se deteriorando, sendo sustentada pelas concessões. Segundo a pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT) de

ferrovias (2015) o poder público de 2006 a 2014 investiu em ferrovias uma média de R\$1,44 bilhão por ano - totalizando R\$12,93 bilhões. Valor esse que representa 67,5% dos R\$19,16 bilhões autorizados. Nesse mesmo período o investimento privado foi de R\$33,51 bilhões. Desde o início das concessões até 2014 as concessionárias pagaram cerca de R\$8 bilhões por outorgas e arrendamentos.

A aquisição de locomotivas, normalmente, alcança os milhares de dólares juntamente a um elevado valor de manutenção, custos potencializados pela falta de fornecedores e indisponibilidade de equipamentos devido à localização geográfica das ferrovias serem limitadas e nem todos os estados possuem malha ferroviária.

Segundo a Fundação Dom Cabral (FDC - 2017) por meio de uma pesquisa de custos logísticos no Brasil realizada com 130 empresas que, em conjunto, representam o equivalente à 15,4% do PIB brasileiro, foi possível avaliar que 12,37% do faturamento bruto corresponde a custos logísticos. Esses 12,37% têm maior representatividade nos segmentos papel e celulose, mineração e agronegócio, conforme demonstra o Gráfico 4, setores com alta movimentação sobre trilhos.

Gráfico 4 - Custo Logístico por segmento econômico como percentual médio do faturamento bruto das empresas



Fonte: FDC (2017).

O transporte ferroviário de cargas é mais eficiente em movimentação de cargas de baixo valor agregado, através de grandes distâncias, visando a redução do custo logístico. Como o recurso inicial para viabilização de uma nova malha ferroviária é extremamente alto acaba inviabilizando o planejamento logístico que proporcione a integração multimodal, limitando o crescimento do interesse das organizações que fazem a gestão das concessões.

4.1.6 Empresas do setor

No site da ANTF (2023) estão listada algumas empresas presente no setor ferroviário brasileiro com um pequeno resumo de sua atuação, conforme abaixo:



A Bamin é responsável por um dos maiores projetos de infraestrutura em andamento no país, investindo na construção de um novo corredor logístico de integração e de exportação para o Brasil. Os investimentos da empresa incluem a Mina Pedra de Ferro, em Caetité, na Bahia, que produz minério de ferro, e nos projetos de logística integrada: Porto Sul, em Ilhéus, e no Trecho 1 da Ferrovia de Integração Oeste-Leste (Fiol), que ligará Caetité a Ilhéus, com 537 km. A ferrovia, quando concluída, terá capacidade para movimentar 60 milhões de toneladas por ano. Serão transportados milhões de toneladas de minério de ferro, grãos do agronegócio, fertilizantes, entre outros produtos. O Porto Sul está sendo construído em Ilhéus. Será um terminal de águas profundas, offshore, apto a receber navios com capacidade de até 220 mil toneladas, com o potencial de movimentação de cargas, como grãos, fertilizantes e outros minérios, além do minério de ferro da própria empresa e de outras mineradoras da região. A Bamin é subsidiária do Eurasian Resources Group – ERG, que está presente em 15 países e emprega mais de 75 mil pessoas em todas as suas unidades. É uma das maiores empresas globais em mineração e em metais, e a maior operadora de transporte da Ásia Central, com vasta experiência em ferrovias.



Concessionária criada em 1997 para administrar a malha ferroviária Sul Catarinense, a FTC tem como principal produto transportado o carvão mineral (importante insumo à geração de energia elétrica), que é extraído na região carbonífera de Criciúma, com destino ao Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, no município de Capivari de Baixo. Os 164 km de malha, que atravessam 14 municípios catarinenses, contemplam também o porto de Imbituba (SC), para onde são destinadas cargas industrializadas que atendem o mercado interno e o externo. A FTC também transporta contêineres destinados à cabotagem no porto de Imbituba.



A MRS é uma operadora logística que administra uma malha ferroviária de 1.643 km nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo – região que concentra cerca da metade do PIB brasileiro. Hoje, a companhia está

entre as maiores ferrovias de carga do mundo, com produção quase quatro vezes superior àquela registrada nos anos 1990, quando a companhia foi criada. Quase 20% de tudo o que o Brasil exporta e um terço de toda a carga transportada por trens no País passam pelos trilhos da MRS. Entre as principais cargas transportadas estão minério de ferro, carvão, coque, siderúrgicos, cimento, bauxita, contêineres e produtos agrícolas. Com cerca de 6.000 colaboradores diretos e 3.500 terceirizados, a MRS tem gestão orientada para a constante melhoria de seus índices de produtividade, confiabilidade e segurança, com indicadores de performance comparáveis aos das melhores ferrovias de carga do mundo.

rumo

A Rumo é a maior operadora de ferrovias do Brasil e oferece serviços logísticos de transporte ferroviário, elevação portuária e armazenagem. A companhia opera 12 terminais de transbordo, seis terminais portuários e administra cerca de 14 mil quilômetros de ferrovias nos estados de Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás e Tocantins. A base de ativos é formada por mais de mil locomotivas e 28 mil vagões.

TLSA

A Transnordestina é a maior obra ferroviária linear em execução no Brasil. Com 1.753 km de extensão em linha principal, a ferrovia de classe mundial passa por 81 municípios, partindo de Eliseu Martins, no Piauí, em direção aos portos do Pecém, no Ceará, e Suape, em Pernambuco. O projeto realiza o antigo sonho de integração nacional, além de incentivar a produção local e promover novos negócios. A obra é feita com recursos da CSN, Valec, Finor, BNDES, BNB e Sudene. A ferrovia terá capacidade para transportar 30 milhões de toneladas por ano, com destaque para granéis sólidos (minério e grãos). A ferrovia aproxima o Nordeste dos principais mercados mundiais e torna o Brasil mais competitivo na exportação. A Ferrovia Transnordestina Logística (FTL) transporta cargas ferroviárias, escoando produtos de forma segura, regular e com custos competitivos. A linha ferroviária hoje em operação liga os portos de Itaqui (São Luís/MA), Pecém (São Gonçalo do Amarante/CE) e Mucuripe (Fortaleza/CE), promovendo a integração e dinamizando a economia regional. Atualmente essa malha movimenta 2,6 milhões de toneladas/ano, sendo suas principais cargas combustíveis, clínquer, cimento, produtos siderúrgicos e celulose.

VALE

A Vale opera sistemas logísticos integrados para realizar o transporte da sua produção e ainda de cargas de terceiros. No Norte/Nordeste do Brasil, opera a Estrada de Ferro Carajás (EFC) com 892 km, interligando as operações da empresa no sudeste do Pará ao Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, em São Luís, no Maranhão. As cargas transportadas são: minério de ferro, ferro-gusa, manganês, cobre, combustíveis e carvão. O Trem de Passageiros da EFC transporta anualmente cerca de 350 mil pessoas. Na região sudeste, a Vale opera a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) com 905 km de extensão, que interliga as operações de minério de ferro do interior de Minas Gerais ao Porto de Tubarão, no Espírito Santo. Opera serviço de trem de passageiros utilizado anualmente por 1 milhão de pessoas. As cargas transportadas pela EFVM são: minério de ferro e carga geral para terceiros (carvão, celulose, produtos siderúrgicos, tórcos de madeira e produtos agrícolas).



A VLI tem o compromisso de apoiar a transformação da logística no País, por meio da integração de serviços em portos, ferrovias e terminais. A empresa engloba as ferrovias Norte Sul (FNS) e Centro-Atlântica (FCA), somando mais de sete mil quilômetros de malha, além de terminais intermodais, que unem o carregamento e o descarregamento de produtos ao transporte ferroviário, e terminais portuários situados em eixos estratégicos da costa brasileira. Atualmente, a VLI está executando um plano de investimentos de R\$ 9 bilhões que busca tornar suas operações ainda mais eficientes e aumentar o volume de cargas transportadas pelas ferrovias que controla, contribuindo com a transformação da infraestrutura logística brasileira. O capital vem sendo aplicado na construção e ampliação de ativos, além da aquisição de locomotivas e vagões, e na modernização das linhas férreas. Com cerca de sete mil empregados e presente em dez estados e no Distrito Federal, a VLI atua no transporte e movimentação de grãos, açúcar, produtos siderúrgicos e industrializados.

4.2 *Benchmarking* / realidades organizacionais

A comparação entre empresas é um fator determinante para avaliar e entender as melhores práticas executadas a fim de adaptá-las ao próprio negócio, buscando vantagens competitivas com tomadas de decisões mais assertivas, reduzindo o risco de buscar soluções inovadoras que ainda não garantem o resultado esperado. No intuito de compreender como é realizada a identificação de perigo, e desenvolvida a análise de riscos e possíveis estratégias de mitigação, foram realizadas, no período de março a abril de 2023, entrevistas com Lucas Venâncio, analista de engenharia da empresa VLI, Diana Nepomuceno, engenheira de equipamentos da Petrobras e Silvio Valdrigui, chefe de risco e *compliance* do Metrô de São Paulo.

4.2.1. *Análise geral quanto a práticas de sucesso e à modelagem de riscos*

A modelagem de riscos é fundamental para empresas que buscam reduzir custos operacionais. Algumas organizações utilizam a tecnologia para criar planos de modelagem de riscos (análise de dados e até mesmo sistemas de automação), estabelecendo os recursos necessários para a mitigação de riscos de cada área, junto às implicações, no caso de ocorrências, desses incidentes. Dessa forma, com todas as informações já tabuladas, as organizações conseguem traçar novos rumos para a prevenção desses riscos partindo para a solução do problema.

Como práticas de sucesso, pode-se citar a Vale, uma empresa reconhecida por sua gestão de riscos, com forte investimento em tecnologia e processos para prevenção de acidentes e incidentes, adotando um detalhado Mapa Integrado de Riscos como instrumento não exaustivo que contém o conjunto de potenciais temas de riscos Companhia Siderúrgica Nacional (TLSA - Transnordestina Logística). Também possui uma gestão de risco eficiente, com forte investimento em tecnologia e processos para prevenção de acidentes, avaliando seus riscos estratégicos, operacionais, financeiros e regulamentares, com base em metodologias definidas pela ISO 31.000 e *framework* do *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission*.

Como último exemplo, pode-se citar a Shell, uma empresa de energia que utiliza a modelagem de risco para gerenciar riscos operacionais e financeiros, com um modelo de gestão de riscos que inclui identificação desses, avaliação de impacto e probabilidade, desenvolvimento de planos de mitigação e monitoramento de indicadores de desempenho com o objetivo de atingir nível zero de lesões fatais e evitar incidentes que possam ferir pessoas ou colocar vizinhos e instalações em risco.

Pode-se constatar alguns exemplos de organizações conceituadas que implementam práticas de sucesso de modelagem de gestão de riscos e custos operacionais. É importante ressaltar que a modelagem de riscos é um processo contínuo e que deve ser adaptado às necessidades de cada empresa.

4.2.1.1 Benchmarking - VLI

Com o *benchmarking* realizado junto ao Lucas Venâncio, foi apresentada a VLI que é uma empresa que oferece soluções de logística multimodal conectando portos, ferrovias e terminais logísticos, atendendo as principais regiões brasileiras, transportando bens industrializados, siderúrgicos, minerais e agronegócio. Com uma abordagem mais técnica e um amplo conhecimento dos processos internos, Lucas Venâncio descreveu o processo de gerenciamento de risco da seguinte forma:

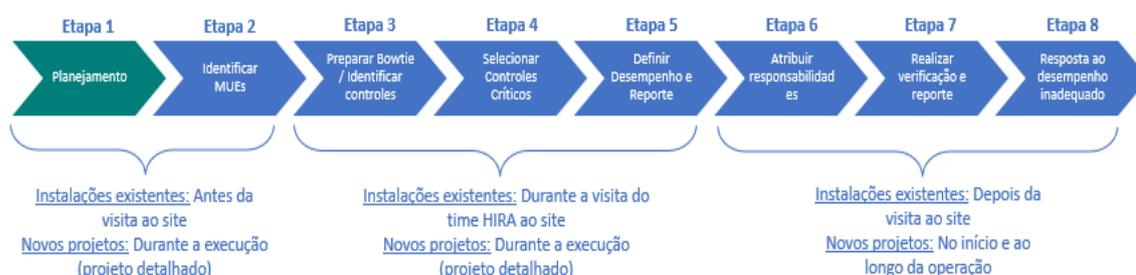
Inicialmente a organização realiza uma abordagem com duas etapas macros que garantirão que os principais “MUE” (sigla dada ao evento material indesejado) sejam identificados, analisados e controlados.

1) Etapa macro 1

É realizada a identificação de perigos e análise de risco conhecido como HIRA. O HIRA é conduzido em todos os negócios da empresa usando o método de *bowtie* (um método analítico para identificar e revisar controles destinados a prevenir ou mitigar um evento indesejado). Nesta fase, são avaliados os riscos operacionais com severidade crítica e muito crítica nas dimensões pessoas/meio ambiente, ou severidade grave, crítica e muito crítica na dimensão financeira.

O processo HIRA é composto por oito etapas:

Figura 8 - Etapas do processo HIRA



Fonte: Lucas Venâncio (2023).

- a) Nesta primeira fase de planejamento, o líder técnico irá revisar o processo para determinar quais habilidades são necessárias para os membros da equipe do HIRA (identificação de perigo e análise de risco) e as responsabilidades das equipes encarregadas da avaliação. Esse trabalho preparatório consiste em obter todas as informações necessárias para o estudo (instalações, lista de equipamentos e dispositivos críticos de segurança, incidentes que ocorram com a mesma tecnologia ou similares, análise e identificação de perigos, desenhos de engenharia, levantamento de aspectos e impactos ambientais etc.);
- Lista dos cenários de risco padrão para casa tipo de ativo;
 - Converter as informações em um formato adequado com modelos disponibilizados em pastas dedicadas no Teams;
 - Selecionar membros e organizar as equipes;
 - Planejar a execução dos trabalhos durante a visita ao site existente ou novo projeto, caso se aplique;
 - Organizar os recursos necessários (transporte, EPIs, salas de reunião etc.).

- b) Etapa 2 é realizada a identificação do MUEs que considera eventos históricos e previsíveis e são claramente descritos, incluindo o perigo relevante, mecanismo de liberação e natureza das consequências. Nesse ponto é apresentada uma lista de cenários de risco potencial para ser considerado a cada tipo de ativo e aos sites existentes. Essa, também, é uma oportunidade para identificar melhorias de projeto para lidar com o risco, reduzindo, portanto, as possíveis consequências ou eliminando o MUE.

Para calcular os impactos financeiros decorrentes de interrupções operacionais, é utilizada uma equação que se correlaciona ao tempo de parada das atividades (em dias), ao volume de produção diária e à margem financeira do ativo e, como resultado, o valor definirá se o evento se caracteriza como MUE.

- c) A etapa 3 consiste em preparar um diagrama de *bowtie*. Para começar a desenvolver o diagrama é considerado o MUE como evento central e tais questões a serem respondidas:
1. Qual o perigo relacionado ao MUE?
 2. Quais são as consequências máximas previsíveis do MUE?
 3. Quais são as possíveis causas que podem levar ao MUE?
 4. Quais controles estão em vigor (ou podem ser implementados) para prevenir a causa que leva ao MUE?
 5. Quais controles estão em vigor ou podem ser introduzidos para mitigar a possibilidade de as consequências ocorrerem?

O objetivo dessa etapa é identificar todos os controles existentes e novos potenciais antes de identificar quais dos controles são críticos. Na maioria dos casos, os controles já existem como resultado de trabalhos anteriores de avaliação de riscos, experiência de incidentes na empresa ou no setor, ou como resultado de legislação e normas associadas.

- d) Na etapa 4 são selecionados os controles críticos MUE, após identificados no *bowtie*, e são avaliados para determinar se são controles críticos. Alguns critérios podem ajudar a determinar se um controle é crítico:

1. O controle é crucial para impedir o evento ou minimizar as consequências do evento;
2. É o único controle;
3. Sua ausência ou falha aumentaria, significativamente, o risco, apesar da existência de outros controles;
4. Aborda múltiplas causas ou mitiga várias consequências do MUE. Em outras palavras, se ele aparecer em várias causas do *bowtie* ou em vários *bowties*, isso pode indicar que é crítico;
5. O controle é independente e não é afetado adversamente pelo evento inicial (causa) e pelos componentes de qualquer outro controle já utilizado para o mesmo cenário.

Se diversos controles atenderem aos critérios acima descritos, serão priorizados pela escolha dos controles críticos, dando preferência aos controles de engenharia em vez dos controles administrativos ou humanos, até que a tolerabilidade do risco definida pela matriz de risco seja atingida. Ou seja, para cenários com severidade crítica ou muito crítica são necessários dois ou três controles críticos, respectivamente, para retirar o risco da zona muito alta.

- e) A etapa 5 envolve a definição dos objetos dos controles críticos, requisitos de desempenho, como o desempenho é verificado na prática e mecanismos de reporte para um controle crítico. As perguntas abaixo têm como objetivo definir cada um desses pontos:
1. Quais são os objetivos específicos de cada controle crítico?
 2. Qual desempenho é requerido para o controle crítico?
 3. Quais atividades suportam ou permitem que o controle crítico execute conforme necessário e especificado?
 4. Que verificação é necessária para checar se o controle crítico está atendendo ao desempenho exigido?
 5. Com que frequência é necessária a verificação?
 6. Que tipo de verificação é necessária?
 7. O que iniciaria uma ação imediata para parar ou alterar uma operação ou melhorar o desempenho de um controle crítico?

Essas informações são compiladas para cada controle crítico.

- f) Na etapa 6 acontece a atribuição de responsabilidades (uma lista dos donos de cada MUE, controle crítico, atividade de verificação). É necessário um plano de verificação e reporte para checar e relatar a integridade de cada controle crítico. Para garantir que o risco de um MUE esteja sendo gerenciado, os controles devem estar funcionando efetivamente. Isso requer que a integridade dos controles seja monitorada por meio de atividades de verificação atribuídas a donos específicos. Isso pode ser descrito em um plano de verificação e reporte.

O dono do controle crítico é responsável por garantir que a atividade de verificação seja realizada e o resultado reportado, a fim de monitorar a integridade dos controles críticos por meio da revisão dos relatórios de atividades de verificação.

- g) Na sétima etapa acontece a verificação e reporte de controles críticos, ou seja, essa etapa coloca em prática a verificação do status do controle crítico que foi definido nas etapas 5 e 6. As informações sobre cada controle crítico são coletadas, em nome do dono do controle crítico, que se reportará ao do risco (MUE) em uma frequência definida. O desempenho abaixo do limite estabelecido (etapa 5) deve desencadear uma ação, que pode variar de uma investigação a uma ordem para interromper imediatamente o processo associado. Na primeira linha de defesa é realizada a verificação do controle crítico na frequência determinada com os resultados reportados mensalmente; na segunda linha de defesa serão revisadas as atividades, resultado da verificação e a suficiência do processo, bem como uma verificação independente em uma amostra de controles críticos; e a terceira linha de defesa assegura a garantia independente do processo de verificação de controles críticos.
- h) A etapa 8 consiste na resposta ao desempenho inadequado do controle crítico. O baixo desempenho ou falha de controles críticos são investigados e compreendidos para melhorar, continuamente, o processo de gerenciamento de controles críticos. Importante firmar que a ausência de acidentes ou incidentes não deve ser tomada como prova de que os controles estão funcionando adequadamente, pois onde houver mais de um controle, um deles

poderá falhar sem que nenhum incidente ocorra devido à redundância nos controles. Como resultado, o processo de verificação é importante para detectar controles que não estão executando de acordo com os requisitos especificados.

Tal investigação e a revisão do controle crítico de baixo desempenho ou falho fornecem lições importantes aprendidas para a melhoria contínua do processo de gerenciamento de controles críticos.

2) A etapa macro 2

É realizada a implementação do plano de ação e melhoria de riscos direcionados. O risco residual (MUE) será reduzido da zona de risco muito alta para alta, média ou baixa. Essa melhoria de risco, direcionada para redução de risco, é um esforço técnico com foco em eliminar, substituir e aplicar controles de engenharia a riscos.

Cada MUE será avaliado com base na combinação de probabilidade de ocorrência e severidade das possíveis consequências. Os riscos selecionados serão ordenados por magnitude (probabilidade x severidade), seguidos pela severidade. Acontece o gerenciamento de eventos materiais indesejados (MUEs) no qual são exigidas melhorias da prioridade de risco de muito alta para alta, média ou baixa. Isso será alcançado eliminando, substituindo ou aplicando controles de engenharia para reduzir ou controlar ainda mais o risco. Nesta fase pode ser necessário o envolvimento de especialistas no assunto (internos e externos), a fim de garantir que as análises quantitativas complexas sejam realizadas e concluir a engenharia detalhada, identificar, projetar, construir e comissionar estratégias de controle aprimorado.

Um plano de ação é desenvolvido para cada achado, recomendação ou tratamento de risco selecionados para ações adicionais, incluindo um controle de implementação futura. Nas questões ambientais, as ações que não estão vinculadas aos MUEs devem iniciar um novo processo de avaliação ambiental mais profundo. Um plano de ação será atribuído a um único indivíduo responsável. O dono do risco precisará enviar um plano de ação oficial para aprovação na Diretoria Executiva. O plano de ação complementa:

- a. O design e a implementação de controles críticos ausentes;
- b. O plano de restaurar o desempenho dos controles críticos existentes;
- c. Qualquer análise de risco complementar que deve ser concluída para confirmar ou revisar a classificação de risco;
- d. A plataforma de TI de gestão de riscos deve ser atualizada imediatamente (BWISE). Obs.: os HIRAs dos novos projetos executados deverão ser cadastrados somente ao final da engenharia básica / início de implantação.

O dono do risco deve fornecer evidências da implementação de cada ação imediata ao líder técnico do HIRA, que monitorará a implementação do plano de ação de imediato.

Como resultado, cada estudo HIRA é devidamente documentado. O líder técnico é responsável por garantir que sejam produzidos registros adequados para cada sessão do HIRA. Os principais registros do HIRA são:

- a. um inventário dos riscos operacionais avaliados com severidade crítica e muito crítica nas dimensões pessoas e meio ambiente, e severidade grave, crítica ou muito crítica na dimensão financeira (lista de MUEs);
- b. um *bowtie* de cada MUE com os controles críticos identificados;
- c. um *one-pager* para cada controle crítico;
- d. a indicação de se: (i) é necessária uma avaliação mais detalhada do risco; (ii) é necessário tratamento adicional de risco; e / ou (iii) é necessária garantia adicional;
- e. uma lista de planos de ação a serem desenvolvidos com a priorização associada;
- f. a matriz de riscos atualizada da Vale; e
- g. relatório final do HIRA.

No final do estudo, um relatório HIRA é produzido e acordado pela equipe. Uma versão preliminar é emitida para comentários no prazo de 10 dias após o encerramento da sessão do HIRA. A gestão do site tem mais 10 dias para comentar, antes de receber a versão final, até o trigésimo dia após o encerramento da sessão do HIRA.

4.2.1.2 Benchmarking - Petrobras

Segundo a entrevistada, Diana Nepomuceno, a Petrobras é a maior empresa brasileira, em valor de mercado, disputando posição com a Vale, que acabam alternando as posições de tempos em tempos. Diana trabalha há 11 anos na área de engenharia de equipamentos, saúde, segurança e meio ambiente e comenta que a Petrobras segue uma diretriz macro de gerenciamento de risco, em que cada unidade/área faz uma análise do seu risco. Pode ser usada qualquer ferramenta para diagnosticar esse risco, desde que atenda todas as diretrizes macros pré-determinadas. Cada unidade deve seguir os requisitos mínimos da diretriz macros, porém essas unidades seguem diretrizes específicas relacionadas à área de atuação, com base em ferramentas de controle, monitoramento e manuais de segurança que orientam como fazer a execução da tarefa específica de cada área, atendendo todos os requisitos de riscos ocupacionais.

Como a demanda no setor é muito variável, é utilizado quase que na totalidade empresas terceiras para que a operação seja realizada. Como são muitas atividades, a Petrobras acaba se tornando uma operadora dessas empresas que detêm o *know-how* das atividades específicas que cada uma executa. As diretrizes de gestão de risco são incluídas nos contratos desses terceiros, que englobam serviços variados como mergulho com robôs, submarinos etc. Há situações em que a empresa terceira ganha o contrato e acaba descobrindo o alto investimento no gerenciamento de risco, após o início da operação. Esses casos são acompanhados e podem gerar até mesmo o rompimento do contrato, caso os requisitos das diretrizes macros e específicas não sejam alcançados.

O setor sofre com uma alta regulamentação, e é, provavelmente, um dos setores mais regulados do Brasil. Sofre intensa fiscalização de órgãos como o IBAMA e a Marinha, inclusive com a cobrança da sociedade, em geral, devido a constantemente estar envolvida em disputas políticas.

Diana comentou que, por volta de 2016, houve uma virada na maneira de pensar em gestão de risco dentro da Petrobras, com a gestão de Pedro Parente. Após 2016 a empresa adotou parâmetros de medição e comparação aos padrões internacionais, após observarem que o parâmetro que usavam para medir as questões de risco não poderia ser correlacionado com os pares do setor. Adotaram o que chamam de Indicador de Taxa de acidentes registráveis (TAR), que está ligado

diretamente a remuneração variável dos gestores, no qual metas e bônus só são ativados com o atingimento do TAR. O indicador está relacionado, diretamente, ao plano estratégico da empresa, com acompanhamento mensal pela alta gestão e, semanalmente, pelas áreas envolvidas. São realizadas inspeções *in loco* e periódicas que visam identificar os pontos que afetam o índice do indicador. No início do projeto o indicador obteve parâmetro de escala 3 com escala aceitável em até 1, hoje (2023) o índice está em 0,27.

Figura 9 - Métricas de topo Petrobras



Fonte: Plano estratégico Petrobras 2023 a 2027 (2023).

O atingimento do indicador TAR foi possível devido à política de investimentos no fator de segurança da Petrobras, por ser realizada independente do retorno financeiro, e tem como premissa a liberação de fundos facilitados, desde que seja comprovada sua efetividade em melhorar a segurança, com a constatação de que quanto mais segura a atividade maior a lucratividade, pois não gera interrupção, aumentando a produtividade.

No setor petrolífero todo grande evento que acontece acaba gerando uma enorme transformação na indústria do petróleo. As causas e efeitos são analisadas e utilizadas por toda a indústria como sistema de melhorias, para que não ocorra novamente, fazendo com que sejam criadas novas diretrizes de risco de acordo com

as causas e efeitos do evento ocorrido. Independente do acontecimento de um evento as diretrizes de risco são constantemente verificadas, há um setor 24hrs que acompanha o andamento da frota e verifica os itens listados e previstos em gestão de risco. A ordem de serviço só é liberada para execução após todos os itens estarem verificados e confirmados. Há diversos tipos de verificações como análise preliminar de risco (APR) *checklist*, inspeções *in loco*, entre outros.

Todos os eventos devem ser comunicados, independente do fator de risco ser baixo, médio ou grande. Qualquer que seja o evento, deve haver uma tratativa, todos os desvios de processos devem ser analisados e tratados, e devem ser considerados importantes até mesmo os pequenos desvios. O estudo de risco e indicadores que medem a integridade de barreiras e atividades é gerido por um setor específico que realiza tratativas apenas em segurança nos processos. Por fim, Diana comenta que o gerenciamento de risco do setor não está no nível do modal aéreo, porém está bem próximo e caminha a passos largos para aumentar, cada vez mais, a segurança e redução de eventos não desejados.

4.2.1.3 Benchmarking - Metrô de São Paulo

Silvio Valdrigui começou informando que o metrô de São Paulo é uma sociedade de economia mista do estado de São Paulo, e sua gestão de risco foi, efetivamente, implementada há, aproximadamente, 4 anos sendo dividida em três grandes grupos:

- Riscos corporativos: está ligado diretamente ao objetivo estratégico da empresa e busca identificar as possíveis interferências e falhas que possam prejudicar o seguimento do plano estratégico;
- Riscos de contratos em engenharia: analisa situações de riscos dos contratos antes de serem firmados. A legislação define as responsabilidades entre o metrô e contratadas sendo os riscos relacionados ao objetivo de cada contrato, previamente formulados. Por se tratar de contratos longos, a área de riscos em contratos busca o equilíbrio entre objetivo e execução antes da execução de fato;

- Riscos de execução da obra: faz a averiguação semanal, quinzenal referente ao cumprimento do projeto descrito em contrato. É de fato a fiscalização do andamento e cumprimento do que foi previamente acertado entre as partes.

A ferramenta utilizada para gestão de risco é baseada na metodologia internacional COSO que ajuda a avaliar e a aperfeiçoar o sistema de controle e gestão de políticas incorporadas à estrutura interna, com o objetivo de interagir com todas as áreas da empresa, sendo dividida em 4 grandes grupos: estratégico, financeiro, operacional e integridade (*compliance*). Com a definição do objetivo estratégico busca-se analisar o que pode afetar o atingimento da meta e identificar os pontos que podem vir a causar falhas e interrupções nos processos e atividades diárias, afetando a eficiência e segurança do serviço entregue. Com isso pode ser identificado se o foco desses riscos está nas causas e fatores que podem materializar esse evento. Independente do grau de impacto do risco, todos os eventos devem ser mapeados com muito cuidado, levando em consideração as probabilidades, mesmo que essas pareçam ser, efetivamente, remotas de acontecerem.

São utilizadas análises preliminares de riscos que são de suma importância para fazer uma gestão de pirâmide que identifique os riscos para a alavancagem e crescimento da empresa adotando uma matriz única com vetores de equivalência como: vetores econômicos, vetores de imagem e vetores de integridade (vida é prioridade). Há indicadores de intolerância de riscos (KPI) previamente definidos no planejamento da gestão de risco que, no mínimo, é atualizado anualmente, com acompanhamento periódico permitindo a tomada de ações antes do atingimento do indicador, buscando equilíbrio financeiro nas decisões de investimentos. Foi utilizado, como exemplo, a parada de trem, na qual é aceitável ocorrer até 5 eventos no mês, sendo que se chegar a 3 já é preciso tomar ações que verifiquem o motivo e corrijam para que minimizem a possibilidade de ocorrer novamente em um curto período de tempo.

Ao identificar um risco é analisado seu impacto no desempenho operacional, financeiro e nas questões de segurança, apontando o que o evento pode ocasionar, gerando uma classificação e priorização dos riscos, fazendo com que o foco e priorização sejam maiores nos riscos de grande impacto para o metrô. Identificando os fatores são tomadas ações com o propósito de mitigar o risco realizando um balanço das ações já realizadas e das ações que necessitam de ajustes, a exemplo:

Colisão / descarrilamento - o que pode levar a esse evento? Falha no equipamento? Falha humana? Falha do trilho? Falha do condutor? Falha no equipamento de condução automática? Inabilidade de um operador?

A partir das causas e efeitos analisados surgem ações e investimentos que visam reduzir e minimizar o impacto causado pelo evento indesejado, fazendo com que a gestão de risco seja um processo de aperfeiçoamento detalhado e contínuo se tornando um processo de longo prazo. Para Silvio, o risco deve estar incorporado na empresa, é um processo de mapeamento de consenso empresarial, todos os indivíduos devem ter conhecimento dos riscos a que estão submetidos. O processo deve ser estruturado em uma metodologia que todos entendam o que fazer e o que não fazer para que eventos indesejados não ocorram com frequência.

4.2.2 Melhores práticas observadas

Os principais riscos operacionais identificados pelas empresas estão interligados pela preocupação com a continuidade do negócio e a melhoria contínua da qualidade do serviço prestado. As empresas monitoram seus riscos por meio de uma gestão de controles internos que tem como objetivo o monitoramento contínuo das operações, proporcionando maior controle das atividades realizadas pelas companhias, demonstrando consciência também sobre os riscos relacionados a fatores macroeconômicos. Uma importante ação para as empresas transportadoras, seja de carga ou pessoas, é reduzir e antever os eventos indesejados e garantir que os processos sejam executados da forma mais segura possível.

A melhores práticas observadas nas três empresas podem ser resumidas com a definição de uma metodologia de gerenciamento de risco, atrelada a indicadores e acompanhamento constante dos possíveis eventos indesejados. Um ponto que chamou a atenção é que as três empresas realizam a tratativa do incidente, ou quase incidente, independente do grau de impacto exercido sobre a organização. Por mais que o risco seja mínimo ele é tratado e documentado, ou seja, não há nenhum tipo de risco que possa ser desprezado.

Com o *benchmarking* realizado nas três empresas, foi possível entender que o processo de gerenciamento de risco deve ser detalhado e constante, pois, qualquer que seja a metodologia e ferramenta utilizadas, o fator humano é essencial para a redução de riscos, visando garantir a integridade das pessoas envolvidas nos

processos, junto à eficiência na utilização dos equipamentos, alcançando a rentabilidade desejada.

4.3 Realidade atual da empresa

A Rumo Logística é a maior operadora ferroviária independente do Brasil, com aproximadamente, 13.470Km de linha férrea, distribuídos entre 5 concessões presentes em 8 estados brasileiros, com operação nos 3 principais corredores de exportação, incluindo a concessão de 2 terminais portuários em Santos-SP, operando com material rodante compostos por, aproximadamente, 1200 locomotivas e 33.000 vagões. De forma ampla, a Rumo possui uma gestão de riscos com foco em riscos estratégicos, riscos operacionais, riscos de conformidade (*compliance*), riscos financeiros, riscos de mercado, riscos regulatórios, riscos de negócios, riscos tecnológicos e riscos ambientais, que podem ser observados com mais detalhes no relatório anual de sustentabilidade (Rumo, 2022).

Nesse relatório, que é público para o mercado, a Cia apresenta as principais medidas e avaliações de risco para cada uma das categorias listadas acima. No Quadro 05, pode-se observar a avaliação referente aos riscos climáticos e as medidas de adaptação e/ou mitigação adotadas.

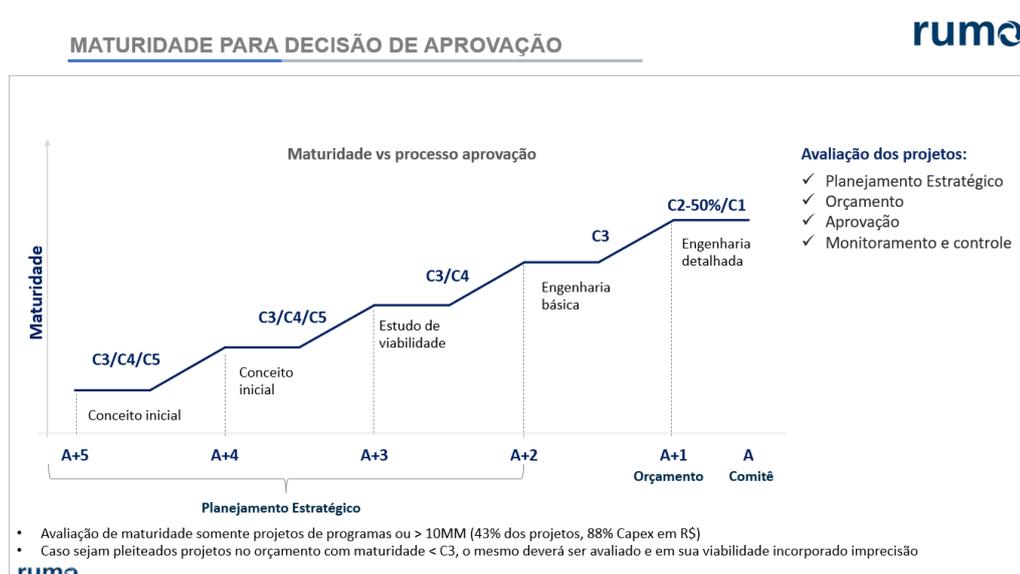
Quadro 5 – Riscos ambientais físicos mapeados

Riscos Físicos GRI 201-2						
	CALOR EXTREMO	INCÊNDIOS FLORESTAIS	ESTRESSE HÍDRICO/SECA	DESLIZAMENTO POR CHUVAS	INUNDAÇÃO POR CHUVAS E FLUVIAL	CICLONES TROPICAIS
Tipo de Risco	Crônico	Agudo	Agudo	Agudo	Agudo	Agudo
Descrição do Impacto Operacional	Temperaturas muito altas podem ocasionar a flambagem dos trilhos, fazendo com que a estrutura se deforme e ocasione o descarrilamento dos trens.	Incêndios podem ocasionar danos físicos diretos às vias, equipamentos de sinalização e pontos de via da ferrovia, eventualmente interrompendo as operações.	Estresse hídrico/secas podem causar menor disponibilidade de água para manutenção e limpeza da pista.	Deslizamentos de terras podem ocasionar danos físicos diretos às vias, equipamentos de sinalização e pontos de via da ferrovia.	Inundações por chuvas podem causar a paralisação da circulação de trens até a reparação dos danos causados à composição, impactando a carga transportada e no ambiente de entorno.	Ciclones podem ocasionar danos físicos diretos às vias, equipamentos de sinalização e pontos de via da ferrovia.
Quantificação Financeira dos Riscos Físicos	Após a ocorrência de um acidente há interrupção da circulação de trens nos trechos, impactando diretamente a produtividade, havendo a necessidade ainda de reparação do material rodante envolvido.	Ocorrências desta natureza podem comprometer a via permanente e o material rodante, trazendo prejuízos relacionados a sua reparação.	Estresse hídrico/secas podem causar menor disponibilidade de água para manutenção e limpeza da pista, assim como aumentar custos operacionais ou logísticos.	Quedas de barreira podem ocasionar incidentes ferroviários, com perda de produtividade e danos à via permanente e ao material rodante, além de possibilidade de impactos no entorno da ocorrência.	Inundações por chuvas podem causar a paralisação da circulação de trens até a reparação dos danos causados à composição, impactando na manutenção dos contratos comerciais (cargas) e na comunidade ao entorno.	Ciclones podem ocasionar danos físicos diretos às vias, equipamentos de sinalização e pontos de via da ferrovia, comprometendo prazos contratuais e colocando em risco a segurança dos colaboradores e comunidades no entorno.
Medidas de adaptação e/ou mitigação	Para atuar de forma preventiva, foram instalados detectores de descarrilamento em diversos pontos ao longo dos trechos e detectores de quebra de trilhos, que permitem ao maquinista identificar o evento adverso e prevenir ocorrências mais graves.	Após o entendimento da dinâmica do clima, estações meteorológicas foram instaladas para prever eventos climáticos extremos em pontos relevantes e garantir uma atuação precoce, evitando possíveis danos.	Após o entendimento da dinâmica do clima, estações meteorológicas foram instaladas para prever eventos climáticos extremos em pontos relevantes e garantir uma atuação precoce, evitando possíveis danos.	Nos locais considerados críticos para a operação e com histórico de ocorrências, é realizado um monitoramento constante para que sejam detectadas possíveis intercorrências preventivamente, como detectores de queda de barreira.	Nos locais considerados críticos para a operação e com histórico de ocorrências, é realizado um monitoramento constante para que sejam detectadas possíveis intercorrências preventivamente.	Embora seja um risco identificado como mais regionalizado, os alertas climáticos auxiliam na prevenção de possíveis ocorrências.

Fonte: Rumo (2022).

Atualmente, na Rumo, também existem algumas metodologias que avaliam riscos para implantação de projetos, nas quais são avaliados os níveis de maturidade dos projetos, bem como os riscos associados à implantação de cada etapa. Abaixo seguem o Gráfico 5 e a Figura 10 que exemplificam esses pontos abordados pela Rumo:

Gráfico 5 - Maturidade de projetos

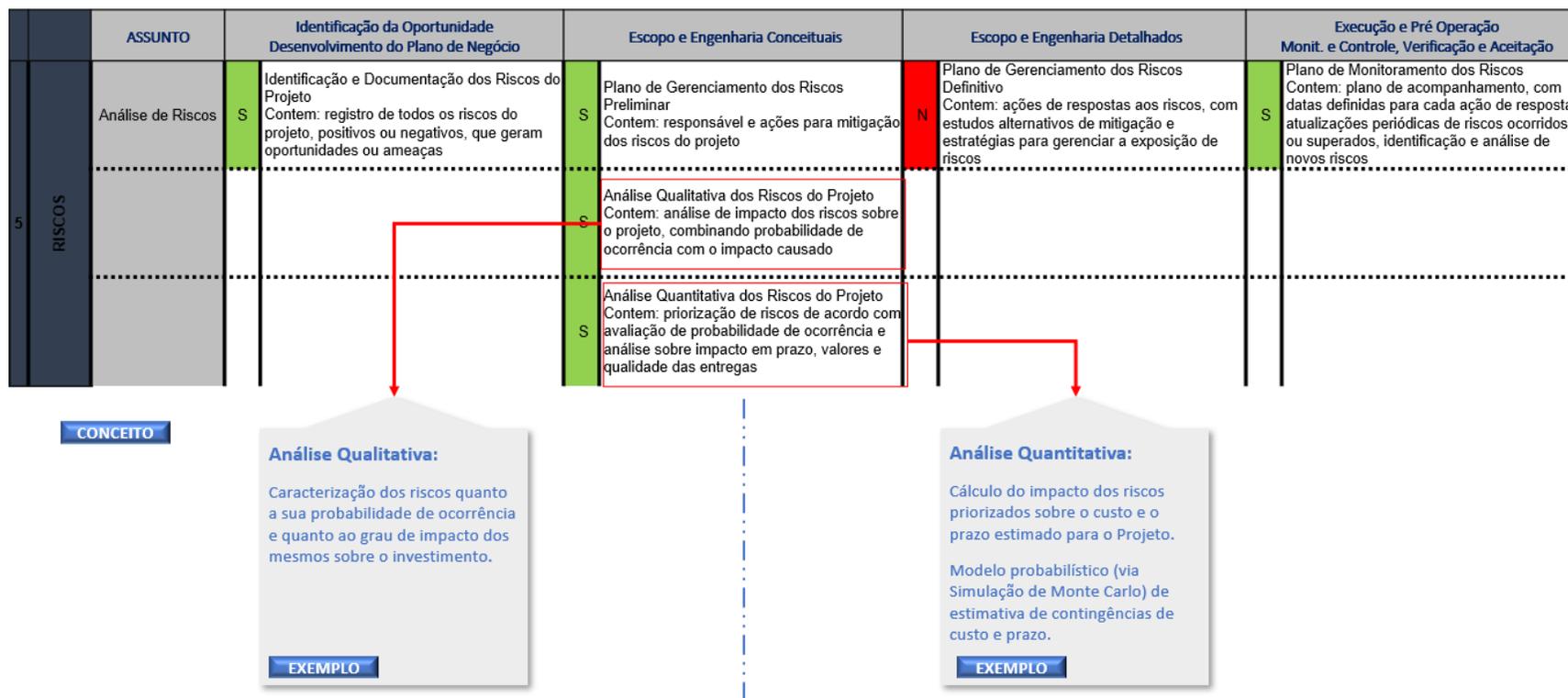


Fonte: Rumo (2022).

Logo, para cada estágio de maturidade dos projetos, existem avaliações de riscos e são apontadas ações que devem ser tomadas para que esses sejam mitigados e inseridos no mapeamento de riscos

Figura 10 - Mapeamento de riscos

MAPEAMENTO DE RISCOS



Interno

Fonte: Rumo (2022).

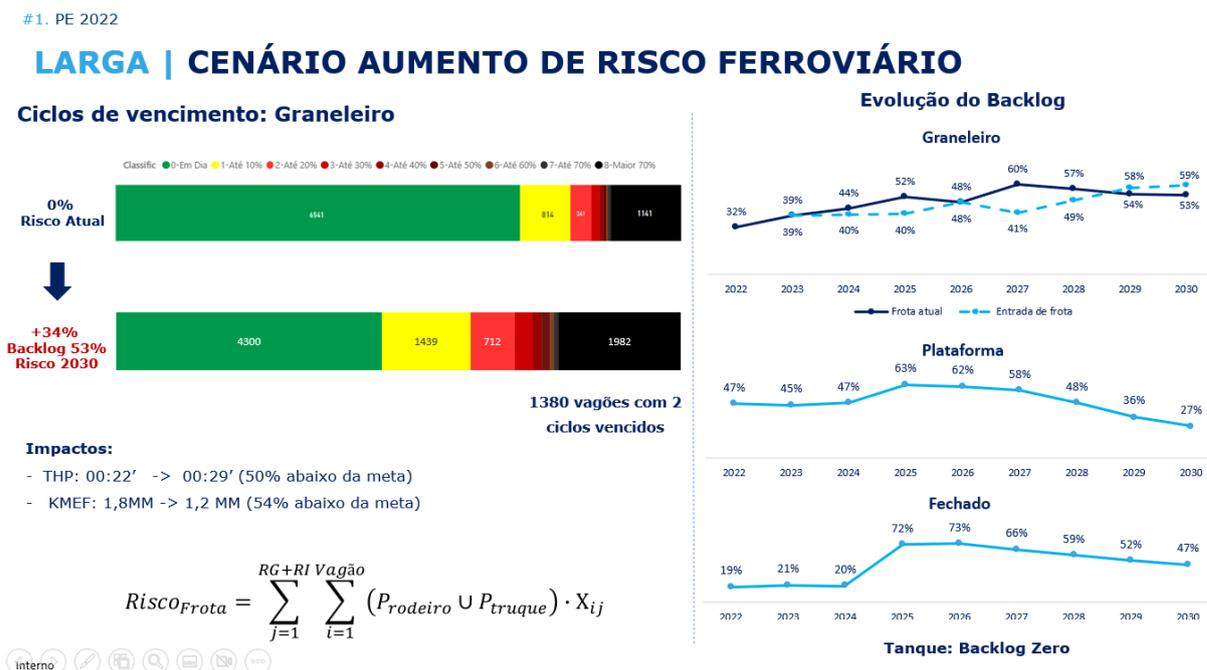
Logo, para cada estágio de maturidade dos projetos, existem avaliações de riscos, conforme a Figura 10, e são relatadas quais ações recomendadas devem ser tomadas para que esses sejam mitigados.

Entretanto, neste trabalho, serão explorados os riscos operacionais relacionados à gestão da manutenção de vagões. Dessa forma, não serão aprofundados os cenários atuais para os demais riscos em monitoramento.

4.3.1 A gestão de riscos quanto à manutenção de vagões na empresa Rumo SA: uma análise crítica

Anualmente, o planejamento estratégico da manutenção de vagões é revisado e submetido à aprovação dos comitês orçamentários, de forma que são avaliadas as necessidades de manutenção futura, em um horizonte de 10 anos.

Figura 11 - Cenários de riscos relacionados aos vencimentos de manutenção



A partir dessas necessidades de manutenções, são avaliados os riscos relacionados às falhas e avarias catastróficas, conforme pode ser visto na Figura 11. Porém, não se consegue relacionar isso, hoje, a uma condição de lucros cessantes, ou sequências de eventos que poderiam paralisar as operações. Trabalha-se, hoje,

com estimativas dos efeitos que o *back log* (manutenções vencidas), poderia ter em relação a essas variáveis, porém os custos associados a isso não são tão claros quando projetados à frente.

Pode-se observar na Figura 12, abaixo, algumas projeções de falhas e/ou acidentes baseando-se no critério de vencimento de manutenções (*back log*). Porém, a materialização dessas variáveis em um horizonte de custos e receitas deixa a desejar, quando se procura uma avaliação mais profunda sobre os investimentos correntes na frota de vagões *versus* os riscos associados à postergação de tais manutenções.

Figura 12 - Avaliação do risco até a falha por Km rodado

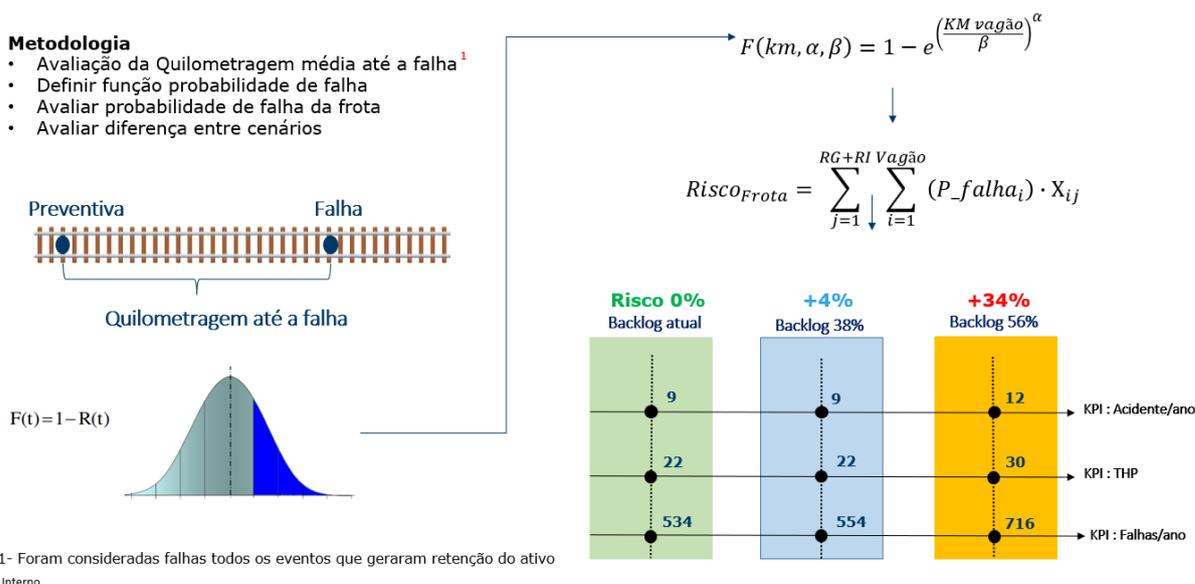
#2. PE 2021 - Vagões - Modelagem Financeira

rumo

Gestão de riscos

Metodologia

- Avaliação da Quilometragem média até a falha¹
- Definir função probabilidade de falha
- Avaliar probabilidade de falha da frota
- Avaliar diferença entre cenários



Fonte: Rumo (2022).

Logo, a partir de uma análise crítica, são necessárias estratificações adicionais das camadas de riscos operacionais por sistemas e componentes dos vagões, entendendo-se cada item e como eles se relacionam com as potenciais interrupções, reduções dos volumes transportados, possíveis acidentes e grandes impactos operacionais e não somente um único número geral de risco.

4.4. O conceito para o modelo analítico de risco/custos de manutenção ferroviária

A utilização de uma metodologia que busque equilibrar os riscos e os custos operacionais dentro das empresas é fundamental para garantir uma operação eficiente e segura. O gerenciamento de riscos operacionais é uma tarefa complexa e desafiadora, especialmente em setores altamente regulamentados e com alto nível de exigência, em termos de segurança, como o setor de transporte de carga sobre trilhos.

Para alcançar esse equilíbrio, é necessário adotar uma abordagem sistemática e baseada em dados para identificar, avaliar e gerenciar os riscos operacionais. Uma metodologia eficaz deve considerar não apenas os riscos potenciais, mas, também, o impacto financeiro e operacional de suas consequências, bem como os custos associados às medidas de mitigação e prevenção.

Um dos principais desafios na gestão de riscos operacionais é encontrar um equilíbrio entre o custo da mitigação dos riscos e o benefício resultante da sua redução. Essa equação pode ser ainda mais complexa quando as organizações enfrentam limitações orçamentárias ou têm que lidar com regulamentações rigorosas que impõem requisitos de segurança elevados.

Uma abordagem eficaz para equilibrar o risco e os custos operacionais é a utilização de uma metodologia de análise de risco que permita avaliar e priorizar os riscos, com base em sua probabilidade de ocorrência e consequências, bem como nos custos associados às medidas de mitigação e prevenção. Além disso, é importante que essa metodologia seja flexível e adaptável às diferentes realidades e necessidades das empresas, permitindo que elas ajustem suas estratégias de gerenciamento de riscos de acordo com suas prioridades e limitações.

A abordagem proposta, inicialmente, neste capítulo, consiste na análise de risco relativo ao ativo operacional não cumprir a sua função principal, baseado no mapeamento de eventos de falhas leves, médias, graves e catastróficas, em cenários diferentes de operação, que consistem em simular diferentes situações de risco e avaliar as consequências potenciais de cada uma delas. Essa metodologia permite identificar os principais riscos operacionais e avaliar sua probabilidade de ocorrência e impacto financeiro e operacional.

Além disso, é importante que a metodologia considere a avaliação de custo-benefício de cada medida de mitigação ou prevenção, de forma a garantir que as

empresas invistam seus recursos de forma eficiente e maximizem os benefícios de suas estratégias de gerenciamento de riscos.

Portanto, essa ideia/conceito fornece uma visão geral sobre a metodologia proposta para o gerenciamento dos custos envolvidos na gestão dos riscos operacionais, buscando elucidar melhor o *trade off* entre a combinação da gestão dos riscos e dos custos associados à utilização dos ativos, ao máximo de sua vida útil e do gerenciamento de ocorrências críticas e severas, por meio do monitoramento da condição dos sistemas e equipamentos *versus* a combinação da gestão dos riscos e dos custos associados ao gerenciamento de estoques de peças mais robustos para a realização de manutenções e substituições de peças de forma preventiva, paradas planejadas e do gerenciamento de falhas mais leves, respondendo às questões-chave:

- Como o modelo de gerenciamento de risco irá suportar o planejamento estratégico da empresa?
- Quais os papéis e responsabilidades das áreas envolvidas no processo?
- Quais processos e recursos serão necessários?
- Quais ferramentas (softwares e metodologias) serão utilizadas?

Portanto, a ideia/conceito busca o entendimento rápido dos elementos-chave da metodologia proposta para a gestão de riscos operacionais e o motivo deles serem apropriados.

4.4.1 Plano estratégico de gestão dos riscos

A gestão dos riscos operacionais, em níveis gerenciais mais estratégicos, deve descrever claramente os objetivos da gestão de riscos (resultados a serem alcançados) e como esses se relacionam com a realização dos objetivos organizacionais. Esses objetivos especificam os níveis de desempenho desejado exigidos dos ativos da organização, e do sistema de gestão de riscos, se a organização alcançar seus objetivos gerais. Os objetivos de gestão de riscos devem ser claramente indicados, por período (por exemplo, ano) durante toda a etapa coberto pelo planejamento estratégico da empresa.

Esses níveis de desempenho desejados (objetivos) devem ser comparados com o desempenho que se espera alcançar, com base em uma suposição de situação normal de negócio.

Assim, a gestão dos riscos operacionais em níveis gerenciais mais estratégicos deve incluir:

- Objetivos de gestão de riscos, mapeados para os objetivos organizacionais;
- Níveis de previsão de desempenho, assumindo negócios como de costume;
- Lacunas de desempenho atuais e futuros identificados.

4.4.2 Suposições, riscos e oportunidades

A ISO 55001:2014, Cláusula 6.1, exige que a organização avalie riscos e oportunidades que envolvem a gestão de seus ativos. O plano estratégico de gestão de riscos deve incluir os riscos e oportunidades mais significativos associados à operação (lembrando que, conforme a Norma ISO 31000:2009, o risco é definido como “o impacto da incerteza sobre os objetivos”).

Todas as previsões serão baseadas em certas suposições, e todas as suposições têm riscos associados. Portanto, o gerenciamento dos riscos deve incluir os detalhes de quaisquer suposições significativas (de alto risco), que tenham sido feitas no desenvolvimento do plano estratégico de gestão dos riscos e da natureza e do nível de risco associados a eles. Ações propostas para evitar ou mitigar o nível de risco, associado às premissas, devem ser incluídas, posteriormente, no plano estratégico de gestão de riscos e, se significativas, também, podem ter suas próprias iniciativas estratégicas de gestão de ativos associadas a elas.

Além disso, o gerenciamento dos riscos deve listar quaisquer outros riscos relevantes relacionados aos ativos operacionais da organização.

Para cada risco, deve-se delinear a natureza e o nível de risco. Quando for necessário mais detalhe, pode ser feita referência a avaliações externas de risco ou documentos de gerenciamento de riscos relacionados a eles. Também deve ser feita referência externa ao registro de risco organizacional (se isso existir) para indicar que esse seja incorporado ao processo de gestão de riscos da organização.

O Quadro 6 fornece um formato possível para resumir as informações necessárias.

Quadro 6 - Probabilidade x impacto

Risco/Oportunidade	Probabilidade	Impacto	Classificação
A	H	L	M
B	M	M	H
C	H	H	H

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Níveis de risco:

- Retenção obrigatória – Vagão que apresentou falha em trânsito ou terminal sem possibilidade de circulação**

Sistema de descarga inoperante / Caixa avariada / Apoio do engate quebrado / Rodeiro cascalhado / Impacto severo / Impacto alto / Rolamento avariado / Longarina +200mm;
- Grave – Alta probabilidade de causar um acidente ferroviário**

Cunha alta / DDV avariado / Longarina entre 120-200 mm / Detector acústico / HBD / Avaria de rodas grave (não detectáveis no WCN) / Amortecimento;
- Médio – Alta probabilidade de causar uma falha em trânsito**

Roda alto KM (bandagem não crítica) / Impacto médio / Engate trincado / Telha do engate faltando/quebrada;
- Baixo – Baixa probabilidade de causar uma falha em trânsito + Média probabilidade de falha em terminal**

Falta de haste de manobra / Rotor solto;
- Degradação acumulativa – Baixa probabilidade de causar falha em trânsito ou em terminais, porém, com grande efeito acumulativo de degradação ou risco de falha, condicionado ao nível de incidência**

Freio isolado / Pad avariado / Sistema de descarga emperrado ou empenado.

Em determinadas situações, os níveis de incerteza e os níveis de risco associados às suposições, podem justificar o desenvolvimento de cenários alternativos para fins de planejamento. Se esse for o caso, cada um desses cenários deve ter suas próprias previsões de desempenho *versus* objetivos desenvolvidos, mas, em última análise, a organização precisará decidir qual cenário considera mais provável, e que, portanto, formará a base para o plano de ação futura (embora planos de contingência também possam ser desenvolvidos para aplicação, se o cenário esperado não se concretizar).

4.4.3 *Iniciativas estratégicas de gestão de riscos*

A gestão de riscos deve delinear as iniciativas de melhoria necessárias para preencher as lacunas entre os níveis de desempenho desejados (objetivos) e os níveis de desempenho previstos. A gestão de riscos deve também delinear iniciativas para enfrentar quaisquer riscos e oportunidades significativas.

A intenção da gestão de riscos não é incluir todas as iniciativas de melhoria que estão previstas para riscos menores e/ou controlados. Espera-se, no entanto, que esses sejam incluídos nos planos de gestão de ativos que estão abaixo deste plano estratégico de gestão de riscos. O Plano Estratégico de Gestão de Riscos destina-se a ser um documento de alto nível, focado em longo prazo, e por isso deve focar nas iniciativas de melhoria que:

- exijam atividades coordenadas em vários planos de gerenciamento de riscos; e/ou
- sejam de longo prazo e de nível superior na natureza; e/ou
- exijam coordenação com atividades de melhoria que possam ser incluídas em planos estratégicos para outras funções de negócios (por exemplo: recursos humanos e/ou planos estratégicos de TI).

Cada iniciativa estratégica de gestão de riscos deve ser mapeada com os objetivos estratégicos da companhia (indicando a natureza e o impacto da iniciativa sobre eles) e a prioridade, responsabilidade, cronogramas, recursos, medidas de sucesso e metas, conforme sugerido no Quadro 7.

Quadro 7 – Plano de ações para mitigação de riscos estratégicos

Iniciativa de Gestão de Riscos/Ação	Objetivos Vinculados	Prioridade	Responsável	Cronograma	Medida

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Esta seção também deve destacar quaisquer dependências (e a natureza dessas dependências) que existam entre as iniciativas e dependências de outras iniciativas que estão incluídas em planos estratégicos para outras funções de negócios. Como as atividades serão coordenadas entre iniciativas e funções comerciais para garantir que o plano seja alcançado, também deve ser delineado nesta seção.

4.4.4 Compreensão dos riscos

A compreensão dos custos relacionados à gestão dos riscos operacionais está diretamente relacionada, pois muitas atividades de gestão dos riscos compreendem medidas de controle de risco x custo. Para que as atividades da gestão de riscos sejam eficazes no controle de risco, as seguintes questões precisam ser tratadas como parte do sistema de gerenciamento de ativos da empresa:

- identificar os equipamentos críticos a serem incluídos no sistema de gestão de riscos;
- considerar e avaliar as atividades do sistema de gestão de ativos como medida de controle de risco.

O sistema de gestão de riscos deve estar diretamente envolvido na avaliação de todos os tipos de riscos para os ativos, incluindo:

- risco para o negócio;
- risco para o ativo;
- riscos operacionais;

- riscos ambientais;
- riscos para segurança, incluindo os riscos ocupacionais e de segurança do processo.

4.4.5 Avaliação de risco

A fim de identificar e considerar adequadamente os riscos relativos à operação comercial, as seguintes avaliações se fazem necessárias:

- Avaliação de aspectos e impactos** – elas fornecem uma compreensão global dos riscos operacionais de ativos;
- Avaliação de perigos e riscos das tarefas** – fornece um entendimento a respeito dos perigos/riscos associados às tarefas de operação, manutenção, uso etc.;
- Avaliações do gerenciamento de risco para os regulamentos e requisitos legais** - fornecem um status em relação aos riscos de segurança e ambientais específico para o ativo;
- Avaliações de risco de projeto** - durante a análise e desenvolvimento do projeto ou aquisição de ativos, diferentes ferramentas de análise de risco são algumas vezes utilizadas, tais como: avaliação *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) e *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

Essas avaliações ajudam a identificar:

- os equipamentos críticos a serem incluídos no sistema de gestão de riscos;
- as atividades do sistema de gestão de ativos fundamentais para o controle de risco;
- qualquer recomendação relacionada à gestão dos ativos, necessária ao controle e/ou a redução do risco operacional.

4.4.6 Resultado da avaliação de risco

As informações sobre riscos, geradas a partir dessas avaliações, são dados importantes para as atividades do dia a dia da operação. Essas avaliações fornecem as seguintes informações:

- a) Informações gerais do sistema de gestão de riscos:
 - riscos a serem controlados;
 - principais controles de risco;
 - necessidade de melhorias operacionais.

- b) Informações específicas do ativo no sistema de gestão de ativos:
 - informações de riscos necessárias à avaliação da criticidade dos ativos;
 - lista de ativos críticos;
 - causas de falhas de um ativo específico e seus impactos, para serem consideradas no desenvolvimento dos planos de manutenção proativa (MP/MPd) e detectiva (PD);
 - atividades de manutenção e inspeções críticas a serem consideradas no desenvolvimento de planos de manutenção proativa e detectiva.

Os critérios de avaliação de risco (ex.: probabilidade e impacto) no planejamento de contingência/continuidade, estão definidos em procedimentos específicos do sistema de gestão de riscos.

4.4.7 Objetivos do sistema de gestão de riscos e planejamento para alcançá-los

Os objetivos do sistema de gestão de riscos constituem o principal elo entre os objetivos organizacionais e o plano de gestão de riscos, que descreve como esses objetivos serão alcançados.

4.4.8 Planejamento para alcançar os objetivos do sistema de gestão de riscos

Com base nos objetivos do sistema de gestão dos riscos e da organização, o plano de gestão de riscos foi estabelecido, documentado e mantido para atingir os objetivos desse sistema de gestão.

O plano de gestão de riscos aborda:

- O que será feito;
- Que recursos serão necessários;
- Quem será responsável;
- Quando será concluído;
- Como os resultados serão avaliados;
- O período a que o plano de gestão de riscos se refere;
- As implicações financeiras e não financeiras do plano de gestão de riscos.

O método e o critério para a tomada de decisão e priorização das atividades e dos recursos para alcançar os objetivos do sistema de gestão de riscos são:

- Objetivos do sistema de gestão de riscos - anualmente estabelecidos/revisados e aprovados pelo comitê;
- Outros objetivos organizacionais do sistema de gestão de riscos, como: metas de segurança, ambientais e de qualidade, identificar as atividades relacionadas à gestão de ativos e determinar medidas de gestão de integridade de ativos apropriadas e metas associadas;
- Indicadores-chave de desempenho (KPIs) do sistema de gestão de riscos – revê-los com base no cumprimento das metas estabelecidas no período passado;
- Identificar quaisquer lacunas de desempenho e objetivos para melhoria do sistema de gestão de riscos, determinar KPIs relacionados à gestão de riscos e estabelecer metas;
- Comunicar as metas do sistema de gestão de riscos para a liderança envolvida;
- Coletar e consolidar os indicadores do sistema de gestão de riscos e apresentá-los a um Comitê de Gestão de Riscos;

- Comitê de gestão de riscos – deve reunir-se, periodicamente, para análise de desempenho do sistema em relação aos objetivos, metas e ajustes, como julgados necessários.

Os processos listados a seguir foram definidos com o propósito de estabelecer ações para a identificação e o tratamento de riscos e oportunidades no gerenciamento dos ativos. Esses processos têm o objetivo de:

- identificar e avaliar riscos;
- identificar oportunidades;
- avaliar a importância do ativo para alcançar os objetivos do sistema de gestão de riscos;
- implementar o tratamento e monitoramento apropriado dos riscos e oportunidades.

Abaixo estão relacionadas as metodologias e técnicas de engenharia e manutenção que buscam garantir o alto desempenho dos ativos operacionais, bem como, mapear os riscos, analisar as causas e mitigar os efeitos e probabilidades de materialização das ocorrências de campo:

a) Técnicas:

- manutenção de ativos;
- conformidade aos requisitos de contrato;
- projeto & construção de ativos;
- conduta da operação - desempenho do equipamento e estado dos ativos.

b) Analíticos:

- análises de criticidade;
- análises dos modos de falha, efeitos e criticidade (FMECA);
- manutenção centrada na confiabilidade (RCM);
- análise de causa-raiz (RCA)/ análise de causa-raiz da falha (RCFA).

c) Desempenho:

- monitoramento, medida, análise e avaliação (KPIs);
- análise da maturidade;
- auditorias internas;
- análise crítica.

d) Suporte:

- planejamento de paradas;
- novas tecnologias, boas práticas e lições aprendidas.

4.5. Avaliar a percepção dos principais *stakeholders* sobre a ideia conceito

A fim de se validar a ideia/conceito, foram discutidas as propostas com 3 *stakeholders* internos da Rumo: Gustavo Barros Castro, coordenador de planejamento estratégico; Israel Junior, Gerente Executivo de Vagões; e Marcus Jorge, Diretor de Manutenção.

Sendo que, a partir das visões deles, foram calibradas as entradas e saídas esperadas desse novo modelo de gerenciamento técnico de riscos para direcionamento estratégico da manutenção de vagões.

Objetivos dos *stakeholders*:

- obter uma avaliação clara e concisa dos limites técnicos dos ativos, para que sejam informados os tempos ótimos de manutenções, de forma que não se desperdicem recursos ou corra-se riscos desnecessários de falhas graves ou acidentes;
- ter uma curva temporal dos desembolsos necessários, ano a ano, de forma cadenciada com os objetivos estratégicos da Cia;
- minimizar manutenções não programadas ou custos adicionais inesperados em cada ano corrente;
- desenvolver uma plataforma de simulação para desdobramentos de diversos cenários técnicos e financeiros para auxílio da tomada de decisões;
- maximizar a disponibilidade física dos ativos e minimizar os recursos aplicados.

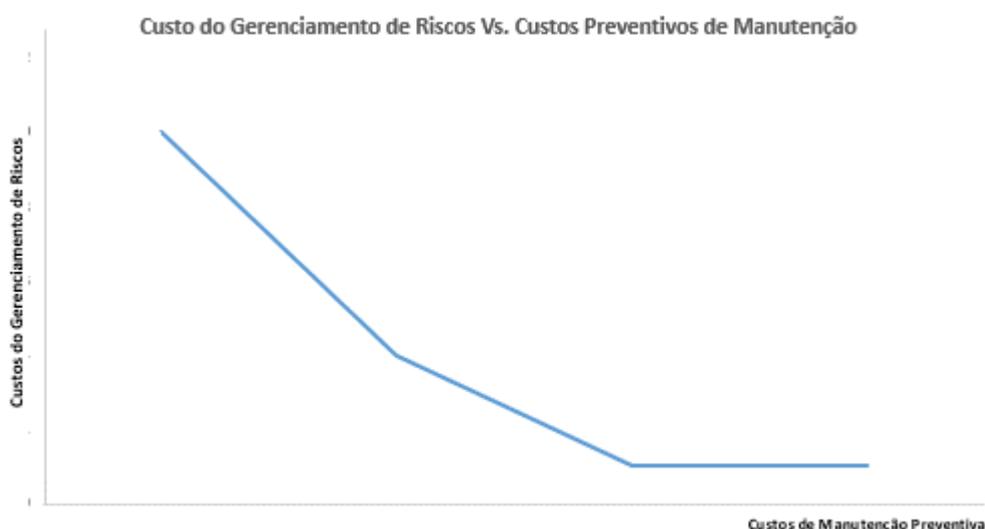
4.5.1 Percepção sobre a proposta e contribuições

A proposta modelo do projeto foi apresentada durante o *benchmarking* com a VLI, Petrobras e Metrô para os entrevistados, porém de forma simples, independente das metodologias de avaliação que poderão ser implantadas com base em diagramas, matrizes ou mapeamentos de riscos. De forma unânime, os *stakeholders* expressaram o desejo de obterem a relação de compromisso entre o custo de gerenciamento de riscos *versus* o custo de manutenção preventiva.

Conforme pode-se observar no Gráfico 6, cada ponto da curva é um cenário de manutenção com diversas atividades corretivas, preventivas e ativos sem manutenção. À medida que se caminha para a esquerda no Gráfico, aumentam-se os custos com o gerenciamento de riscos, ou seja, existirão mais interrupções e perdas de receitas por defeitos ou falhas catastróficas. Porém, à medida que se avança para a direita, os custos derivados dos riscos diminuem e os desembolsos preventivos crescem de forma significativa.

Logo, a principal solicitação dos entrevistados é que a metodologia de gerenciamento de riscos da manutenção de vagões busque o ponto ótimo entre os recursos aplicados preventivamente (por tempo ou quilometragem) com os recursos aplicados de forma preditiva ou corretivamente posterior às falhas.

Gráfico 6 - Gráfico ilustrativo da relação entre custo de gerenciamento de riscos e custos preventivos



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Apesar de o Gráfico 6 ser uma representação sem dados reais, seu conceito servirá de direcionamento importante para o desenvolvimento da metodologia final.

Considerando o ponto de vista de cada entrevistado, observou-se ser aderente a este modelo de negócio o equilíbrio entre custos e riscos, e para isso é essencial garantir que as práticas de gerenciamento de riscos sejam consistentes. Além disso, o uso de tecnologias avançadas de diagnósticos e monitoramento podem detectar, com antecedência, possíveis falhas nos vagões e auxiliar na manutenção desse equilíbrio.

5. DESENVOLVIMENTO - PROPOSTA DE SOLUÇÃO

O modelo analítico proposto para a projeção de custos e riscos na manutenção de vagões ferroviários será detalhado neste capítulo, juntamente com as análises de viabilidades operacionais, econômicas, estratégias e político-legais. Durante o projeto foi executado o *Minimum Viable Product* (MVP) que será detalhado juntamente com o cronograma de implementação.

5.1 O modelo analítico para projeção de custos e riscos quanto à manutenção ferroviária de cargas

Para que a operação logística mantenha a produtividade desejada, é necessário que os ativos se mantenham funcionais. Esse objetivo é alcançado com a estruturação de uma política de manutenção adequada. Essa política deve garantir a disponibilidade dos equipamentos, a confiabilidade e segurança da operação com o menor custo possível. A manutenção ferroviária de cargas desempenha um papel crucial na operação eficiente e segura do transporte ferroviário. No entanto, o gerenciamento dos custos e riscos associados a essa atividade é um desafio complexo para as empresas do setor. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo analítico para a tomada de decisões que envolva custos e riscos relacionados à manutenção ferroviária de cargas. O modelo proposto irá incorporar uma abordagem integrada que considera variáveis como a idade dos ativos, histórico de falhas, condições operacionais e estratégias de manutenção adotadas. A análise dos dados históricos e a aplicação de técnicas estatísticas permitirão a projeção de custos de manutenção e a identificação de riscos potenciais, auxiliando as empresas na tomada de decisões e na alocação eficiente de recursos para a manutenção ferroviária de cargas.

A estratégia de manutenção de vagões da empresa Rumo está baseada em quatro tipos, e podem ser classificadas em:

- 1) Inspeções (visuais/sensitivas em pátios e terminais):** realizadas em pátios, linhas sinalizadas, postos de carregamento e descarga, e oficinas, onde são verificadas as condições dos componentes dos vagões visando, principalmente, à segurança operacional e sua funcionalidade. Sempre que é

identificada alguma anomalia, os vagões são encaminhados para manutenção, podendo ser classificados como corretivas programadas ou emergenciais.

- 2) **Manutenções corretivas (programadas e não programadas):** podem ser programadas, para serem executadas em oficina, ou não programadas, quando ocorrem assim que é identificada a avaria/ anomalia por meio das inspeções.
- 3) **Manutenções preventivas (contemplando inspeções de integridade estrutural):** atualmente são definidas por agendamento, sendo realizadas atividades de verificação, qualificação e correção de componentes, conforme gabaritos e padrões existentes, visando à redução de falhas para garantir o desempenho operacional e maior confiabilidade do ativo.
- 4) **Manutenção preditiva (por meio do monitoramento dos ativos pelos equipamentos instalados ao longo da malha).** Os métodos de inspeção preditiva implantados na ferrovia estudada são:

- Detecção acústica de rolamentos;
- Detecção de temperatura de rolamento;
- Detecção de performance de truque;
- Detecção de impacto de rodas;
- Detecção de temperatura de roda;
- Detecção de defeitos visuais em truques e sapatas de freio.

A adoção desse método de inspeção preditiva permitirá identificar, precocemente, possíveis falhas nos rolamentos dos vagões, contribuindo para um planejamento mais eficiente das manutenções, e minimizando o risco de falhas e paradas inesperadas.

O transporte ferroviário desempenha um papel fundamental na movimentação eficiente de cargas, sendo essencial garantir a segurança e a disponibilidade máxima dos ativos ferroviários. Nesse contexto, é necessário desenvolver uma metodologia que permita avaliar os riscos associados à manutenção ferroviária, bem como projetar os custos envolvidos em sua gestão.

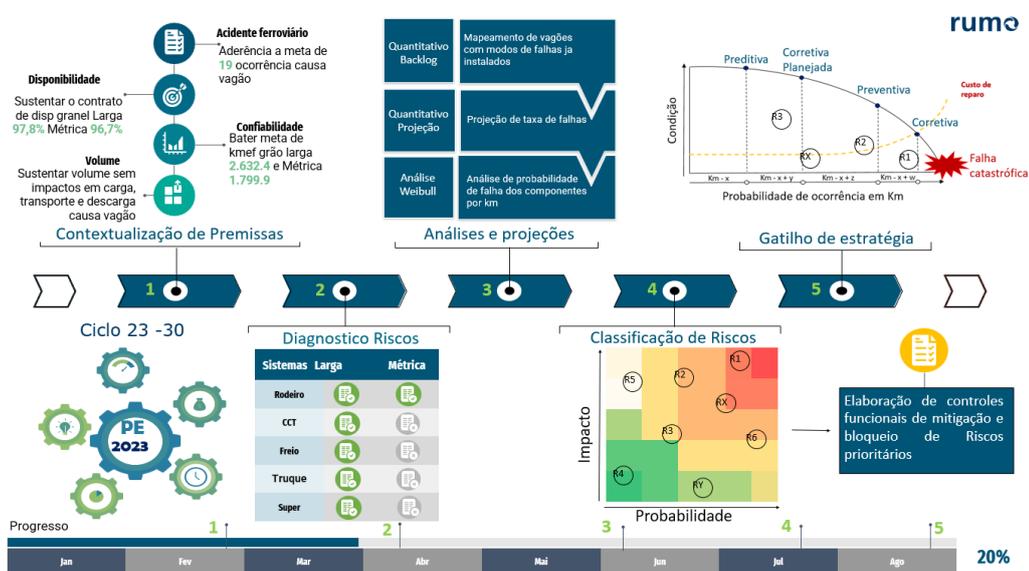
A gestão eficiente dos riscos e custos de manutenção desempenha um papel fundamental na garantia da operação segura e eficiente das empresas, além de impactar diretamente sua sustentabilidade financeira. Nesse sentido, o modelo

proposto busca oferecer uma abordagem integrada que equilibra a mitigação dos riscos operacionais com a otimização dos custos de manutenção.

A etapa inicial do modelo consiste na contextualização e definição das premissas. São considerados fatores como a quantidade máxima de acidentes ferroviários, conforme a meta estabelecida pela empresa, a disponibilidade e a confiabilidade máxima desejada dos ativos e o volume máximo de carga transportada (produção e performance). Em seguida, é realizado um diagnóstico dos riscos, avaliando as características de cada sistema ferroviário e identificando os principais pontos de vulnerabilidade. Essa etapa é fundamental para compreender os desafios específicos enfrentados pela empresa ou organização que realiza a manutenção ferroviária.

Após o diagnóstico de riscos, o modelo analítico proposto inclui análises e projeções relacionadas ao *backlog* de falhas, taxa de falhas e análise de probabilidade de falhas por quilômetro. Essas análises permitem identificar os principais problemas que podem levar a interrupções e atrasos nas operações ferroviárias. Além disso, auxiliam na projeção dos custos envolvidos na manutenção e na alocação adequada de recursos para a mitigação dos riscos identificados. Por meio dessas projeções, é possível desenvolver estratégias eficazes de gerenciamento de riscos e otimização dos custos de manutenção ferroviária.

Figura 13 - *Framework* do sistema de tomada de decisões para priorização de manutenção



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Dessa forma, a Rumo busca assegurar a funcionalidade dos vagões de carga, promovendo a segurança operacional, a disponibilidade dos equipamentos e a otimização dos custos de manutenção.

5.2. *Minimum Viable Product (MVP)* do modelo

No intuito de validar a efetividade do Modelo proposta foi elaborado um MVP na empresa Rumo. O teste foi realizado em uma instância de aproximadamente 10.000 vagões de carga geral, com as seguintes características:

- Modelos de vagões *hoppers* de bitola larga;
- Modelo fechado com descarga inferior e carregamento superior;
- Teto fechado por escotilhas;
- Capacidade bruta de 130 toneladas;
- Transporte de grãos agrícolas (especialmente soja, milho e açúcar)

O foco do modelo será a manutenção dos modos de falha dos sistemas de truque e rodeiros para a execução. Esses sistemas foram selecionados devido à sua maior gravidade quando ocorrem falhas. Suas funções de amortecimento e alinhamento das rodas são fundamentais para se evitar acidentes ferroviários.

O *framework*, Figura 13, de sistema de tomada de decisões para priorização de manutenção, com base na classificação de riscos, é uma abordagem estruturada que auxilia na identificação e seleção das atividades de manutenção mais críticas e prioritárias. Esse sistema considera a análise de riscos como um componente-chave para determinar as ações necessárias, em termos de manutenção.

O processo de classificação de riscos envolve a avaliação e o cálculo de diferentes fatores, tais como: probabilidade de ocorrência, impacto na operação e consequências financeiras, para cada item ou componente a ser mantido. Com base nessas avaliações, é possível atribuir uma pontuação ou classificação de risco a cada item, indicando a sua prioridade de intervenção.

A classificação de riscos pode ser realizada por meio de métodos e técnicas específicas, como a análise de árvore de falhas, análise de modo e efeito de falha (FMEA), matriz de riscos (impacto vs. probabilidade), entre outros. Essas ferramentas

permitted the identification of potential failure scenarios, the determination of the criticality of each scenario and the evaluation of the associated risks.

Based on the risk classifications obtained, maintenance activities can be prioritized according to urgency and importance. Items with high risk classification will require immediate interventions, while those with lower risk classification can be programmed for maintenance at a later date.

This *framework* for decision-making provides a clearer and more objective view of which system elements require more attention and investment, in terms of maintenance. This allows resources to be allocated more efficiently, focusing on areas of higher risk and on preventive actions that are more necessary.

In addition, the decision-making system, based on risk classification, also facilitates communication and the sharing of information between maintenance teams and managers, promoting a more consistent and transparent approach in the definition of priorities.

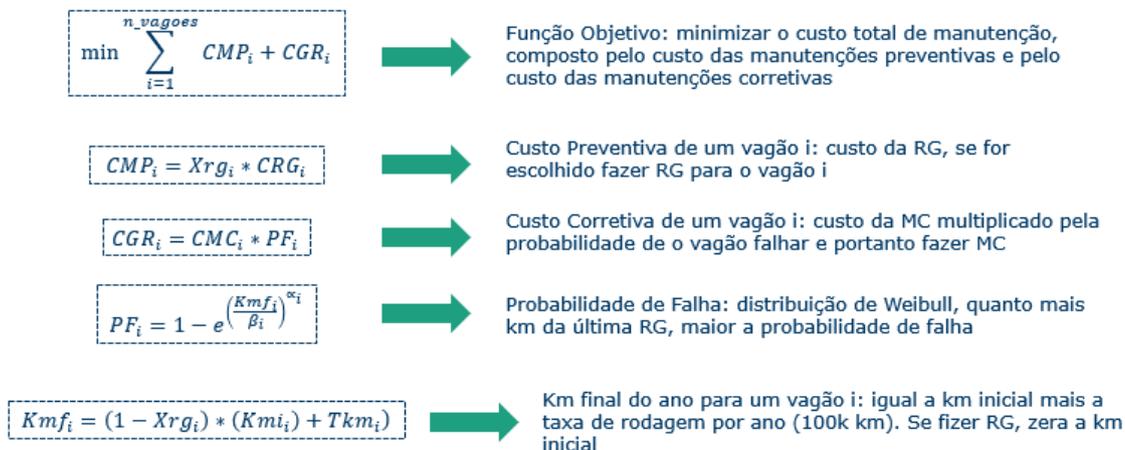
In summary, the *framework* for decision-making for maintenance prioritization, based on risk classification, is an effective approach to maximize the use of maintenance resources, focusing on areas of higher risk and ensuring appropriate preventive actions to avoid critical failures and unnecessary costs.

5.2.1 Desenvolvimento do MVP

Optimizing maintenance costs is a challenge faced by various industries, including the railway sector. In order to ensure operational efficiency and reduce expenses, it is fundamental to develop strategies that minimize maintenance costs, preventive, corrective and risk management in a simultaneous manner.

Figura 14 - Formulação do MVP

Formulação - MVP



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A Figura 14, apresenta a formulação do Modelo de Programação de Valor (MVP), uma abordagem utilizada para otimizar os custos associados à manutenção de vagões. O MVP é composto por funções, objetivos, restrições e alvos que visam a minimização dos custos totais de manutenção.

A função/objetivo principal consiste em minimizar o custo total de manutenção composto pela soma dos custos das manutenções preventivas e corretivas. O custo preventivo de um vagão é determinado pelo custo da revisão geral (RG), caso essa opção seja escolhida para o vagão em questão. Por outro lado, o custo corretivo é calculado multiplicando o custo da manutenção corretiva (MC) pela probabilidade de falha do vagão. Essa probabilidade é baseada em uma distribuição de *weibull*, na qual a chance de falha aumenta de acordo com que aumenta a quilometragem, tendo como base a última RG.

Além disso, o modelo leva em consideração a quilometragem percorrida por um vagão ao final de um ano. Esse valor é calculado adicionando-se a quilometragem inicial à taxa de rodagem anual, que é fixada em 100.000 km. Caso uma revisão geral seja realizada, a quilometragem inicial é zerada, refletindo a manutenção realizada.

Por meio da utilização do MVP, é possível estabelecer uma estratégia de otimização dos custos de manutenção, permitindo uma alocação mais eficiente dos recursos e contribuindo para a redução dos gastos operacionais. A próxima seção irá

explorar, mais detalhadamente, as funções objetivos, restrições e alvos do MVP, destacando como esses elementos contribuem para a busca pela minimização simultânea dos custos de manutenção.

Resultados iniciais das simulações e implementação:

Figura 15 - Algoritmo desenvolvido

```

model = pyo.ConcreteModel()
##Ranges
model.n_vagoes = pyo.RangeSet(1, df_vagoes.shape[0])
## Parametros
# model.cap_rg = pyo.Param(initialize = df_parametros.loc[0, 'capacidade_RG'])
model.custo_rg = pyo.Param(model.n_vagoes, initialize = df_vagoes.Custo_RG)
model.custo_mc = pyo.Param(model.n_vagoes, initialize = df_vagoes.Custo_MC)
model.prob_falha_rg = pyo.Param(model.n_vagoes, initialize = df_vagoes.prob_falha_rg)
model.prob_falha_sem_rg = pyo.Param(model.n_vagoes, initialize = df_vagoes.prob_falha_sem_rg)
model.orcamento_mp = pyo.Param(mutable = True, initialize = j)
## Variaveis
model.X_rg = pyo.Var(model.n_vagoes, domain = pyo.Binary)
model.prob_falha = pyo.Var(model.n_vagoes, domain = pyo.NonnegativeReals)
## Restrições
def probabilidade_falha(model, i):
    return model.prob_falha[i] == ((1-model.X_rg[i])*model.prob_falha_sem_rg[i]) + model.X_rg[i]*model.prob_falha_rg[i]
model.probabilidade_falha = pyo.Constraint(model.n_vagoes, rule = probabilidade_falha)
def orcamento_man_preventiva(model):
    return sum(model.X_rg[i]*model.custo_rg[i] for i in model.n_vagoes) <= model.orcamento_mp + 50000
model.orcamento_man_preventiva = pyo.Constraint(rule = orcamento_man_preventiva)
def orcamento_man_preventiva_ub(model):
    return sum(model.X_rg[i]*model.custo_rg[i] for i in model.n_vagoes) >= model.orcamento_mp - 50000
model.orcamento_man_preventiva_ub = pyo.Constraint(rule = orcamento_man_preventiva_ub)
def objetivo(model):
    return sum(model.X_rg[i]*model.custo_rg[i] for i in model.n_vagoes) + sum(model.prob_falha[i]*model.custo_mc[i] for i in model.n_vagoes)
model.Obj = pyo.Objective(rule = objetivo, sense = 1)
opt = SolverFactory('gurobi')
result = opt.solve(model)

```

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A otimização dos custos com manutenção é um desafio crucial em diversas indústrias, e no contexto do projeto em otimização, foi utilizado um poderoso *framework* chamado Pyomo, para abordar essa questão. O Pyomo é uma ferramenta flexível e de alto desempenho, que permite a modelagem e resolução eficiente de problemas de otimização.

Uma das principais vantagens do Pyomo é a sua capacidade de integração com diferentes *solvers*, o que permite alterar o *solver* utilizado sem a necessidade de modificar o código do modelo. Essa flexibilidade é extremamente valiosa, pois permite explorar diferentes algoritmos e técnicas de otimização, escolhendo aquele que melhor se adequa às características do problema em questão. Dessa forma, é possível explorar uma ampla gama de *solvers*, como o CPLEX, Gurobi, entre outros, e selecionar aquele que oferece os melhores resultados para o modelo de otimização dos custos de manutenção.

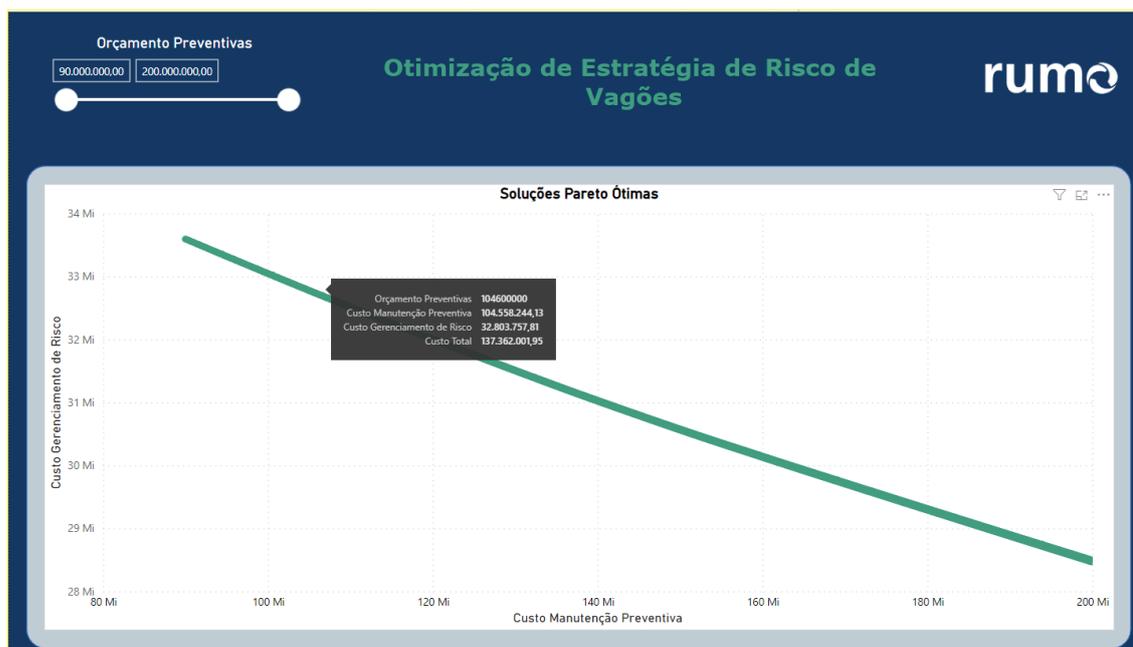
Após a resolução do modelo de otimização, a saída gerada é um arquivo .csv que contém informações essenciais para a tomada de decisões. Esse arquivo

apresenta os vagões selecionados para RG em cada cenário de orçamento, juntamente com os seus respectivos custos de manutenção preventiva e corretiva. Essa informação é extremamente valiosa para a equipe de manutenção, pois permite identificar, de forma clara, quais vagões devem passar por revisões gerais e quais são os custos associados a essas ações.

Vale destacar que o volume de dados gerados pelo modelo de otimização é significativo. Com, aproximadamente, 10 milhões de linhas, que correspondem a 1.100 simulações, realizadas para 9.481 vagões, o arquivo .csv resultante contém informações detalhadas sobre cada cenário de orçamento e os vagões selecionados para a RG. Essa quantidade expressiva de dados evidencia a abrangência e a capacidade de análise do modelo, fornecendo informações valiosas para a gestão da manutenção.

Em resumo, o uso do *framework* Pyomo no projeto permite a modelagem eficiente do problema de otimização dos custos de manutenção, possibilitando a integração com diferentes *solvers* e a geração de uma saída estruturada em formato .csv. Essa abordagem avançada fornece resultados robustos e contribui, significativamente, para a tomada de decisões embasada na redução dos custos de manutenção e na eficiência operacional da indústria em questão.

Figura 16 - Resultados das simulações



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A Figura 16 apresenta uma otimização realizada em uma base de testes, exibindo os custos de manutenção preventiva e de gerenciamento de riscos. Ao analisar a curva representada, é possível observar que à medida que se move para a esquerda, há um aumento nos gastos com o gerenciamento de riscos, enquanto ocorre uma diminuição nos custos preventivos. Por outro lado, ao se deslocar no sentido oposto, há uma ênfase maior nas manutenções preventivas, em detrimento dos gastos com o gerenciamento de riscos.

Essa relação de compromisso entre custos preventivos e de gerenciamento de riscos tem sido utilizada no desenvolvimento do planejamento estratégico da manutenção de vagões da Rumo, para o período de 2024 a 2026. Essa abordagem visa suportar as tomadas de decisões relacionadas à manutenção, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos e uma gestão mais assertiva dos custos envolvidos.

Por meio da análise cuidadosa dos custos preventivos e de gerenciamento de riscos, a empresa pode tomar decisões informadas e embasadas na busca por um equilíbrio adequado entre ações preventivas e de mitigação de riscos. Dessa forma, é possível otimizar os recursos disponíveis, garantindo a segurança e confiabilidade dos vagões, ao mesmo tempo em que se reduz os custos de manutenção.

Ao utilizar essa relação de compromisso como base para o planejamento estratégico da manutenção, a Rumo estabelece uma abordagem sólida e embasada em dados para a gestão de sua frota de vagões nos próximos anos. Essa estratégia permite antecipar e planejar as ações de manutenção, otimizando os custos e garantindo a eficiência operacional.

Figura 17 - Resumo resultados simulação 01



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A Figura 17, mostra os resultados do cenário selecionado, revelando uma observação relevante. Foi constatado que o algoritmo optou por selecionar um grupo significativo de vagões, exclusivamente, para a realização de MC. Isso ocorre porque, no cenário avaliado e considerando a quilometragem atual e projetada desses ativos, a solução ótima indicou que a abordagem mais eficiente é priorizar o gerenciamento de riscos em vez das manutenções preventivas.

Essa escolha estratégica é fundamentada na análise dos dados e nas informações disponíveis. Considerando a condição dos vagões no cenário avaliado e a projeção das quilometragens percorridas, foi determinado que o investimento em manutenções preventivas não traria os benefícios desejados em termos de eficiência de custos e confiabilidade dos ativos.

Ao priorizar as MCs, o objetivo é concentrar os recursos disponíveis na resolução direta de falhas e problemas específicos que surgem durante a operação. Dessa forma, é possível otimizar os recursos, reduzir custos desnecessários e garantir que as intervenções sejam realizadas quando realmente necessárias.

Essa estratégia de focar no gerenciamento de riscos e na implementação de MCs adequadas em vez de realizar manutenções preventivas generalizadas demonstra um enfoque inteligente na alocação dos recursos de manutenção. A partir dos resultados obtidos e da análise detalhada do cenário, é possível tomar decisões embasadas e direcionar os esforços para o que for mais necessário, garantindo assim a eficiência operacional e a maximização dos recursos disponíveis.

5.2.2 Análises de viabilidades aplicadas ao MVP

A otimização dos custos e riscos de manutenção para vagões de carga é uma preocupação importante para as empresas do setor ferroviário. A implementação de estratégias eficientes de manutenção pode trazer benefícios significativos, como a redução de gastos e a minimização dos riscos associados a falhas operacionais. Serão abordados alguns aspectos relacionados à viabilidade dessa otimização:

- Planejamento adequado: um planejamento de manutenção bem estruturado é essencial para otimizar os custos e riscos. Isso inclui a definição de estratégias claras, como manutenção preventiva e preditiva, baseadas em dados e

histórico de falhas. O uso de tecnologias avançadas, como monitoramento remoto e análise de dados em tempo real, pode auxiliar esse processo;

- Análise de dados e indicadores de desempenho: a coleta e análise de dados relacionados ao desempenho dos vagões de carga são fundamentais para identificar padrões, tendências e falhas recorrentes. A partir dessas informações, é possível estabelecer indicadores de desempenho e criar planos de manutenção mais eficazes, direcionando os recursos para os pontos críticos;
- Manutenção preditiva e preventiva: a implementação de práticas de manutenção preditiva e preventiva pode ajudar a evitar falhas inesperadas e reduzir os riscos associados. Por meio do monitoramento contínuo das condições dos vagões, é possível identificar sinais precoces de desgaste ou falhas iminentes, permitindo a realização de intervenções programadas antes que ocorram problemas graves;
- Treinamento e capacitação da equipe: investir na capacitação e treinamento dos profissionais responsáveis pela manutenção dos vagões é essencial. Equipes bem treinadas têm maior conhecimento técnico para identificar problemas, realizar inspeções de qualidade e reparos de forma eficiente, contribuindo para a redução dos custos e riscos associados à manutenção;
- Parcerias estratégicas: estabelecer parcerias com fornecedores especializados em manutenção de vagões pode ser uma estratégia viável para otimizar os custos e riscos. Essas parcerias podem incluir acordos de manutenção preditiva, contratos de serviço e compartilhamento de melhores práticas, permitindo um aproveitamento mais eficiente dos recursos e conhecimentos técnicos.

É importante ressaltar que a viabilidade da otimização dos custos e riscos de manutenção para vagões de carga varia de acordo com o contexto específico de cada empresa. É necessário levar em consideração fatores como o tamanho da frota, o perfil de operação, as características dos vagões e a disponibilidade de recursos financeiros e tecnológicos. Uma análise aprofundada, levando em conta todos esses aspectos, é fundamental para determinar as melhores estratégias de manutenção que proporcionem resultados positivos, em termos de custos e riscos para a empresa.

5.2.1.1 Viabilidade operacional

A análise operacional e de riscos dos defeitos de vagões de carga é uma etapa fundamental para identificar e mitigar potenciais problemas que possam afetar a operação e a segurança, e fornecer uma análise dos defeitos mencionados, destacando os riscos operacionais associados a cada um deles.

Quadro 8 - Análise de defeitos x riscos operacionais

Risco	DIAGNÓSTICO			
Rodeiro	CCT	Freio	Truque	Super
Bandagem abaixo de 23 mm	Fratura de madibula	Não recolhimento de vagões com problema de freio	Pacote despadronizado de molas do truque	Falta de revestimento interno
Shattered rim em rodas fundidas terceira vida	Fratura de longarina	Vagão isolado	Trinca no alojamento da cunha	Travamento do sistema de descarga
Fadiga na pista de rodas com alto KM	Desgaste da bolsa do ACT	Backlog do sistema de DDV	Truque considerado com backlog ok, mas com reparação parcial anterior	Recall GBMX
Falhas prematuras amsted maxion 2020-21	Apoio do engate avariado	Vagões com apenas uma timoneria de freio isolada	Empeno de chapa do batente superior do ampara balanço	Consequências Recall
Fadiga prematura de rodas	Engate trincado	Falha no processo de troca de sapata	fixação do prato	Atendimento Moegas
Desgaste de friso / friso alto	Quebra do Chavetão	Vagão com backlog ok, mas com itens de freio vencido (ajudador, cilindro, valvula)	Redução da vida útil de truque devido a bolsa da cunha não reparada ride-master	
Perda do perfil da pista	Quebra da abraçadeira	Quebra do tirante de freio	Fixação ampara balanço	
Cascalhamento e calejamento de rodas	ACT estourado gbmX	Diafragma rompido e pistão com dimensional incorreto (valvula de serviço)	Trinca em soldas de truques reparados	
Rolamento fora do tempo de validade	ACT estourado antigos (mark 50, 70)	Válvula contaminada		
Vagões Sem Pad		Triângulo stuck		
Vagões com Pad avariado		Travamento e corrosão no sistema de freio		
Baixa performance HPT 031, 032, 033 e 840 RC		Freio manual avariado		

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Abaixo está relacionado os principais efeitos e riscos operacionais em decorrência de falhas dos componentes de um vagão de cargas, conforme exposto no Quadro 8, acima:

a) Rodeiro:

Bandagem abaixo de 23 mm: esse defeito pode comprometer a estabilidade do vagão e resultar em descarrilamentos, aumentando o risco de acidentes graves.

Shattered rim em rodas fundidas, terceira vida: a quebra do aro das rodas pode causar descarrilamentos e danos à infraestrutura ferroviária, além de representar um risco de acidentes.

b) Conjunto de Choque e Tração (CCT):

Fratura de mandíbula: a fratura da mandíbula do engate pode levar ao desacoplamento dos vagões durante a operação, causando acidentes e interrompendo o fluxo logístico.

Fratura de longarina: a fratura na estrutura da longarina compromete a integridade do vagão e pode levar a falhas estruturais e colapsos durante a operação.

c) Freio:

Não recolhimento de vagões com problema de freio: a falha de não recolher vagões com problemas de freio pode causar acidentes, especialmente em descidas íngremes, devido à falta de controle da velocidade e capacidade de frenagem.

Vagão isolado: Um vagão isolado, sem a capacidade de frenagem adequada, representa um risco de colisões e descarrilamentos.

d) Truque:

Pacote despadronizado de molas do truque: a falta de padronização nas molas do truque pode levar a desequilíbrios na suspensão do vagão, resultando em instabilidade durante a operação.

Trinca no alojamento da cunha: a presença de trincas no alojamento da cunha do truque pode levar a falhas estruturais e desacoplamento do vagão, representando um risco significativo.

e) Superestrutura:

Falta de revestimento interno: a ausência de revestimento interno adequado pode causar danos à carga, comprometer a segurança do transporte e resultar em perdas financeiras.

Esses são apenas alguns exemplos dos riscos operacionais associados aos defeitos mencionados nos vagões de carga. Cada defeito deve ser analisado, individualmente, levando em consideração seus impactos potenciais na operação ferroviária, segurança das pessoas envolvidas, integridade da carga e infraestrutura. É essencial realizar inspeções regulares, implementar programas de manutenção preventiva e preditiva, e tomar ações corretivas imediatas para mitigar esses riscos e garantir a segurança e eficiência do transporte ferroviário de carga.

5.2.1.2 Viabilidade técnica

A viabilidade técnica do tratamento dos defeitos de forma preditiva, preventiva e por projeções de defeitos, busca encontrar o melhor momento para realizar a manutenção, equilibrando a otimização dos custos e a redução dos riscos decorrentes da não realização da manutenção. Essa abordagem visa identificar, antecipadamente, os problemas potenciais nos vagões de carga e tomar medidas adequadas antes que ocorram falhas graves.

Figura 18 - Análise e projeções de riscos



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Manutenção preditiva: utiliza tecnologias de monitoramento e análise de dados para identificar sinais precoces de desgaste, falhas iminentes ou deterioração nos componentes dos vagões de carga. Isso pode ser feito por meio de técnicas como monitoramento acústico, análise de vibração, termografia, entre outros. A coleta e análise contínua desses dados permitem prever o momento mais adequado para a intervenção de manutenção, evitando falhas e reduzindo o tempo de inatividade dos vagões.

Manutenção preventiva: é baseada em um planejamento sistemático de inspeções, revisões e substituições periódicas de componentes, independentemente de apresentarem sintomas evidentes de falha. Com base em diretrizes e normas técnicas, é possível estabelecer intervalos de manutenção adequados para cada componente dos vagões de carga. Dessa forma, busca-se evitar a ocorrência de falhas inesperadas e manter os vagões em condições operacionais ideais.

Projeções de defeitos: é uma abordagem que utiliza modelos e algoritmos para prever a vida útil de componentes e sistemas dos vagões de carga. Com base em históricos de falhas, dados de operação e características dos componentes, é possível estimar o momento mais propício para realizar a manutenção, considerando fatores como a degradação progressiva dos materiais e a expectativa de vida útil dos componentes. Essa análise permite agendar a manutenção de forma mais precisa,

otimizando os custos e minimizando os riscos associados à não realização da manutenção.

A viabilidade técnica dessas abordagens depende da disponibilidade de tecnologias de monitoramento adequadas, sistemas de coleta e análise de dados eficientes, conhecimento técnico especializado e capacidade de interpretação dos resultados. Além disso, é necessário levar em consideração as diretrizes e normas técnicas aplicáveis aos vagões de carga, como as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *Association of American Railroads* (AAR), *Federal Railroad Administration* (FRA) ou europeias, para garantir a conformidade e a segurança das intervenções de manutenção.

Ao implementar essas estratégias, as empresas podem se beneficiar com a redução dos custos de manutenção, com o aumento da disponibilidade dos vagões de carga e com a redução dos riscos operacionais, uma vez que as intervenções são realizadas no momento mais adequado, evitando falhas catastróficas e paralisações não programadas.

5.2.1.3 Viabilidade político-legal

Ao implementar manutenções preditivas em vagões de carga, é importante considerar as normas técnicas relevantes, como as normas ABNT, AAR, FRA ou europeias. Essas normas fornecem diretrizes e requisitos específicos para a fabricação, inspeção, manutenção e segurança dos vagões de carga. Abaixo, uma visão geral das normas relacionadas:

No Brasil, a ABNT é responsável por estabelecer as normas técnicas aplicáveis aos vagões de carga. Alguns exemplos de normas da ABNT incluem:

ABNT NBR 17035 (2022): estabelece os requisitos gerais para vagões de carga, incluindo requisitos de projeto, construção, inspeção e manutenção;

ABNT NBR 16441(2022): define as características técnicas e os requisitos de segurança para vagões-tanque utilizados no transporte de líquidos perigosos;

ABNT NBR 16947(2021): especifica os critérios para a inspeção e manutenção de vagões de carga, abrangendo aspectos como estrutura, freios, acoplamentos e sistemas de carga.

Em relação às normas internacionais, a AAR e a FRA, nos Estados Unidos, são referências importantes. Algumas normas relevantes incluem:

AAR Manual of Standards and Recommended Practices: contém uma ampla variedade de normas relacionadas a vagões de carga, como requisitos de projeto, materiais, freios, acoplamentos, sistemas de descarga e inspeções;

FRA 49 CFR Part 215 (1979): estabelece os padrões para a inspeção e manutenção de vagões de carga nos Estados Unidos, incluindo requisitos para truques (*trucks*), acoplamentos, componentes de freio, estrutura e sistemas de carga.

No contexto europeu, as normas são definidas pela União Europeia e variam de acordo com os países. Alguns padrões e regulamentos relevantes para vagões de carga incluem:

EN 12663 (2015): especifica os requisitos de segurança e resistência para vagões de carga, abrangendo aspectos como o projeto estrutural, a suspensão, os truques e os sistemas de freio;

UIC Leaflet 571 (2013): fornece recomendações e diretrizes para a manutenção de vagões de carga na Europa, incluindo aspectos como inspeção, substituição de componentes, reparos e lubrificação.

É importante destacar que a lista acima é apenas uma breve amostra das normas existentes e que elas podem ser atualizadas com o tempo. É fundamental consultar as versões mais recentes das normas aplicáveis ao contexto específico dos vagões de carga e garantir sua conformidade durante a implementação de manutenções preditivas. Recomenda-se buscar orientação de especialistas e profissionais familiarizados com as normas técnicas relevantes.

5.2.1.4 Viabilidade estratégica

A implantação de um sistema de tomada de decisão para otimização dos planos de manutenção oferece diversas vantagens estratégicas para uma empresa. Esse tipo de sistema visa melhorar a eficiência, a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos, ao mesmo tempo em que busca minimizar os custos associados à manutenção.

Uma das principais vantagens estratégicas é a capacidade de tomar decisões mais embasadas e informadas em relação à manutenção. O sistema utiliza dados históricos, informações em tempo real e modelos analíticos para avaliar o desempenho dos ativos, identificar padrões de falhas e antecipar necessidades de

manutenção. Isso permite que a empresa tenha uma visão mais precisa das condições dos ativos e possa planejar e agir de forma proativa.

Ao otimizar os planos de manutenção, a empresa consegue direcionar seus recursos de forma mais eficiente. Significa que os investimentos em manutenção são direcionados para as áreas e equipamentos mais críticos, que exigem maior atenção. Além disso, a implantação de um sistema de tomada de decisão permite a priorização de atividades de manutenção com base em critérios como: risco, custo, impacto operacional e conformidade com regulamentações.

Outro benefício estratégico é a redução dos custos de manutenção. Com um sistema eficiente, é possível minimizar os custos associados a paradas não programadas, falhas críticas e manutenção corretiva. Ao identificar e corrigir problemas, de forma antecipada, a empresa evita gastos excessivos com reparos emergenciais, substituições de equipamentos e perda de produtividade. Além disso, a manutenção preventiva adequada contribui para a ampliação da vida útil dos ativos, reduzindo os custos com substituição e aquisição.

A viabilidade estratégica também está relacionada à melhoria da confiabilidade e disponibilidade dos ativos. Ao implementar um sistema de tomada de decisão eficaz, a empresa é capaz de monitorar, continuamente, o desempenho dos ativos, identificar potenciais falhas e agir, proativamente, para evitar interrupções inesperadas. Isso resulta em um aumento da disponibilidade dos ativos, redução do tempo de inatividade e melhoria da eficiência operacional.

Além disso, a implantação de um sistema de tomada de decisão para otimização dos planos de manutenção demonstra um compromisso da empresa com a gestão eficiente de seus ativos. Isso fortalece sua reputação no mercado, aumenta a confiança dos clientes e parceiros comerciais e pode resultar em vantagem competitiva.

Em resumo, a viabilidade estratégica de implantar um sistema de tomada de decisão para otimização dos planos de manutenção está relacionada à capacidade de tomar decisões mais informadas, direcionar recursos de forma eficiente, reduzir os custos com manutenção, melhorar a confiabilidade e disponibilidade dos ativos, e fortalecer a imagem da empresa no mercado. Essa abordagem permite que a empresa esteja mais preparada para enfrentar desafios, minimizar riscos e alcançar um desempenho operacional superior.

5.2.1.5 Viabilidade financeira

Com o objetivo de otimizar o orçamento anual de, aproximadamente, 200 milhões de reais, destinado à manutenção de vagões na Rumo, é fundamental adotar estratégias eficientes para maximizar a utilização desses recursos. A seguir, são apresentadas algumas abordagens que podem contribuir para alcançar esse objetivo:

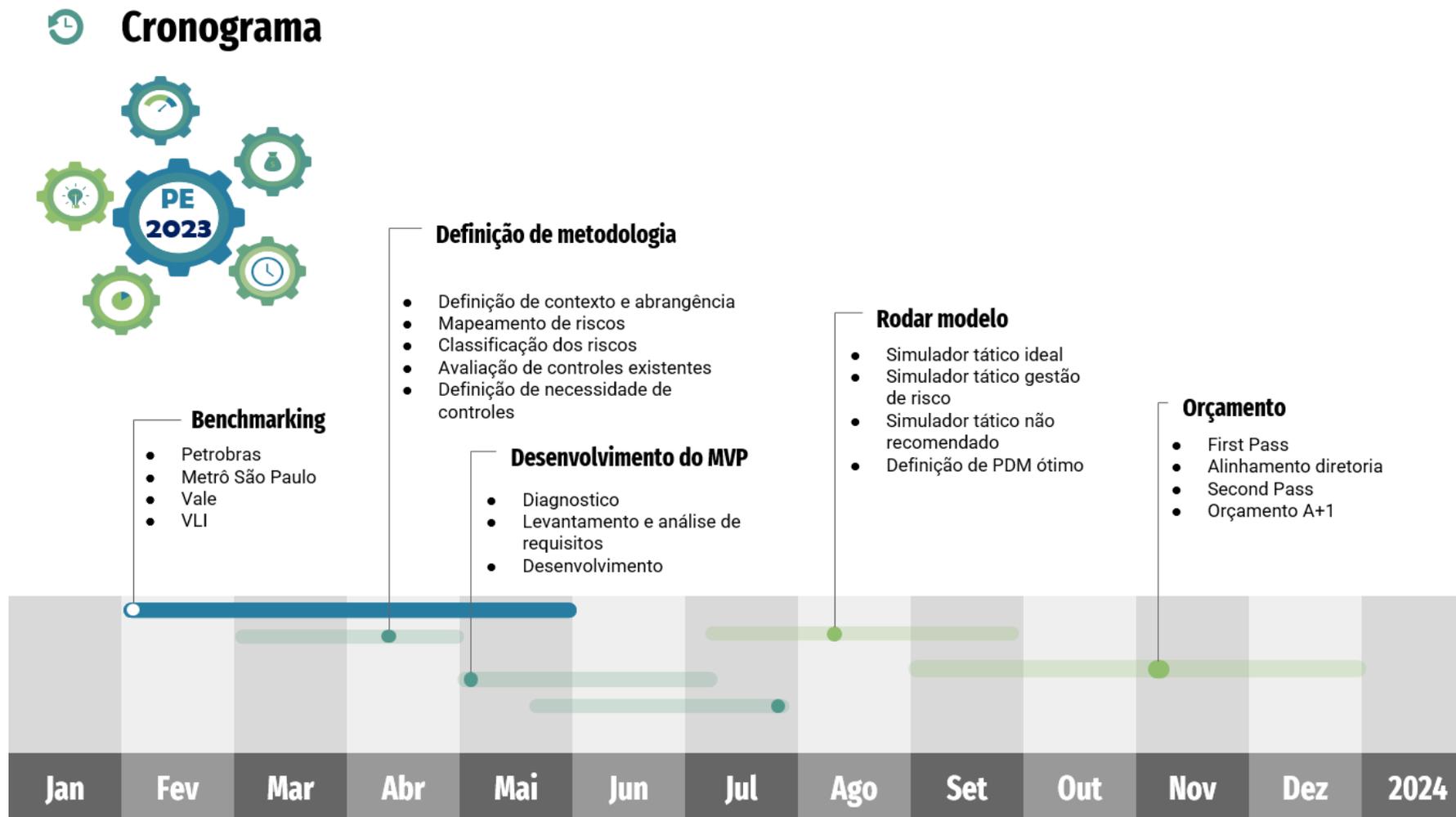
1. **Priorização estratégica:** é essencial identificar e priorizar as atividades de manutenção, com base na segurança operacional, impacto na operação e custo-benefício. Concentre os recursos nas áreas críticas que representam maiores riscos e consequências para a operação, garantindo que as intervenções sejam direcionadas de forma mais efetiva;
2. **Análise de dados e histórico:** utilize dados e históricos de falhas dos vagões para identificar padrões, tendências e principais causas de problemas. Essa análise permitirá identificar áreas de maior incidência de falhas, direcionando os esforços de manutenção para mitigar problemas recorrentes e evitar custos desnecessários;
3. **Manutenção preditiva e preventiva:** adote uma abordagem de manutenção baseada na previsão de falhas e na realização de ações preventivas. Utilize tecnologias avançadas, como monitoramento contínuo e sistemas de diagnóstico, para identificar sinais precoces de desgaste ou falhas iminentes, permitindo que a manutenção seja realizada no momento ideal, evitando paradas não programadas e reduzindo os custos de reparo;
4. **Programação eficiente:** planeje e programe as atividades de manutenção de forma eficiente, levando em consideração a disponibilidade dos vagões e a capacidade operacional. Agrupe as intervenções de manutenção de maneira estratégica, otimizando o tempo de inatividade e minimizando o impacto na operação ferroviária;
5. **Parcerias estratégicas:** considere estabelecer parcerias estratégicas com fornecedores especializados em serviços de manutenção. Essas parcerias podem trazer expertise técnica, redução de custos e acesso a tecnologias avançadas, contribuindo para a eficiência e qualidade das atividades de manutenção.

Ao adotar essas abordagens, é possível otimizar o orçamento de manutenção de vagões na Rumo, melhorando a eficiência operacional, reduzindo os custos de reparo e aumentando a disponibilidade dos ativos. É fundamental manter uma abordagem contínua de análise e adaptação das estratégias de manutenção, para enfrentar os desafios e garantir a sustentabilidade da infraestrutura ferroviária no longo prazo.

5.3 Plano de implementação do projeto

A implementação do Modelo, apresentado pelo Infográfico na Figura 19 consistirá em 5 etapas com uma duração prevista para 11 meses, será implantar o sistema proposto para a realização do orçamento anual da manutenção como ferramenta constante de priorização e avaliação do compromisso entre custos e riscos.

Figura 19 - Cronograma do projeto



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Para os próximos passos, há uma série de elementos importantes a serem considerados para aprimorar, ainda mais, o modelo de otimização da manutenção de vagões. Essas etapas incluem:

1. Modelagem do impacto das demais manutenções na probabilidade de falha: é fundamental considerar o efeito das manutenções além das MCs na probabilidade de falha dos vagões. Isso permitirá uma análise mais abrangente do impacto das intervenções de manutenção preventiva, como RGs e outras manutenções programadas, na redução da probabilidade de falha dos ativos;
2. Modelagem da probabilidade de falha por sistema: além de analisar a probabilidade de falha dos vagões como um todo, é interessante aprimorar o modelo para avaliar a probabilidade de falha por sistema específico. Dessa forma, é possível identificar quais sistemas estão mais propensos a falhas e direcionar ações de manutenção preventiva de forma mais precisa e eficiente;
3. Modelagem dos custos de gerenciamento de risco além do custo das MCs: além de considerar os custos das manutenções corretivas, é importante ampliar a modelagem para incluir os custos associados ao gerenciamento de risco. Isso envolve a avaliação e quantificação de outros fatores, como: impactos operacionais; custos de paradas não planejadas; avarias de equipamentos; e outros custos indiretos relacionados às falhas dos vagões;
4. Expansão para atacar mais frotas: considerando o sucesso da aplicação do modelo de otimização em uma frota específica, uma etapa natural é a expansão para atacar mais frotas. Isso envolve a adaptação e ajuste do modelo para atender às particularidades de outras frotas, como características dos vagões, padrões de manutenção, distribuição geográfica, entre outros. A ampliação para outras frotas permitirá obter uma visão mais abrangente e desenvolver estratégias de manutenção mais eficientes em um contexto mais amplo;
5. Aumento do horizonte de tempo para mais anos: uma extensão relevante do modelo é aumentar o horizonte de tempo para além dos anos atuais. Ampliar o período de análise para, por exemplo, cinco ou dez anos, permitirá uma visão de longo prazo da gestão da manutenção. Isso possibilitará identificar tendências, padrões de falhas ao longo do tempo e planejar ações preventivas de maneira mais abrangente, considerando o ciclo de vida dos vagões.

Ao abordar esses próximos passos, será possível aprimorar o modelo de otimização da manutenção de vagões, tornando-o mais abrangente, preciso e adaptado às necessidades específicas da indústria ferroviária. Essas melhorias contribuirão para a redução de custos, aumento da confiabilidade dos ativos e eficiência operacional a longo prazo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho de pesquisa abordou o *trade-off* entre os custos de gestão de riscos e o desempenho operacional no segmento ferroviário de cargas. A importância de equilibrar os custos de manutenção com os riscos operacionais no transporte ferroviário de cargas foi discutida, considerando o contexto global e o papel estratégico do setor ferroviário no desenvolvimento econômico e logístico do Brasil.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi proposto um modelo de análise e gerenciamento de risco no setor ferroviário de cargas, com ênfase no equilíbrio entre os custos de manutenção e os riscos operacionais. Por meio do desenvolvimento desse modelo analítico para a gestão de riscos e o desempenho operacional nesse setor, identificou-se a importância de uma abordagem integrada que considere tanto os custos de manutenção, quanto os riscos operacionais na tomada de decisões.

O modelo analítico proposto proporcionou uma abordagem sistemática para a gestão de riscos e o desempenho operacional nesse setor, considerando a necessidade de proteger os ativos, minimizar danos e garantir a segurança das operações.

Concluindo, os resultados práticos obtidos por meio da geração de cenários no MVP para a otimização da manutenção são altamente valiosos. Essa abordagem permite uma tomada de decisão embasada e direcionada, visando a redução de custos, a maximização da eficiência operacional e a garantia da confiabilidade dos ativos.

Ao aplicar modelos de otimização, como o desenvolvido neste projeto, é possível considerar uma série de variáveis e restrições que afetam a gestão da manutenção de forma holística. Por meio da análise cuidadosa de dados, tais como: custos preventivos; custos corretivos; probabilidades de falha; e projeções de quilometragem, é possível identificar padrões e tendências, bem como encontrar soluções ótimas que equilibrem os custos e a disponibilidade dos ativos.

A geração de cenários possibilita uma visão abrangente das diferentes possibilidades e *trade-offs* envolvidos na gestão da manutenção. Por meio da modelagem de diferentes cenários, é possível testar estratégias alternativas, avaliar seus impactos e selecionar a abordagem mais adequada para cada contexto. Essa análise quantitativa fornece uma base sólida para a tomada de decisões, permitindo que ações de manutenção sejam direcionadas de forma precisa e eficiente.

Os resultados práticos gerados por esses cenários de otimização da manutenção fornecem informações valiosas para a gestão estratégica da frota de vagões. A alocação adequada de recursos, a determinação do momento certo para realizar manutenções preventivas ou corretivas e a identificação de áreas de maior risco e custo são alguns dos benefícios alcançados por meio desses modelos. Essa abordagem contribui para a redução de custos operacionais, a melhoria da confiabilidade dos ativos e o aumento da eficiência global do sistema de manutenção.

Portanto, a geração de cenários para a otimização da manutenção demonstra-se uma ferramenta poderosa e indispensável para a indústria. Ao combinar técnicas avançadas de modelagem, análise de dados e tomada de decisões embasadas, esses modelos possibilitam uma gestão estratégica e eficiente dos recursos de manutenção, garantindo a disponibilidade e a performance dos ativos ao longo do tempo.

Os resultados obtidos por meio desta pesquisa contribuem para o campo de conhecimento, uma vez que evidenciam a importância de uma abordagem estratégica e integrada na gestão de riscos no setor ferroviário. Tais resultados demonstraram que a gestão eficaz de riscos é crucial para garantir a segurança e a eficiência das operações ferroviárias, bem como, fornecer uma base sólida para a compreensão dos desafios enfrentados pelas empresas ferroviárias, como a Rumo, no que diz respeito à gestão de riscos e ao desempenho operacional. O modelo analítico proposto permitiu identificar os principais riscos operacionais, avaliar sua probabilidade de ocorrência e os impactos operacionais e financeiros associados, como também, identificar a necessidade de um equilíbrio adequado entre os custos de manutenção e os riscos operacionais, a fim de garantir uma operação segura, eficiente e confiável.

A relevância deste estudo reside na importância estratégica do setor ferroviário de cargas e na necessidade de uma abordagem eficaz para gerenciar os riscos operacionais. Por meio do equilíbrio adequado entre os custos de manutenção e os riscos operacionais, é possível garantir uma operação segura, eficiente e confiável, minimizando acidentes, avarias em equipamentos e interrupções operacionais que possam afetar tanto a economia quanto a segurança pública.

Durante a realização deste trabalho, algumas limitações foram identificadas. A complexidade e extensão das operações ferroviárias, juntamente com a falta de dados históricos detalhados, dificultaram a obtenção de uma visão abrangente dos riscos e dos custos de manutenção. Além disso, a aplicação prática do modelo analítico proposto exigirá uma colaboração estreita entre as empresas do setor ferroviário e os

pesquisadores, a fim de coletar e analisar dados relevantes para uma tomada de decisão efetiva.

Em relação a pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos mais aprofundados para quantificar os custos associados ao *backlog* de falhas e aos riscos operacionais, levando em consideração diferentes cenários e contextos específicos de empresas ferroviárias. Além disso, é importante explorar ainda mais a aplicação de técnicas de análise de risco, como análise de árvores de falhas e análise de impacto de falhas, para aprimorar a compreensão dos riscos e a eficácia das estratégias de mitigação.

Em síntese, este trabalho de pesquisa contribuiu para a compreensão do *trade-off* entre os custos de gestão de riscos e o desempenho operacional no transporte ferroviário de cargas. O modelo analítico proposto oferece uma abordagem sistemática para avaliar os riscos e tomar decisões sobre investimentos em manutenção e mitigação de riscos. Por meio deste, fica evidente a importância de uma gestão eficaz de riscos para garantir a segurança, a eficiência e a sustentabilidade do setor ferroviário de cargas. Desenvolver este trabalho proporcionou um aprendizado valioso sobre a importância da pesquisa e da aplicação prática de conhecimentos teóricos em um contexto real, contribuindo para a formação acadêmica e profissional.

Em última análise, este trabalho reforçou a convicção de que o gerenciamento de riscos eficaz é crucial para garantir a segurança e o sucesso operacional no setor ferroviário de cargas. Espera-se que as contribuições deste estudo possam ser utilizadas pelas empresas do setor, pesquisadores e profissionais envolvidos no gerenciamento de riscos para aprimorar as práticas existentes e promover uma operação ferroviária cada vez mais segura e eficiente.

REFERÊNCIAS

49 CFR Part 215 – Federal Railroad Administration, Department of Transportation; Dec. 31, 1979, unless otherwise noted. Acessado em <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-II/part-215>

ABNT (1994). Nbr 5462 - conabilidade e manutenibilidade. Norma, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT (2012). NBR ISSO/IEC 31010 – Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos. Norma, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 16441, Vagão tanque ferroviário – requisito de projeto; 2022

ABNT NBR 16947, Vagão ferroviário – Teste de freio em oficina de manutenção; 2021

ABNT NBR 17035, Vagão ferroviário - Definição de cargas para projeto; 2022

ABNT NBR ISO 31000:2009, Gestão de riscos – Princípios e diretrizes; Almeida, L. (2018). Metodologia de pesquisa: Uma abordagem qualitativa, quantitativa e mista. São Paulo: Atlas.

ANPTRILHOS, Agência Nacional dos transportadores de passageiros sobre trilhos; <https://anptrilhos.org.br/>; 2023

ANTF, Associação nacional dos transportadores ferroviários, acessado em <https://www.antf.org.br/>; 2023

ARAÚJO, Carlos Henrique Silva de. Setor ferroviário (Brasil). Janeiro/2008. Disponível em: < <http://br.monografias.com/trabalhos3/setorferroviariobrasil/setorferroviariobrasil.shtml> > Acesso em 18 jan. 2015

CAMARDO, R, F de; Estudo de viabilidade econômica e financeira de projetos: como a análise de viabilidade econômica e financeira contribui para manter as surpresas longe de seu negócio. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/estudo-de-viabilidade-economica-e-financeira-de-projetos/>. Acessado em 23 de dez. 2022

CAMARGO, Renata F. de; Taxa Interna de Retorno: Como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto? Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>. Acesso em 08 de jan. 2023

CASTRO, BRUNA; Qual o papel da TI na análise de viabilidade de projetos. Disponível em: <https://blog.zeev.it/qual-o-papel-da-ti-na-analise-de-viabilidade-de-projetos/>. Acesso em: 22 de dez. 2022

CASTRO, N.; LAMY, P. A Reforma e a Modernização do Setor de Transporte Ferroviário de Carga, 1994

CNT, Confederação Nacional do transporte; Pesquisa CNT de Ferrovias 2015; Brasília; 2015.

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO); Gerenciamento de Riscos na Empresa – Estrutura Integrada: Sumário Executivo e Estrutura e Gerenciamento de Riscos na Empresa; Ed brasileira; 2007

COUTINHO, Thiago; Veja como analisar seus rendimentos com a Taxa Interna de Retorno. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/taxa-interna-de-retorno>. Acesso em 08 de jan. 2023

COUTINHO, Thiago; Veja como analisar seus rendimentos com a Taxa Interna de Retorno. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/taxa-interna-de-retorno>. Acesso em 08 de jan. 2023

EN 12663 – Dim Standards - Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies - Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons); 2015

EPL, Empresa de Planejamento e Logística S.A., OBL, Observatório Nacional de Transporte e Logística; Boletim de Logística a retomada dos investimentos ferroviários para aumentar a eficiência da matriz de transportes; Brasília; 2021

ESCOLA, Equipe Brasil. "Transporte ferroviário no Brasil"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/transporte-ferroviario-brasileiro.htm>. Acesso em 15 de fevereiro de 2023

ESPÓSITO, Caroline; Payback descontado: o que é e como calcular?. Disponível em: <https://yubb.com.br/artigos/acoes/payback-descontado-o-que-e-e-como-calcul>. Acesso em 08 de jan. 2023

FDC, Fundação Dom Cabral; Pesquisa custos logísticos no Brasil; Núcleo de Logística, Supply Chain e Infraestrutura; 2017

FERNANDES, M. M. et al.; Processo de Análise de Viabilidade Financeira sob Condições de Risco: Um Estudo de Caso sobre a Compra de Participação em uma Distribuidora de Componentes do Setor Automotivo. Disponível em: <https://congressosp.fipecafi.org/anais/22UspInternational/ArtigosDownload/3984.pdf>. Acesso em 08 de jan. 2023

FREIRE, A. (2008). Metodologia da Pesquisa Científica. Porto Alegre: Editora Bookman.

FURMANN, J; Desenvolvimento de um modelo para a melhoria do processo de manutenção mediante a análise de desempenho de equipamentos; 2002; Programa de pós-graduação em engenharia de produção; Universidade Federal de Santa Catarina

Gestão Estratégica de manutenção: melhores práticas; acessado em <https://www.iliot.tech/gestao-estrategica-de-manutencao-melhores-praticas/>

GIL, Antonio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GITMAN, Lawrence; Princípios de Administração financeira; 12ª Ed ;2010

GONÇALVES, A. L., Carvalho, L. L., & Silva, T. A. (2015). Metodologia da pesquisa: Uma abordagem crítica. São Paulo: Pearson.

HUNGRIA, Luiz Henrique (2017) Segurança Operacional de Trens de Carga. EUA: <https://www.aar.org/news/rail-traffic-for-december-and-the-week-ending-january-1-2022/> Rússia: <https://seanews.ru/en/2022/01/20/en-russian-railways-carry-1-3-bn-tons-in-2021/>

International Monetary Fund. World Economic Outlook: Countering the Cost-of-Living Crisis. Disponível em: <https://www.imf.org/pt/Publications/WEO/Issues/2022/10/11/world-economic-outlook-october-2022>. Acesso em: 20 de dez. 2022

KANTINSKY, J. R. Tecnologia e Industrialização. In: Ferrovias Nacionais, São Paulo: UNESP, 1994.

KARDEC, A. & Nascif, J. (2012). Manutenção - Função Estratégica. São Paulo, fourth edição

KARDEC, A.; NASCIF, J., Manutenção Função Estratégica. 3 eds. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.

KOVACKS, Leandro; O que é TIR? [Taxa Interna de Retorno]. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>. Acesso em 08 de jan. 2023

La Torre, J. P. G. de; Análise de Projetos. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=20521>. Acesso em 08 de jan. 2023

LIMA, F. R. S. de; Viabilidade econômica e financeira de projetos. Disponível em: http://www2.ugb.edu.br/Arquivossite/Editora/pdfdoc/E-BOOK-VIABILIDADE_ECONOMICA.pdf. Acesso em 08 de jan. 2023

MADUREIRA, O, M de; A viabilidade técnica de projetos. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/viabilidade-t%C3%A9cnica-de-projetos-omar-moore-de-madureira/?originalSubdomain=pt>. Acesso em 22 de dez. 2022

MARTINS, JULIA; Como utilizar um estudo de viabilidade na gestão do projeto. Disponível em: <https://asana.com/pt/resources/feasibility-study>. Acesso em: 22 de dez. 2022

MORAIS, A. (2014). Metodologia de pesquisa em ciências sociais. São Paulo: Pearson.

NETO, Ricardo Maroni; Análise de investimentos econômicos e financeiros;2023; acessado em <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/206000/epub/0?code=LiDpFt3uJA23O9OIUYzKJO8QOFoq5aRM/X7RcjfULxIs4Y8FI7g4hBI+Dt9Gu46OgQsJhpJsskRBTewjQbtmJQ==>

OLIVEIRA, Breno; Análise multicritério dos custos e riscos associados a manutenção de vagões; UFMG ;2020

R. Lagnebäck. Evaluation of wayside condition monitoring technologies for conditionbased maintenance of railway vehicles. PhD thesis, Luleå tekniska universitet, 2007.

RAMOS, C. (2011). Metodologia Descritiva: Uma abordagem para o estudo de fenômenos. Revista Estudos em Estado e Sociedade, 4(2).

REIS, Tiago; Payback descontado: saiba como funciona esse indicador de retorno. Disponível em: <https://www.sunno.com.br/artigos/payback-descontado/>. Acesso em 08 de jan. 2023

REIS, Tiago; Payback: entenda como calcular o prazo de retorno de um investimento. Disponível em: <https://www.sunno.com.br/artigos/payback/>. Acesso em 08 de jan. 2023

REIS, Tiago; Porque fazer a análise de viabilidade de um negócio é tão importante. Disponível em: <https://www.sunno.com.br/artigos/analise-de-viabilidade/>. Acesso em 23 de dez. 2022

REIS, Tiago; Valor presente líquido: entenda como calcular e usar o VPL. Disponível em: <https://www.sunno.com.br/artigos/valor-presente-liquido/>. Acesso em 08 de jan. 2023

Rumo SA, Relatório de Sustentabilidade 2022 https://rumolog.com/wp-content/uploads/2023/03/230331_Rumo_RS22-PT_VF3.pdf

SIEMENTKOWSKI, N. F. (2016). Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.

SILVA, Márcia Regina da Silva. Metodologia Científica: Fundamentos e Prática. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2016.

SÍLVIO dos Santos. Transporte ferroviário: história e técnicas. Cengage Learning;2011

SOARES, S. (2009). Metodologia da Pesquisa Científica. São Paulo: Editora Atlas. TAVARES, L.; CALIXTO, M.; POYDO, P.; Manutenção centrada no negócio,2005

TELES, LUCAS; Estudo de viabilidade: O que é e como fazer. Disponível em: <https://criarh.com.br/estudo-de-viabilidade/>. Acesso em 22 de dez. 2022

UCJ; Análise de viabilidade de projetos: saiba como elaborá-lo e aplicá-lo no seu negócio!. Disponível em: <https://ucj.com.br/blog/analise-de-viabilidade-de-projetos/>. Acesso em 22 de dez. 2022

UIC 571-4 – Union Internationale des Chemins de Fer - STANDARD WAGONS - WAGONS FOR COMBINED TRANSPORT – CHARACTERISTICS;2013
Viana, R; Planejamento e controle da manutenção, 2002

Y. Ouyang, X. Li, C.P.L Barkan, A. Kawprasert, and Y.C. Lai. Optimal locations of railroad wayside defect detection installations. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24(5):309–319, 2009.



Para ser relevante.

atendimento@fdc.org.br
0800 941 9200
www.fdc.org.br

