

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA E METROVIÁRIA

THIAGO DE LIMA GONTARSKI

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA GERADORA DE ALTERNATIVAS
AO PROJETO DE VAGÕES, BASEADA NA MATRIZ MORFOLÓGICA

Joinville

2018

THIAGO DE LIMA GONTARSKI

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA GERADORA DE ALTERNATIVAS
AO PROJETO DE VAGÕES, BASEADA NA MATRIZ MORFOLÓGICA

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Ferroviária e Metroviária do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Régis Kovacs Scalice.

Joinville

2018

THIAGO DE LIMA GONTARSKI

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA GERADORA DE ALTERNATIVAS
AO PROJETO DE VAGÕES, BASEADA NA MATRIZ MORFOLÓGICA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ferroviária e Metroviária, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

Dr. Régis Kovacs Scalice
Orientador
Presidente

Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Marcus Vinicius Volponi Morteau
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha avó.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força pra superar minhas dificuldades.

À minha namorada Aline, por ser exemplo de dedicação, sempre estar ao meu lado me dando força, carinho, apoio, me motivando a crescer e me superar.

Ao meu orientador, Dr. Régis Kovacs Scalice, pela ajuda na escolha do tema, transmitir seus conhecimentos, pelas dicas e correções. Suas contribuições foram fundamentais.

Ao meu avô, minhas avós, mãe, pai, irmão e toda à minha família, que sempre acreditaram em mim, pelo suporte prestado para que eu pudesse me dedicar exclusivamente ao curso e por entenderem o tempo que fiquei longe de casa.

Agradeço a todos os amigos de Joinville, principalmente aos companheiros de república, por toda a parceria durante esse tempo.

Agradeço a todo o pessoal do Zika, pelos momentos de descontração e alegria. Amizades que vou levar pra vida toda.

Por fim, a todos os professores que tive durante a graduação, são responsáveis pelo conhecimento intelectual que adquiri.

RESUMO

O desenvolvimento de um produto compreende etapas multidisciplinares que envolvem a percepção de oportunidades de mercado, levantamento de informações, geração da concepção, detalhamento do produto, e termina com produção, venda e até mesmo a entrega. Dado o potencial de crescimento do setor ferroviário, a elaboração deste trabalho de conclusão de curso propõe o desenvolvimento de uma ferramenta para a geração de alternativas ao projeto de vagões. A elaboração da ferramenta que compreende etapas do projeto conceitual, iniciou pela modelagem funcional voltada ao transporte de cargas pelo modal ferroviário, então foram gerados princípios de solução para as funções os quais foram organizados pela matriz morfológica. A fim de facilitar a geração de alternativas foi criada uma planilha no Microsoft Excel para filtrar os princípios de solução. Com vistas à avaliação da ferramenta, foi empregue um estudo de caso no qual a ferramenta mostrou-se eficiente.

Palavras-chave: Matriz morfológica. Modelagem funcional. Projeto conceitual. Modal Ferroviário.

ABSTRACT

The product development comprises multidisciplinary steps involving the perception of market share, information gathering, conception generation, product detailing and it ends with production, sale and even delivery. Given the growth potential of the railway sector, the formulation of this graduation final project proposes the development of alternative generation tool to wagon design. For elaboration of the tool, a functional approach was carried out regarding the cargo transportation by the railway modal. Then, the solution principles had been generated for the functions which were organized by the morphological matrix. In order to facilitate the alternative generation a spreadsheet was created in Microsoft Excel to filter out the solution principles. In order to evaluate the tool, a case study had been used in which the tool showed up to be efficient.

Keywords: Morphological matrix. Functional approach. Conceptual design. Railway modal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas para o desenvolvimento da ferramenta	16
Figura 2- Modelos de PDP em engenharia de produção	18
Figura 3 - 5 passos do método de geração de conceito	20
Figura 4 - Esquema da modelagem funcional	22
Figura 5 – Tarefa ou função descritível em função de entrada ou saída	23
Figura 6 - Desdobramento da função global em subfunções	24
Figura 7 - Análise morfológica para uma cadeira giratória.....	25
Figura 8 - Estrutura geral da matriz ordenadora.....	26
Figura 9 - Caixa de um vagão ferroviário.....	27
Figura 10 - Testeira do estrado	28
Figura 11 - Viga do estrado	28
Figura 12 - Assoalho do vagão ferroviário.....	28
Figura 13 - Truque ferroviário, vista explodida	29
Figura 14 - Aparelho de choque e tração.....	29
Figura 15 - Sistema de freio dos vagões.....	30
Figura 16 - Sistema de freio pneumático.....	30
Figura 17 - Sistema mecânico de freio	31
Figura 18 - Função global.....	32
Figura 19 - Desenvolvimento da estrutura de funções para o transporte de cargas	33
Figura 20 - Planilha filtro de alternativa, lista de restrições.....	73
Figura 21 - Princípios de solução funções 1 a 4.....	74
Figura 22 - Princípios de solução funções 5 e 6.....	74
Figura 23 - Princípios de solução funções 7 e 8.....	74
Figura 24 - Princípios de solução funções 9.1 a 9.3.....	75
Figura 25 - Princípios de solução funções 9.4 a 9.6.....	75
Figura 26 - Princípios de solução funções 9.7 e 9.8.....	75
Figura 27 - Princípios de solução funções 9.9 e 10.1.1.....	76
Figura 28 - Princípios de solução funções 10.1.2, 10.2 e 10.3.....	76
Figura 29 - Princípios de solução funções 10.4 e 10.5.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Princípios de solução propostos à função armazenar carga	34
Quadro 2 - Princípios de solução propostos à função conectar composição e resistir tração ..	37
Quadro 3 - Princípios de solução propostos à função amortecer choques	38
Quadro 4 - Princípios de solução propostos à função resistir e transmitir esforços	39
Quadro 5 - Princípios de solução propostos à função fornecer estabilidade	39
Quadro 6 - Princípios de solução propostos à função prover sustentação e movimento	40
Quadro 7 - Princípios de solução propostos a função prevenir descarrilamento.....	43
Quadro 8 - Princípios de solução propostos a função armazenar ar comprimido	44
Quadro 9 - Princípios de solução propostos a função transmitir ar comprimido entre vagões	45
Quadro 10 - Princípios de solução propostos a função transmitir ar comprimido no vagão....	45
Quadro 11 - Princípios de solução propostos a função filtrar impurezas.....	46
Quadro 12 - Princípios de solução propostos a função isolar o sistema	47
Quadro 13 - Princípios de solução propostos a função conectar componentes.....	47
Quadro 14 - Princípios de solução propostos a função evacuar ar comprimido	48
Quadro 15 - Princípios de solução propostos à função conduzir e servir ar comprimido.....	49
Quadro 16 - Princípios de solução propostos a função controlar tempo de descarga	51
Quadro 17 - Princípios de solução propostos a função acionar o sistema mecânico de freio ..	51
Quadro 18 - Princípios de solução propostos à função transmitir força.....	53
Quadro 19 - Princípios de solução para a função adaptar imprecisões do sistema	54
Quadro 20 - Princípios de solução propostos a função controlar frenagem.....	55
Quadro 21- Princípios de solução propostos a função frear mecanicamente (frenagem direta)	56
Quadro 22 - Princípios de solução propostos à função transmitir força de frenagem para a roda	57
Quadro 23 - Lista de parâmetros	58
Quadro 24 - Exemplo da matriz morfológica com dados filtrados para a função 1, 2 e 3	59
Quadro 25 - Lista de parâmetros e alternativas para seleção	60
Quadro 26 - Lista de parâmetros do estudo de caso	64
Quadro 27 - Princípios de solução para o estudo de caso	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFER – Associação Brasileira da Indústria Ferroviária

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALL – América Latina Logística

ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestre

NBR – Norma Brasileira

PDP – Processo de desenvolvimento de produto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 METODOLOGIA.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	17
2.2 PROJETO CONCEITUAL	18
2.3 GERAÇÃO DE CONCEITO DO PRODUTO.....	19
2.4 MODELAGEM FUNCIONAL	21
2.5 BUSCA DA SOLUÇÃO	24
2.6 MATRIZ MORFOLÓGICA	25
2.7 VAGÕES.....	27
3 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA.....	32
3.1 MODELAGEM FUNCIONAL	32
3.2 ARMAZENAR CARGA.....	34
3.3 CONECTAR COMPOSIÇÃO E RESISTIR TRAÇÃO	36
3.4 AMORTECER CHOQUES.....	37
3.5 RESISTIR E TRANSMITIR ESFORÇOS.....	38
3.6 FORNECER ESTABILIDADE	39
3.7 PROVER SUSTENTAÇÃO E MOVIMENTO	40
3.8 PREVENIR DESCARRILAMENTO	42
3.9 ARMAZENAR AR COMPRIMIDO	43
3.10 INICIAR FRENAGEM.....	44
3.10.1 Transmitir ar comprimido entre vagões	44
3.10.2 Transmitir ar comprimido no vagão	45
3.10.3 Filtrar impurezas.....	46
3.10.4 Isolar o sistema	46
3.10.5 Conectar componentes	47
3.10.6 Evacuar o ar comprimido	48
3.10.7 Conduzir e servir ar comprimido	48
3.10.8 Controlar tempo de descarga dos vagões	50
3.10.9 Acionar o sistema mecânico de freio.....	51

3.11 FREAM	52
3.11.1 Transmitir força	53
3.11.2 Adaptar imprecisões do sistema	53
3.11.3 Controlar frenagem	54
3.11.4 Fream mecanicamente (frenagem direta)	55
3.11.5 Transmitir força de frenagem para a roda	56
4 GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS	58
4.1 ORIENTAÇÕES DE USO	59
5 APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
6 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICE A – CAPTURA DE TELA DA PLANILHA	73

1 INTRODUÇÃO

A finalidade básica de um vagão ferroviário é suportar e acondicionar mercadorias ao longo de determinado trajeto. No início da utilização das ferrovias para o transporte de carga, existia apenas um tipo de vagão para todas as variedades de carregamentos. Do mesmo modo com que as locomotivas evoluíram, os vagões acompanharam este desenvolvimento. Desta forma, nos dias de hoje existem diversos tipos de vagões, cada um com a sua aplicação específica (SILVA, 2012).

Segundo dados da Revista Ferroviária (FROTA NACIONAL cresce 6,2% e chega a 83.733 vagões, 2006), no ano de 2006 a frota de vagões nacional era 83733 unidades, com crescimento cerca de 6,2% em relação a 2005. Contudo apesar do aumento da frota de vagões, o Brasil ainda está muito aquém dos Estados Unidos em relação ao número de vagões por quilômetro de malha férrea, são 6000 vagões para cada 1000 quilômetros para os americanos e 3250 vagões para cada 1000 quilômetros para os brasileiros. Conforme estatísticas da Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (ABIFER, 2015), em 2015 o Brasil alcançou a marca de mais de 110 mil vagões dos quais cerca de 40 mil têm mais de 40 anos. Com isto, nota-se o crescimento da operação ferroviária no Brasil.

Segundo Chrispim (2007), a grande vantagem do modal ferroviário são seus custos variáveis baixos (manutenção, combustível, entre outros) em relação aos outros meios de transporte. Porém devido aos baixos investimentos no setor ferroviário e a concentração de investimentos nas rodovias, tornam o Brasil o único país com dimensões continentais que possui o transporte rodoviário como o principal meio de distribuição de cargas. Por outro lado, existe a perspectiva de crescimento devido a eficiência de transporte que o setor oferece.

Por meio do aumento da demanda do transporte ferroviário e de suas futuras perspectivas de mercado, percebe-se a necessidade de expansão das vias férreas e ao mesmo tempo ampliação da quantidade de material rodante no país, fatores que geram oportunidades para novos projetos na indústria ferroviária. “Desenvolver produtos ou novos produtos é a razão de sucesso para se estabelecer ou se manter de forma competitiva no mercado” (MATTIODA et al., 2012).

Segundo Romeiro Filho et al. (2010), o desenvolvimento do produto engloba desde a percepção da oportunidade, onde a organização converte as necessidades e requisitos dos clientes em informação, e termina com a produção, venda e entrega do produto. Portanto, identificando o potencial de expansão do setor ferroviário, compreende-se a viabilidade para inovação na concepção de novos projetos.

“Uma parcela significativa do sucesso econômico das empresas está associada às habilidades delas em identificar as necessidades dos clientes e rapidamente criar produtos que atendam a essas necessidades e que possam ser produzidos a um custo relativamente baixo” (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Deste modo, percebe-se que o processo de desenvolvimento de produto (PDP) é de fundamental importância dentro de uma empresa. Segundo Pahl e Beitz (1996) apud Romeiro Filho et al. (2010) o PDP pode ser dividido em quatro etapas, são elas: especificação do projeto; projeto conceitual; projeto preliminar e projeto detalhado.

Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao projeto de vagões a qual tem por finalidade a geração de alternativas de projeto para o transporte de determinada carga. De acordo com as etapas do PDP a ferramenta em questão está contida na fase de projeto conceitual. Uma das etapas iniciais do projeto conceitual é a modelagem funcional, desta forma o início do desenvolvimento da ferramenta é modelar o sistema de transporte de cargas a partir de suas funcionalidades.

Fundamentalmente a modelagem funcional busca dividir funções complexas em funções mais simples, esse processo é realizado continuamente até o momento em que as funções se tornem tão simples que possam ser implementadas e testadas facilmente (DEBONI, 2003).

O projeto conceitual é destinado ao desenvolvimento da concepção do produto, à descrição das características e à geração de soluções alternativas que respeitem as especificações definidas pelo cliente. A geração de concepções do produto pode ser realizada por métodos intuitivos (o mais comum é o Brainstorming) e por métodos sistemáticos, sendo um exemplo deste último o método da matriz morfológica. Os modelos sistemáticos buscam seguir uma sequência lógica de atividades a fim de encontrar soluções alternativas para um problema delimitado (BACK et al., 2008). Logo, após a modelagem funcional, será desenvolvida uma matriz morfológica.

Segundo Back et al. (2008), a matriz morfológica procura formar soluções criativas e inovadoras a partir de novas combinações de funções, objetos, processos ou ideias já existentes.

De acordo com Pahl et al. (2005) o uso de matrizes morfológicas (também chamadas de matrizes ordenadoras) origina um enorme campo de soluções, logo, é recomendado um método de seleção sistemático e verificável que facilite a escolha de uma solução promissora.

Portanto após o desenvolvimento da matriz morfológica, será construído uma planilha no Microsoft Excel com o intuito de filtrar os princípios de solução de acordo com restrições pré-selecionadas.

A etapa final consiste em um estudo de caso com o emprego da planilha geradora de alternativas em um exemplo de transporte de commodities agrícolas em uma das linhas da Malha Sul.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma ferramenta para apoio ao projeto de vagões, baseada na matriz morfológica com a finalidade de identificação e geração de alternativas.

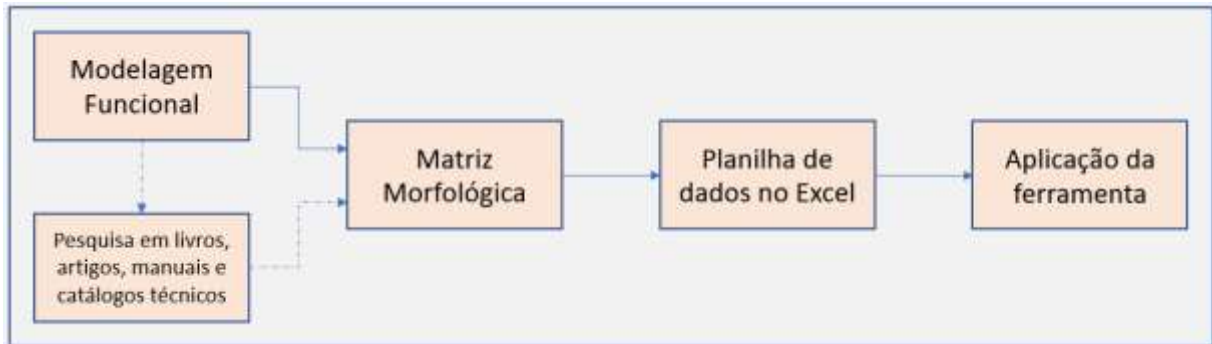
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever uma modelagem funcional ao transporte de cargas;
- Comparar informações de materiais rodantes existentes em artigos, manuais e catálogos técnicos;
- Propor soluções para as funções da modelagem funcional;
- Organizar os princípios de solução através do emprego da matriz morfológica;
- Compor uma planilha no Microsoft Excel para filtrar as alternativas e servir como banco de dados;
- Avaliar a ferramenta com uma aplicação prática.

1.3 METODOLOGIA

Em relação ao desenvolvimento da ferramenta geradora de alternativas ao projeto de vagões, este trabalho demandou as seguintes etapas para a sua realização, vide Figura 1.

Figura 1 - Etapas para o desenvolvimento da ferramenta



Fonte: O Autor (2018)

Deste modo, o presente trabalho, está estruturado em seis capítulos, o primeiro capítulo apresenta uma introdução a qual aborda o panorama da frota nacional de vagões, temática do trabalho, justificativa e objetivos. O segundo capítulo é o referencial teórico, o qual trata conceitos do processo de desenvolvimento de produtos, projeto conceitual, etapas para gerar o conceito do produto, modelagem funcional e matrizes ordenadoras. No terceiro capítulo é realizada o desenvolvimento da proposta, onde é aplicado a modelagem funcional adequado ao transporte de cargas e desenvolvida a matriz ordenadora contendo os princípios de solução para as funções obtidas na modelagem funcional. Então, no quarto capítulo, é proposto o desenvolvimento de uma planilha no Microsoft Excel para filtrar os itens da matriz ordenadora. Em seguida, no quinto capítulo a ferramenta é avaliada com um exemplo de aplicação prática e os resultados são discutidos. Finalmente, o sexto capítulo contém as conclusões e propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

“Para reduzir o grau de incertezas e assegurar que as decisões são as mais assertivas dentro de um contexto é que se investe no desenvolvimento de produtos” (MATTIODA et al., 2012).

É apresentado no PMBOK (2004) citado por Romeiro Filho et al. (2010) que projeto é um esforço temporário com início definido e objetivos estipulados com intuito de produzir um produto. Para alcançar esses objetivos estipulados, são adotados procedimentos planejados junto a indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos, essa é a definição que Pahl et al. (2005) denota para metodologia de projeto.

“Uma parcela significativa do sucesso econômico das empresas está associada às habilidades delas em identificar as necessidades dos clientes e rapidamente criar produtos que atendam a essas necessidades e que possam ser produzidos a um custo relativamente baixo” (ROMEIRO FILHO et al., 2010). Deste modo, conforme Ulrich e Eppinger (2000) citados por Romeiro Filho et al. (2010), para alcançar essa meta o problema não deve ser tratado apenas pelo marketing, compete também, ao processo de desenvolvimento do produto.

“Um processo de desenvolvimento de produto é a sequência de etapas ou atividades que uma empresa emprega para conceber, projetar e comercializar um produto” (ULRICH; EPPINGER, 2012). Assim, Romeiro Filho et al. (2010) expõe na Figura 2 os modelos de processo de desenvolvimento de produto, de acordo com diferentes autores, para a de engenharia de produção.

Figura 2- Modelos de PDP em engenharia de produção

(Rozenburg & Eeckles, 1995)	(Pahl & Beitz, 1996)	(Kaminski, 2000)	(Nan Sun, 1990)
Análise do Problema	Especificação do Projeto	Especificação Técnica da Necessidade	Necessidade Social
Síntese das Soluções	Projeto Conceitual	Estudo de Viabilidade	Requerimentos Funcionais
Simulação das Soluções	Projeto Preliminar	Projeto Básico	Atributos de Produto
Avaliação do Projeto	Projeto Detalhado	Projeto Executivo	Protótipo
		Planejamento da Produção	Produto
		Execução	

Fonte: Romeiro Filho et al. (2010)

Seguindo o modelo proposto por Pahl e Beitz, vide Figura 1, o presente trabalho está situado na fase do projeto conceitual.

2.2 PROJETO CONCEITUAL

“O projeto conceitual é visto como a mais importante fase do processo de projeto, pois decisões ali tomadas terão grande influência nas fases seguintes do processo de projeto” (FERREIRA, 1997).

Basicamente, as atividades de busca, criação, representação e seleção de soluções para um dado problema de projeto, contemplam a fase do projeto conceitual (ROZENFELD et al., 2006).

Deste modo, as atividades do projeto conceitual são devidamente descritas por Rozenfeld et al. (2006):

A busca por soluções já existentes pode ser feita pela observação de produtos concorrentes ou similares descritos em livros, artigos, catálogos e bases de dados de patentes, ou até mesmo por benchmarking. O processo de criação de soluções é livre de restrições, porém direcionado pelas necessidades, requisitos e especificações de projeto do produto, e auxiliado por métodos de criatividade. A representação das soluções pode ser feita por meio de esquemas, croquis e desenhos que podem ser manuais ou computacionais, e é muitas vezes realizada em conjunto com a criação.

A seleção de soluções é feita com base em métodos apropriados que se apoiam nas necessidades ou requisitos previamente definidos (ROZENFELD et al., 2006).

A princípio, na fase de projeto conceitual, busca-se modelar funcionalmente o produto e descrevê-lo de forma abstrata, de forma independente de seus princípios físicos. Tendo definido a estrutura de funções, princípios de soluções são propostos para satisfazer cada uma das funções. Consequentemente, as soluções são combinadas gerando assim alternativas de solução, que então devem ser avaliadas por um processo de seleção, proporcionando então a melhor concepção para um dado problema técnico (ROZENFELD et al., 2006).

Conforme Back et al. (2008), existem cinco etapas na busca pelas soluções, são elas: formular o problema ou função global; estabelecer o fluxo de funções do problema; procurar ou criar princípios de solução alternativos para cada função da estrutura; associar um princípio de solução de cada função da estrutura para formar concepções alternativas para a função global; selecionar as concepções viáveis.

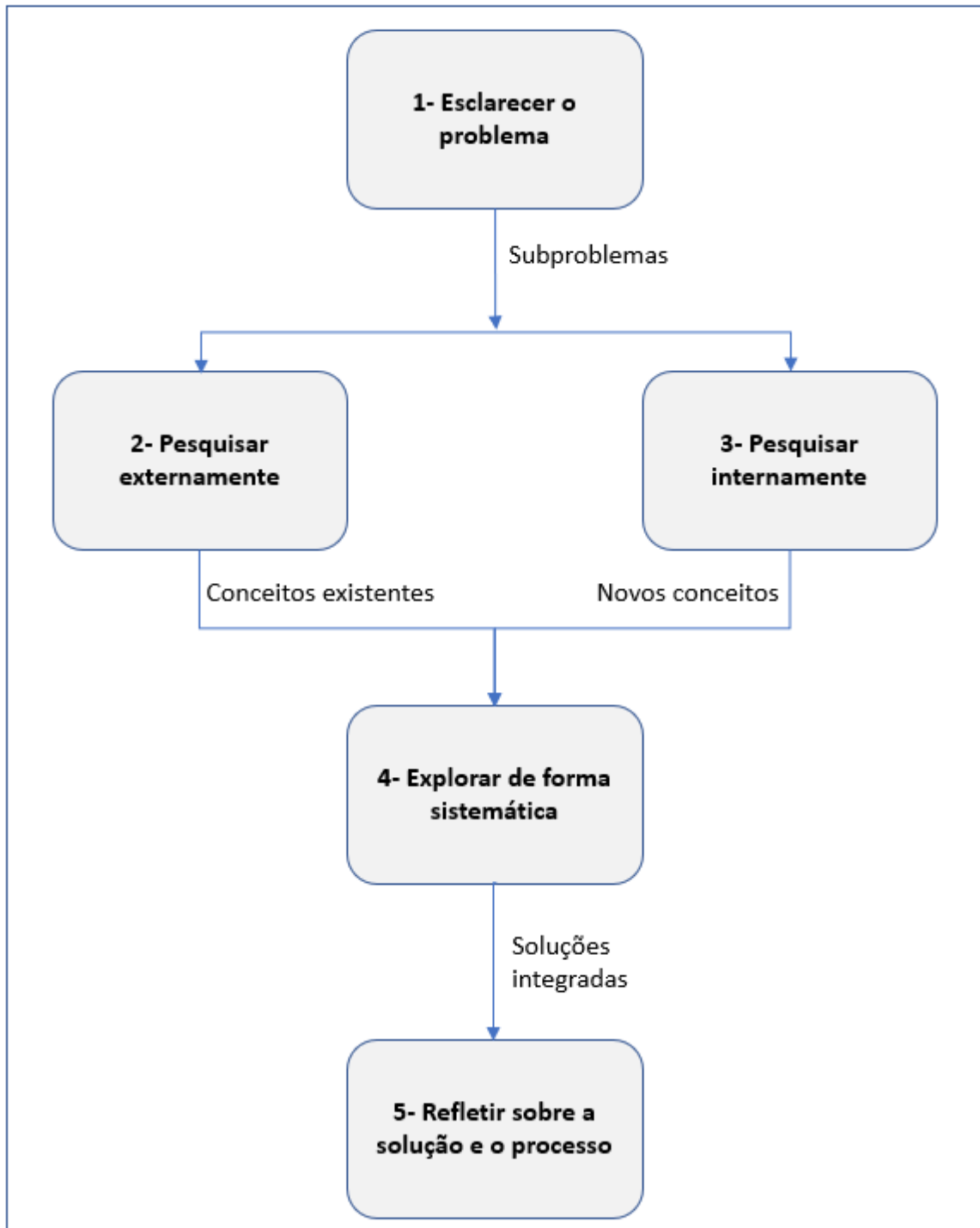
Portando, entendendo o sequenciamento de atividades proposto tanto por Rozenfeld et al. (2006) quanto por Back et al. (2008), a primeira etapa dentro da fase de projeto conceitual é a modelagem funcional.

2.3 GERAÇÃO DE CONCEITO DO PRODUTO

Na fase inicial da geração da concepção do produto, muitas vezes o conceito pode ser expresso como um esboço ou modelo 3D seguido de uma descrição textual. Porém, o conceito do produto deve ter uma abordagem concisa de como o produto irá satisfazer as necessidades do cliente (ULRICH; EPPINGER, 2012).

É proposto por Ulrich e Eppinger (2012) um método de cinco etapas para a geração do conceito do produto o qual é descrito na Figura 3.

Figura 3 - 5 passos do método de geração de conceito



Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2012)

Conforme Ulrich e Eppinger (2012) as 5 etapas do método de geração de conceito do produto são:

- I. Esclarecer o problema: Nesta etapa deve-se focar em entender o problema, desenvolver um entendimento geral, decompor o problema em subproblemas e focar

os esforços nos subproblemas críticos. A abordagem funcional é recomendada nesta etapa.

- II. Pesquisar externamente: É o momento destinado para encontrar soluções existentes aos subproblemas. Recomenda-se entrevistar líderes e especialistas da área, pesquisar em patentes, artigos, documentos técnicos e catálogos e por fim realizar o benchmark de produtos relacionados.
- III. Pesquisar internamente: Pesquisar internamente é utilizar o conhecimento e criatividade da equipe para gerar soluções. É aconselhável o uso de métodos, como por exemplo o brainstorming.
- IV. Explorar de forma sistemática: Geralmente um número expressivo de soluções para os subproblemas são obtidas das etapas 2 e 3, deste modo, essa etapa visa organizar e sintetizar as soluções para os problemas gerando alternativas para a concepção geral do produto. Para isso é prudente o uso de métodos e ferramentas, como por exemplo a árvore de classificação de conceitos e tabelas para a combinação dos conceitos.
- V. Refletir sobre a solução e o processo: Embora seja a última etapa, a reflexão deve estar presente em todo o processo. Nesse momento, deve-se identificar oportunidades de melhoria para as próximas iterações ou projetos futuros.

Segundo Ferreira (1997) “O projeto é predominantemente uma atividade intelectual, um processo sobretudo criativo”. Embora a geração de conceitos seja uma atividade intelectual, de acordo com Ulrich e Eppinger (2012) um método estruturado pode beneficiar as equipes orientando e servindo como mapa para a equipe, principalmente os menos experientes, visando a solução do problema.

2.4 MODELAGEM FUNCIONAL

Conforme exposto anteriormente, a primeira etapa para a geração da concepção do produto é o desenvolvimento da modelagem funcional. Neste momento serão expostos conceitos de diversos autores que convergem para o entendimento da análise funcional.

“Modelagem funcional é o nome dado para a atividade de desenvolver modelos de produtos baseados nas suas funcionalidades, esta atividade está estabelecida em diversas ferramentas de desenvolvimento de produto” (GIORIA, 2016).

A essência da modelagem funcional é dividir funções complexas em funções mais simples, este processo é realizado continuamente até que se obtenham funções tão simples que possam ser implementadas e testadas facilmente (DEBONI, 2003).

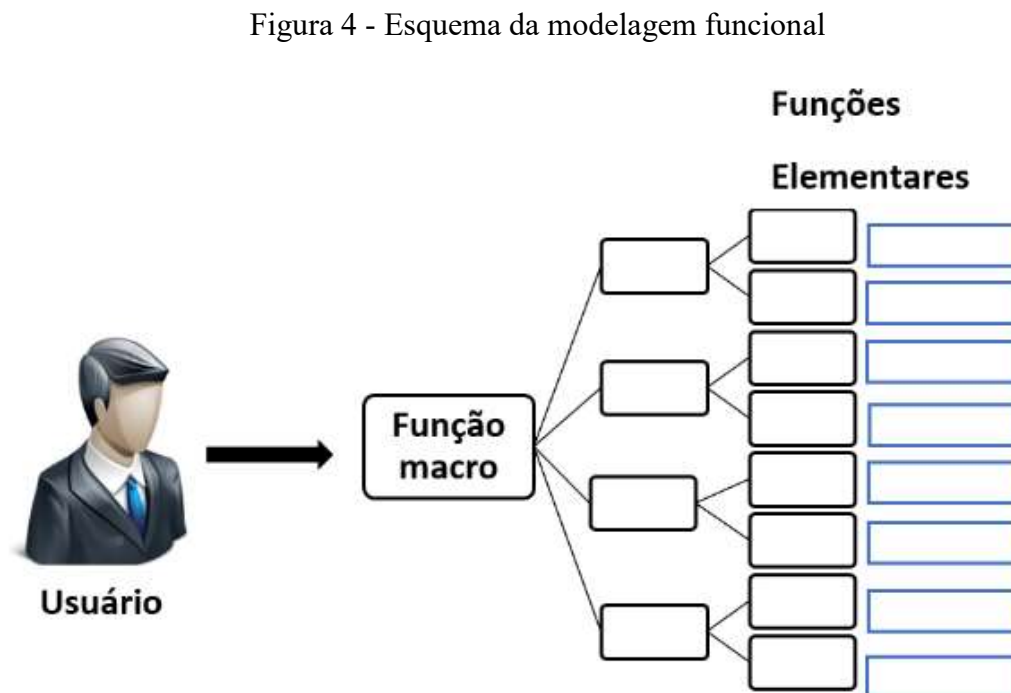
Objetos ou estruturas técnicas podem ser compreendidos como sistemas que estão em contato com a circunvizinhança através de variáveis de entradas (inputs) e saídas (outputs), assim um sistema pode ser desdobrado em subsistemas (HUBKA, 1984 apud PAHL et al., 2005).

Segundo Pahl et al. (2005) para a busca da solução de um problema técnico é necessário que o sistema tenha uma relação inequívoca e reprodutível entre entrada e saída. Deste modo, para reprodução e solução das tarefas de projeto, define-se como função a relação geral e desejada entre a entrada e saída do sistema.

Dentro da visão funcional é realizado a decomposição do sistema em funções as quais se expandem e criam novas funções.

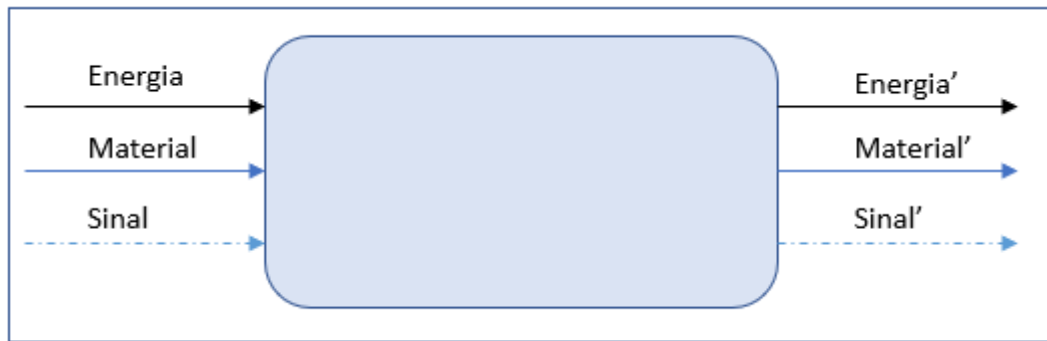
A visão funcional valoriza o fluxo de informação do sistema, buscando responder o que o sistema deve fazer. A ideia, que se traduz em uma análise funcional, é a de definir o sistema como uma grande função, que pode ser quebrada em funções menores, em uma técnica de análise chamada top-down (de cima para baixo). (DEBONI, 2003).

“O termo ‘função’ é quem orienta todo o processo de desenvolvimento. O que o sistema deve fazer conduz o processo de análise e construção” (DEBONI, 2003). Desta forma, cada desdobramento da função principal gera uma função elementar, de modo que o esquema gráfico é de fundamental importância neste tipo de modelagem, pois facilita a visualização do problema, como mostrado na Figura 4:



A Figura 5 apresenta a relação da função com suas entradas e saídas. Assim, o conceito energia está associado ao “tipo”, ou seja, energia mecânica, energia elétrica, entre outros. Já o conceito de material é relacionado com matéria ou matéria-prima e o conceito de sinal é definido na área técnica como o conceito geral de informação (PAHL et al., 2005).

Figura 5 – Tarefa ou função descritível em função de entrada ou saída



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005)

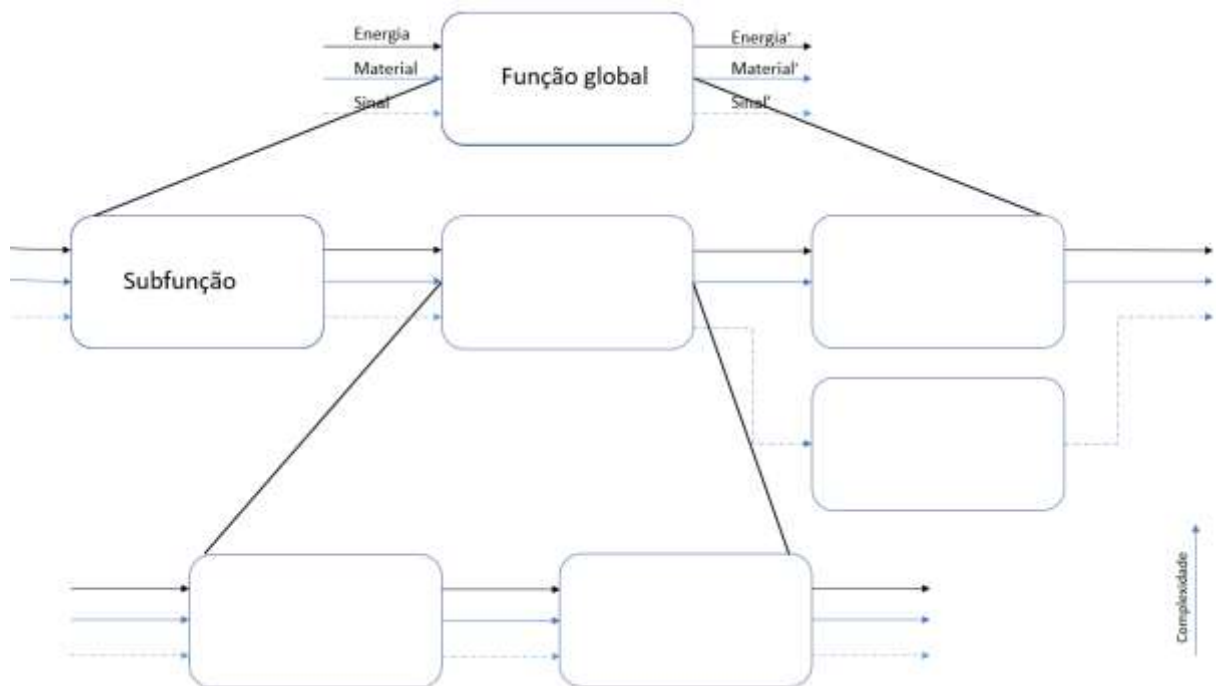
Conforme Pahl et al. (2005) “as funções são descritas por indicações textuais formadas por substantivo e verbo como ‘aumentar pressão’, ‘transferir torque’, ‘reduzir rotação’, e derivadas dos fluxos de conversão de energia, material e sinal específicos da tarefa”.

Para o âmbito da metodologia de projeto, segundo Pahl et al. (2005) o conceito adequado para definir uma função geral é basicamente a relação entre as variáveis de entrada e saída pela variação no tipo, tamanho, quantidade, local e tempo.

Sempre que a tarefa global for suficientemente especificada, ou seja, suas grandezas e características envolvidas são conhecidas, a função global poderá ser determinada. Portanto, a função global estará apta para ser desdobrada em subfunções reconhecíveis, as quais serão representadas como subtarefas dentro da função global (PAHL et al., 2005).

Pode-se observar na Figura 6 o aspecto da função global dividida em subfunções, o nível de complexidade das funções segue o sistema top-down, ou seja, nível superior a função mais complexa e nível inferior a função menos complexa.

Figura 6 - Desdobramento da função global em subfunções



Fonte: Adaptado de PAHL et al. (2005)

O procedimento de desdobramento da função global visa a obtenção de funções mais simples, ou seja, subfunções de menor complexidade que quando interligadas resultam na função global (PAHL et al., 2005).

Com o auxílio da modelagem funcional do sistema técnico, a partir da função global são geradas subfunções. Para cada subfunção do sistema, são associados um efeito físico que as viabilizam, gerando assim um campo de possíveis soluções (PAHL et al., 2005).

2.5 BUSCA DA SOLUÇÃO

No processo de desenvolvimento de produto, geralmente, são utilizados procedimentos metódicos. Desta forma, o engenheiro de produto não depende de uma ideia em uma hora determinada para encontrar uma solução apropriada, mas as soluções são desenvolvidas de forma sistemática com o auxílio de métodos apropriados (PAHL et al., 2005).

É possível ampliar este campo de soluções, uma das formas é a utilização de métodos com ênfase discursiva. “Métodos com ênfase discursiva possibilitam soluções por meio de um procedimento consciente por etapas. As etapas de trabalho são influenciáveis e comunicáveis” (PAHL et al., 2005).

De acordo com Pahl et al. (2005) um dos métodos com ênfase discursiva é a busca sistemática com ajuda de matrizes ordenadoras. Destaca-se, no uso das matrizes ordenadoras, duas grandes vantagens: de um lado a matriz ordenadora incentiva a busca de novas soluções, por outro lado, a matriz ordenadora facilita a identificação e combinação de importantes características da solução.

A denominação das matrizes ordenadoras pode variar na literatura, segundo Zwicky (1966-1971) conforme citado por Pahl et al. (2005) esta ferramenta também é chamada de matriz morfológica.

2.6 MATRIZ MORFOLÓGICA

A finalidade da análise morfológica é estudar todas as combinações possíveis entre componentes de um produto ou sistema. Este tipo de análise surgiu em 1948 e foi desenvolvida por Fritz Zwickey (BAXTER, 2000).

Ainda segundo Baxter (2000), o método morfológico visa identificar, indexar, contar e parametrizar o conjunto de todas as possíveis alternativas para atingir o objetivo determinado, para isso tem-se as seguintes regras:

- I. O problema a ser solucionado deve ser descrito com grande precisão;
- II. Deve-se identificar as variáveis que caracterizam o problema;
- III. Cada variável deve ser dividida em classes, tipos ou estágios distintos;
- IV. As soluções possíveis devem ser procuradas nas combinações entre as classes.

Assim, a Figura 7 é apresentada por Baxter (2000) para ilustrar a estrutura de uma matriz morfológica.

Figura 7 - Análise morfológica para uma cadeira giratória

Variáveis	Classes		
	1	2	3
Mecanismo de levantamento	Mecânico	A gás	
Espuma	Laminada	Injetada	
Revestimento	Tecido	Napa	
Altura do encosto	Baixa	Média	Alta
Braços	Sem braços	Com braços	

Fonte: Adaptado de Baxter (2000)

Após desenvolvida a modelagem funcional, deve-se buscar soluções criativas para as funções elementares que são chamados de princípios de solução.

É possível observar na Figura 6 um total de 48 combinações, ou seja, a matriz morfológica visa relacionar os parâmetros (princípios de solução) para cada função elementar afim de resolver o problema em análise.

“A grande vantagem da matriz morfológica está no exame sistemático de todas as combinações possíveis” (BAXTER, 2000).

Um dos esquemas tradicionais da matriz ordenadora é o bidimensional, a qual é disposto em linhas e colunas associadas a parâmetros que são utilizados como critérios classificadores (PAHL et al., 2005).

A estrutura geral de uma matriz ordenadora é apresentada por Pahl et al. (2005) na Figura 8, onde são previstas duas disposições diferentes para os parâmetros:

Figura 8 - Estrutura geral da matriz ordenadora

Critérios classificadores para qualificar as linhas		Coluna de Parâmetros				
		C1	C2	C3	C4	
Linha de parâmetros	L1					
	L2					
	L3					
	L4					
	a					

Números consecutivos					
		1	2	3	4
Linha de parâmetros	L1				
	L2				
	L3				
	L4				
	a				

Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005)

Destaca-se por Pahl et al. (2005) o seguinte procedimento para a construção da matriz ordenadora:

- I. Inicialmente as ideias de soluções são lançadas nas linhas numa sequência aleatória;
- II. Num segundo passo, as ideias são analisadas considerando as características, por exemplo, tipo de energia, geometria de trabalho, tipo de movimento e;
- III. Finalmente, na terceira etapa, ordenam-se setas de acordo com as características.

Geralmente são empregados critérios ordenadores para facilitar a organização e desenvolvimento da matriz ordenadora.

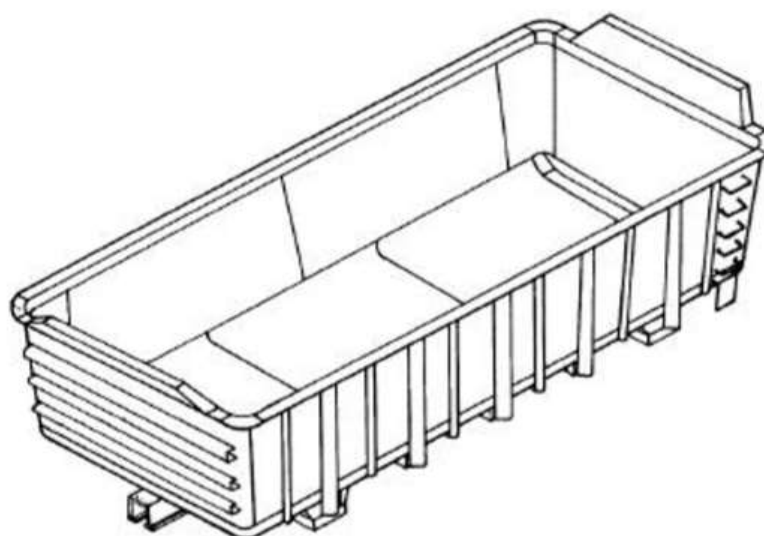
Em um projeto de engenharia, muitas vezes, a matriz morfológica fica extensa e complexa, com uma infinidade de soluções. Desta forma, cabe ao projetista a habilidade de optar por quais são as melhores soluções.

2.7 VAGÕES

A finalidade básica de um vagão ferroviário é suportar e acondicionar mercadorias ao longo de determinado trajeto. Basicamente, um vagão ferroviário é composto por superestrutura e infraestrutura.

Segundo Quintino (2008) a superestrutura do vagão ferroviário é dividida entre caixão e estrado. A Figura 9 ilustra o modelo de um caixão.

Figura 9 - Caixão de um vagão ferroviário

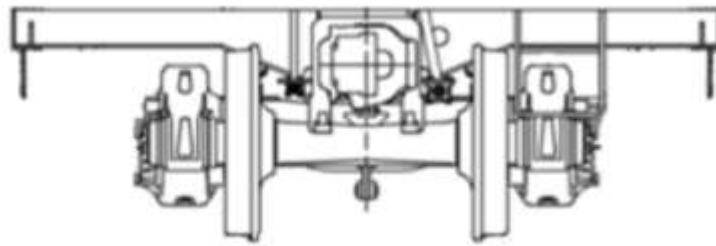


Fonte: Quintino (2008)

Já o estrado é o componente a qual se apoia o caixão dos vagões. “O estrado tem as funções de transferir, para os truques, o peso imprimido pelo caixão, além de transmitir os esforços de tração e compressão de um veículo a outro [...] serve também de alojamento e suporte para o conjunto de choque, tração e sistemas de freio” (QUINTINO, 2008).

O estrado divide-se em: testeira, viga ou longarina central e assoalho. A Figura 10 ilustra a testeira do estrado.

Figura 10 - Testeira do estrado



Fonte: Quintino (2008)

A Figura 11 apresenta a viga do estrado.

Figura 11 - Viga do estrado



Fonte: Quintino (2008)

Já a figura 12 representa o assoalho dos vagões ferroviários.

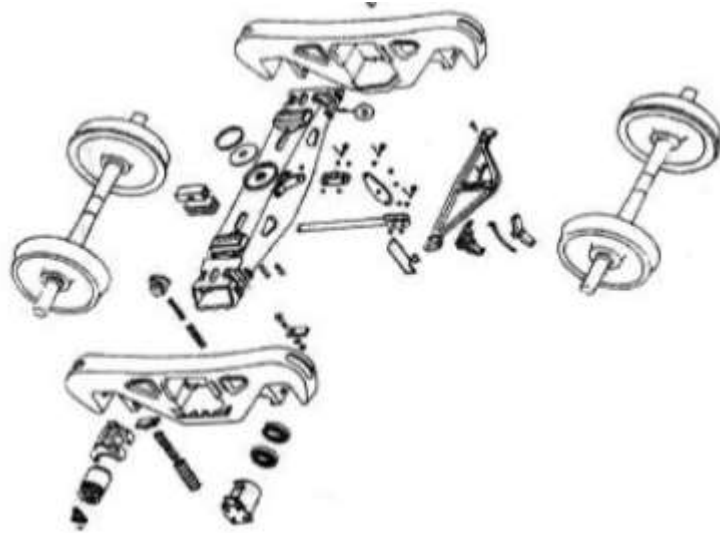
Figura 12 - Assoalho do vagão ferroviário



Fonte: Quintino (2008)

De acordo com Quintino (2008) a infraestrutura do vagão ferroviário é composta por: truque, aparelho de choque e tração e freio. O truque tem a função de distribuir e transferir o peso do vagão para os trilhos, além de prover movimento ao sistema. A Figura 13 ilustra a composição de um truque ferroviário.

Figura 13 - Truque ferroviário, vista explodida

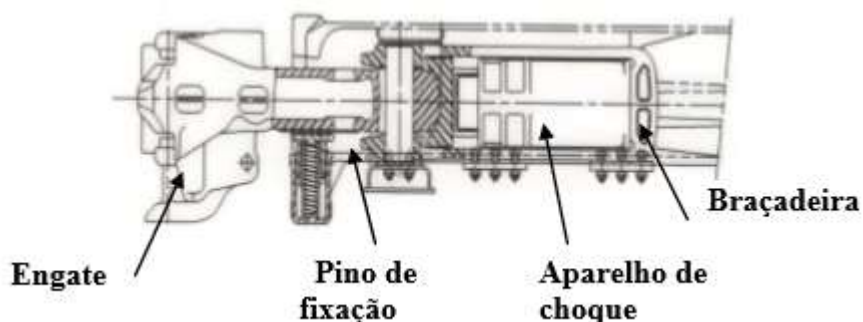


Fonte: Quintino (2008)

O aparelho de choque e tração é composto por: engate, conjunto de choque e acessórios de choque e tração. É localizado nas cabeceiras dos vagões e tem a finalidade de permitir o acoplamento entre veículos, seja vagão-vagão ou locomotiva-vagão. Também tem o objetivo de transmitir os esforços de tração e compressão além de prover amortecimento dos choques decorrentes das variações de velocidade do sistema (QUINTINO, 2008).

“O efeito de amortecer está relacionado com as cunhas, placas e molas internas dos aparelhos, especialmente desenhados para absorver por fricção os impactos, sem transmití-los totalmente ao vagão” (ALMEIDA, 2010). A Figura 14 apresenta os componentes do aparelho de choque e tração.

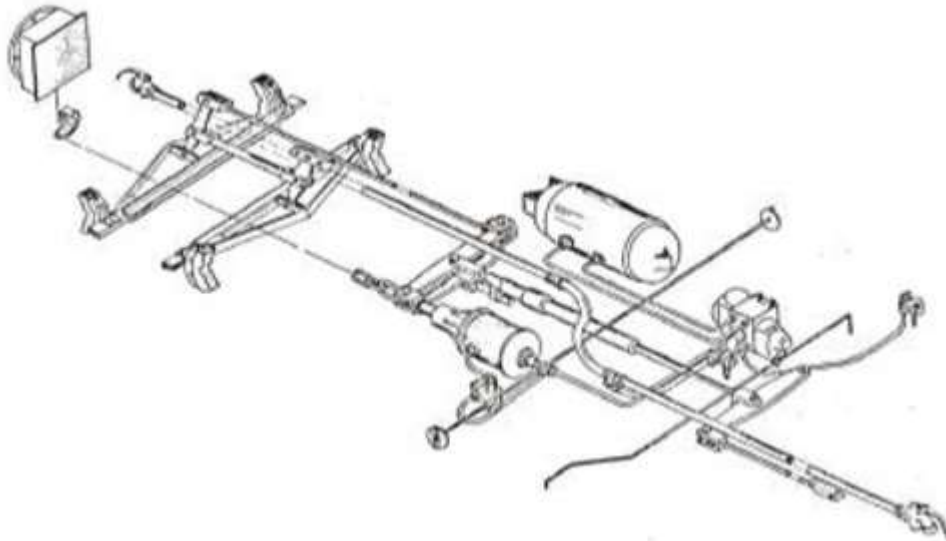
Figura 14 - Aparelho de choque e tração



Fonte: Almeida (2010)

A Figura 15 ilustra o sistema de freio dos vagões ferroviários, a qual a mesma, reúne todos os componentes incluindo o volante manual.

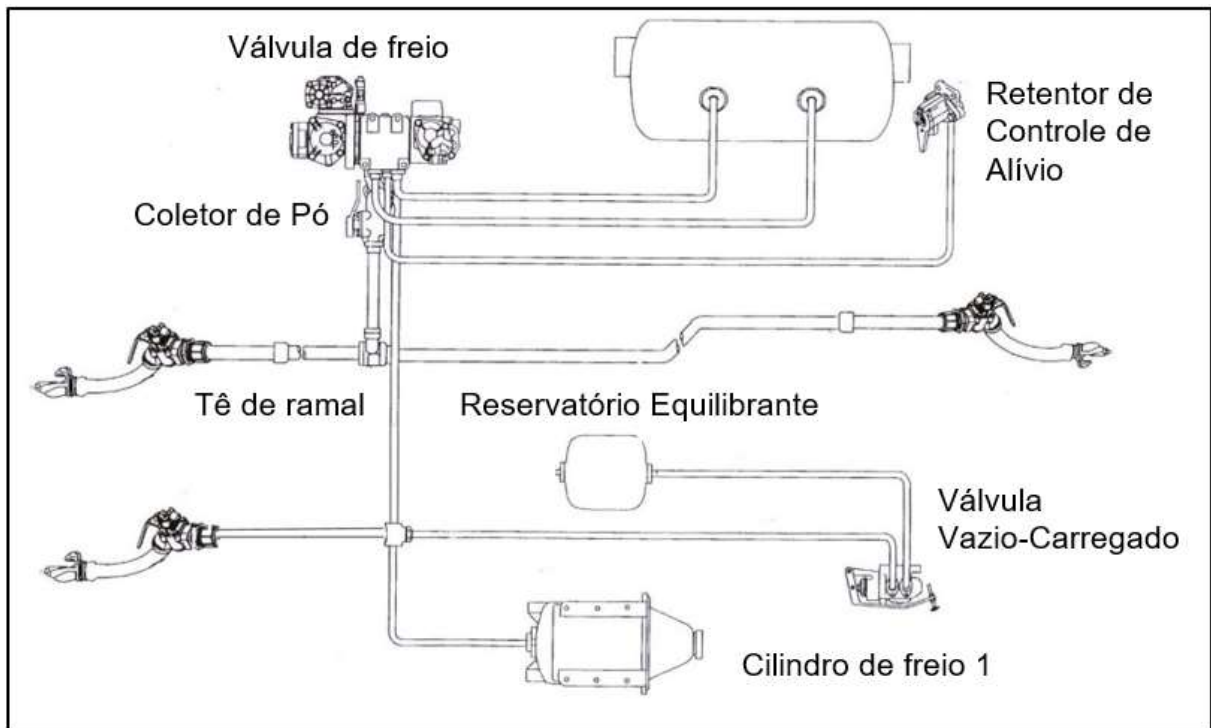
Figura 15 - Sistema de freio dos vagões



Fonte: Quintino (2008)

Basicamente, o sistema de freio dos vagões pode ser dividido entre duas categorias, são elas: sistema de freio pneumático e mecânico. A principal função do sistema de freio pneumático é conduzir e armazenar o ar comprimido. Assim, a Figura 16 ilustra esse sistema.

Figura 16 - Sistema de freio pneumático



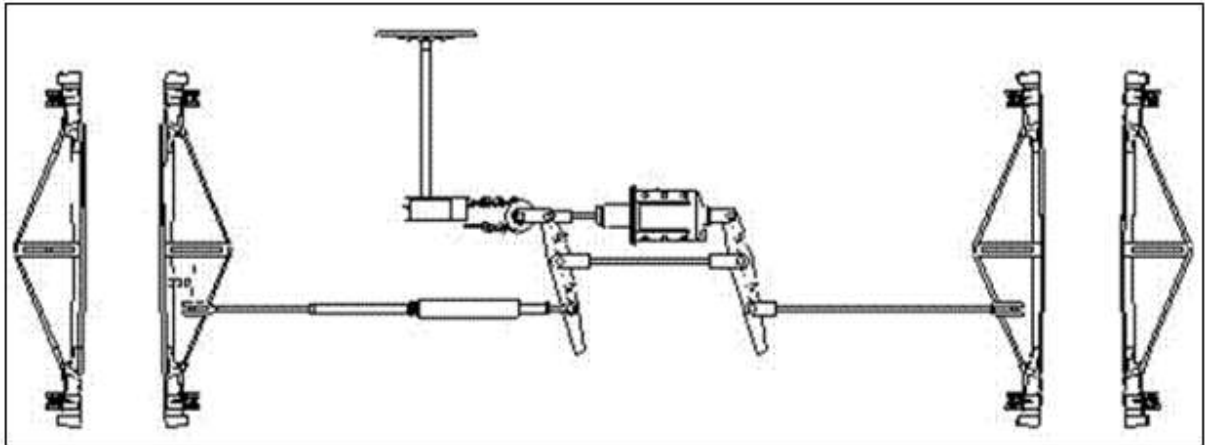
Fonte: Adaptado de Borba (2011)

Por fim, o sistema de freio mecânico visa multiplicar e transmitir as forças geradas pelo sistema pneumático para as rodas. “O sistema de freio dos vagões de carga tem a força,

gerada pela pressão dos cilindros de freio, transmitida às sapatas de freio através de um conjunto de tirantes e alavancas, chamado de timoneria de freio” (BORBA, 2011).

Segundo Quintino (2008) a timoneria de freio é composta por: alavanca de distribuição de força, ajustador automático de folga, comutador vazio-carregado e tirantes de freio. Deste modo, a Figura 17 apresenta a composição do sistema de freio mecânico.

Figura 17 - Sistema mecânico de freio



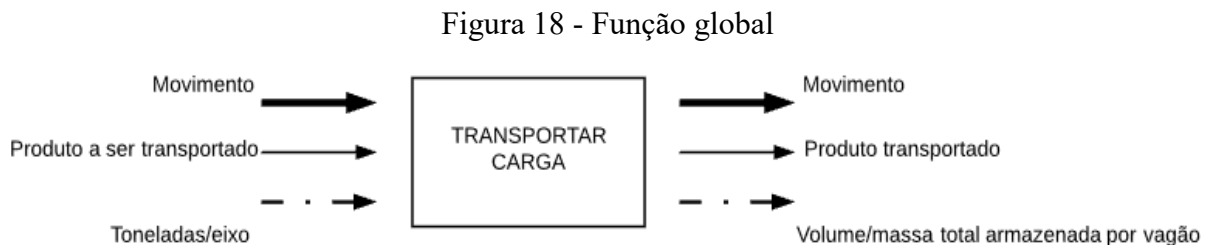
Fonte: Adaptado de Borba (2011)

3 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

A proposta deste trabalho é desenvolver uma ferramenta que gere alternativas ao projeto de vagões. A primeira etapa é aplicar a abordagem funcional, a qual é utilizada para correlacionar o domínio funcional com o domínio físico do produto.

3.1 MODELAGEM FUNCIONAL

De início, é recomendado aplicar um alto nível de abstração, permitindo uma visão integral do produto a fim de facilitar o caminho para a obtenção de soluções melhores. Assim, o método funcional viabiliza o desenvolvimento de um modelo baseado em suas funcionalidades. A abstração visa o geral e o principal, portanto, é possível focar na função principal do problema, assim, é estabelecido como função global a tarefa ‘transportar carga’ conforme a Figura 18.



Fonte: O Autor (2018)

Deste modo, nota-se que a função global do sistema não possui transparência entre suas entradas e saídas, ou seja, não é possível perceber uma solução simples para a tarefa de transportar carga, assim, nesse contexto a função deve ser desdobrada em subfunções de menor complexidade.

Para possibilitar a geração das subfunções, é conveniente ordenar o sistema a partir de funções de uso geral e adotar o sistema ‘top-down’ para melhor organização e visualização das subfunções e suas dependências.

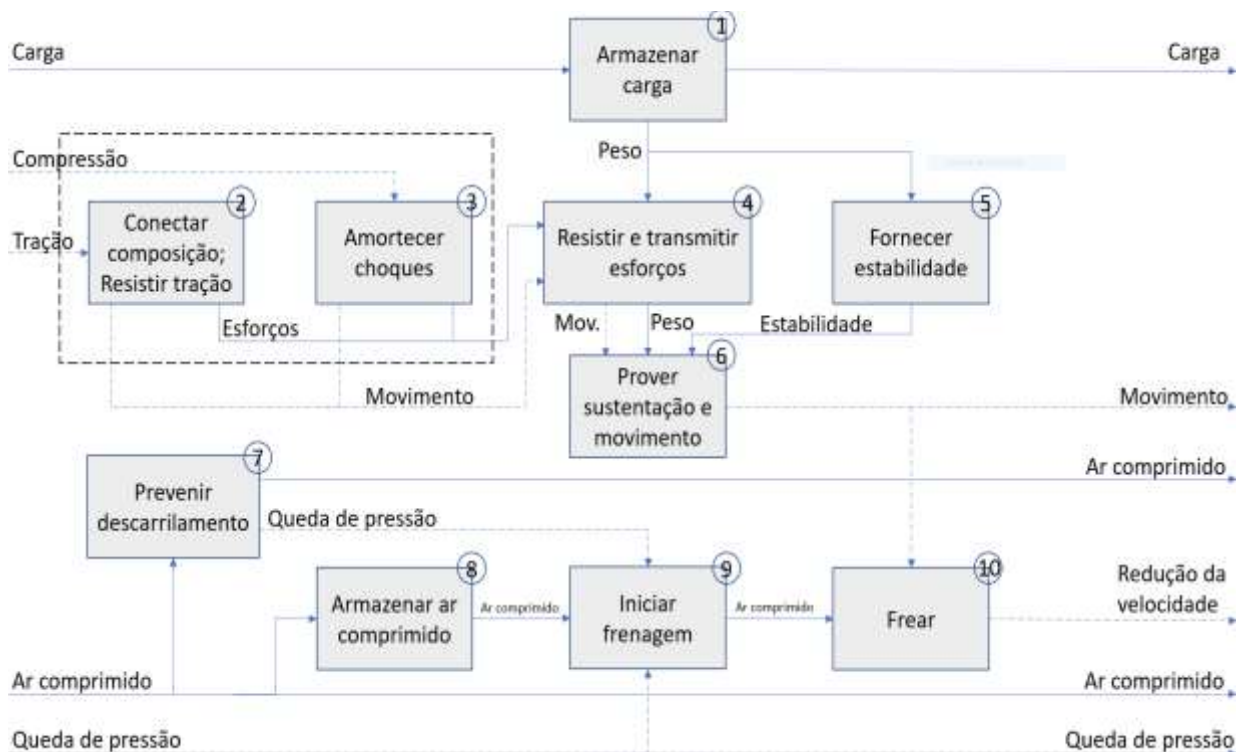
A partir da formulação do problema (função global: transportar carga) é possível propor um primeiro desdobramento para a função global, ou seja, para transportar a carga é necessário armazená-la e deslocá-la de um ponto a outro.

Entretanto, esse desdobramento ainda é muito genérico. Sabe-se que tanto para a função armazenar quanto para a função movimentar, são gerados esforços no sistema. Assim sendo, visando a proteção da carga a ser transportada, são propostas novas funções para resistir, amortecer e transmitir esforços.

Além disso, focando na eficiência da função transportar carga, encontram-se novas funções para fornecer estabilidade do sistema e prevenir descarrilamento. Pensando no deslocamento e na dinâmica do sistema é imprescindível alterações da velocidade, desta forma, é determinada a função de frenagem.

Tendo em vista essas considerações, o desenvolvimento da estrutura de funções para a função global transportar carga é apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Desenvolvimento da estrutura de funções para o transporte de cargas



Fonte: O Autor (2018)

Com base na Figura 9 é possível associar as funções aos parâmetros de produtos, logo, cada função é definida nos tópicos a seguir juntamente com seus princípios de solução organizados na matriz morfológica.

3.2 ARMAZENAR CARGA

A finalidade da função armazenar carga é encontrar uma resposta adequada para o depósito e acomodação do produto que será transportado.

Para preencher a matriz morfológica, a busca por princípios de solução da função armazenar carga foi realizada em catálogos de vagões da empresa Greenbrier Maxion (2018) e na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2015) NBR 11691-2015. Desta forma, o Quadro 1 apresenta os princípios de solução propostos para a função armazenar carga.

Quadro 1 - Princípios de solução propostos à função armazenar carga

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
1	GAIOLA (AC)	Dotado de cobertura, estrado e estrutura metálicos, com fechamento por meio de régua de madeira ou metálica
	GAIOLA (AM)	Dotado de cobertura, estrado metálico e superestrutura de madeira, com fechamento por meio de régua de madeira
	GAIOLA (AR)	Dotado de cobertura e compartimentos especiais para transporte de animais e cargas
	GAIOLA (AV)	Dotado de cobertura e destinado ao transporte de aves
	GAIOLA (AD)	Descoberto
	GAIOLA (AQ)	Outro
	CABUSE (CC)	Sem compartimento para bagagem
	CABUSE (CB)	Com compartimento para bagagem
	CABUSE (CQ)	Outro
	FECHADO (FR)	Metálico dotado de revestimento interno
	FECHADO (FS)	Metálico sem revestimento interno
	FECHADO (FM)	Com superestrutura, inteiramente de madeira ou de madeira contraventrada por montantes metálicos
	FECHADO (FE)	Dotado de escotilha
	FECHADO (FH)	Dotado de escotilha e tremonha
	FECHADO (FL)	Dotado de porta para carga e descarga para grande volume e/ou utilização de equipamentos mecânicos de carregamento e descarregamento
	FECHADO (FP)	Com porta lateral basculante, fundo em "lombo de camelo" e com revestimento para transporte de corrosivo a granel
	FECHADO (FB)	Com escotilha, porta lateral basculante e fundo em "lombo de camelo" e não apropriado para transporte de corrosivo
	FECHADO (FV)	Dotado de abertura para circulação do ar em seu interior
	FECHADO (FQ)	Outro
	GÔNDOLA (GD)	Com borda e fundo fixos, para descarregamento por giro
GÔNDOLA (GP)	Com borda e fundo fixos, dotado de porta lateral	
GÔNDOLA (GF)	Com borda e fundo fixos, dotado de porta articulada	
GÔNDOLA (GM)	Com borda e fundo fixos, dotado de cobertura removível	

Continua (...)

Quadro 1 – Princípios de solução propostos à função armazenar carga

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
1	GÔNDOLA (GT)	Com borda dotada de articulação em sua parte inferior e fundo fixo
	GÔNDOLA (GS)	Com borda dotada de porta articulada em sua parte inferior e fundo fixo
	GÔNDOLA (GH)	Com borda articulada ou porta articulada em sua parte inferior e fundo em "lombo de camelo"
	GÔNDOLA (GC)	Com borda articulada ou porta articulada em sua parte inferior e fundo em "lombo de camelo", provido de cobertura removível
	GÔNDOLA (GB)	Com borda e fundo fixos, dotado de dispositivo que permite a inclinação lateral de sua caixa para descarregamento (basculante)
	GÔNDOLA (GE)	Com borda articulada ou porta articulada em sua parte inferior e fundo em "lombo de camelo", com revestimento para transporte de corrosivos
	GÔNDOLA (GQ)	Outro
	HOPPER (HF)	Fechado, dotado de escotilha e tremonha
	HOPPER (HP)	Fechado, dotado de escotilha e tremona, com revestimento para o transporte de corrosivos
	HOPPER (HE)	Em forma de tanque, dotado de comportas centrais na parte inferior para descarregamento, acionadas ou não por equipamentos pneumáticos, com revestimento para transporte corrosivo
	HOPPER (HT)	Em forma de tanque, dotado de comportas centrais na parte inferior para descarregamento, acionadas ou não por equipamentos pneumáticos
	HOPPER (HA)	Aberto, dotado de tremonha
	HOPPER (HQ)	Outro
	ISOTÉRMICO (IC)	Dotado de isolamento térmico, sem equipamento de refrigeração (convencional)
	ISOTÉRMICO (IF)	Dotado de isolamento térmico e equipamento de refrigeração (frigorífico)
	ISOTÉRMICO (IH)	Dotado de isolamento térmico e equipamento de geração de calor (calorífico)
	ISOTÉRMICO (IQ)	Outro
	PLATAFORMA (PM)	Com assoalho em madeira
	PLATAFORMA (PE)	Com assoalho metálico
	PLATAFORMA (PD)	Dotado de dispositivo apropriado a contêiner
PLATAFORMA (PC)	Especial ao transporte de contêiner	
PLATAFORMA (PR)	Dotado de estrado, rebaixado e destinado ao transporte de volume com dimensão especial	

Continua (...)

Quadro 1 – Princípios de solução propostos à função armazenar carga

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
1	PLATAFORMA (PT)	Dotado de dispositivo para o transporte de veículo rodoviário
	PLATAFORMA (PG)	Dotado de dispositivo para o transporte de carreta ou semi-reboque
	PLATAFORMA (PP)	Dotado de cabeceira
	PLATAFORMA (PB)	Especial ao transporte de bobina
	PLATAFORMA (PA)	Dotado de dois pavimentos para o transporte de automóvel
	PLATAFORMA (PQ)	Outro
	TANQUE (TC)	Para líquido
	TANQUE (TS)	Para produtos de densidade elevada, necessitando de aquecimento para descarregamento
	TANQUE (TP)	Para pulverulento, dotado de dispositivo pneumático para descarregamento
	TANQUE (TF)	Para corrosivo, dotado de revestimento e com porta central, na parte inferior, para descarregamento, acionada ou não por equipamento pneumático
	TANQUE (TA)	Para corrosivos líquidos, com tanque de material especial
	TANQUE (TG)	Para produtos de pressão elevada
	TANQUE (TQ)	Outro

Fonte: O Autor (2018)

De acordo com o Quadro 1 é possível perceber que o campo de solução proposto para atender a função armazenar carga é composto por diferentes tipos de vagões ferroviários.

3.3 CONECTAR COMPOSIÇÃO E RESISTIR TRAÇÃO

O propósito da função conectar composição e resistir tração é suportar os esforços transmitidos de vagão para vagão gerados durante a dinâmica ferroviária. Nos trens de carga os vagões são conectados por um conjunto de engates.

Para propor os princípios de solução para essa função, foram consultados os seguintes documentos: norma ABNT NBR 16086:2012: Vagão ferroviário - Engates, braçadeiras e hastes de ligação – Requisitos (2012), norma ABNT NBR 16087:2012: Vagão ferroviário - Sistema de choque e tração - Componentes e conjuntos de engates automáticos, hastes de ligação e braçadeiras (2012) e o manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

Portando, no Quadro 2 são apresentados os princípios de solução para a função conectar composição e resistir tração.

Quadro 2 - Princípios de solução propostos à função conectar composição e resistir tração

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
2	Conjunto de engate completo E60DE	Engate E com haste rígida de 159x203x546 mm, próprio para vagões de pequena distância entre truques, com capacidade de até 25.000 kg / eixo e com possibilidade de movimentos verticais
	Conjunto de engate completo SBE60DE	Engate E com dupla proteção superior e inferior com haste rígida de 159x203x546 mm, para vagões tanques, para evitar a possibilidade de engavetamento e consequente rompimento do corpo cilíndrico com explosão.
	Conjunto de engate completo SE60DE	Engate E com proteção inferior com haste rígida de 159x203x546 mm, próprio para vagões de pequena distância entre truques, com capacidade de até 25.000 kg / eixo e com possibilidade de movimentos verticais
	Conjunto de engate completo EF68BE	Engate E com haste fixa de 163x203x787,5 mm, próprio para vagões de pequena distância entre truques, com capacidade de até 25.000 kg / eixo e com possibilidade de movimentos verticais
	Conjunto de engate completo EF60DE	Engate E/F com haste fixa de 163x203x438 mm, próprio para longas composições, para vagões que permitem movimentos verticais
	Conjunto de engate completo F70CE	Engate F com haste fixa de 163x203x438 mm, próprio para longas composições e para vagões com restrições de movimento vertical
	Conjunto de engate completo FR70CE	Engate F com haste rotativa de 163x203x410 mm, próprio para longas composições e para vagões com restrições de movimento vertical

Fonte: O Autor (2018)

Deste modo, o Quadro 2 sugere conjuntos de engates completos como princípio de solução para a função.

3.4 AMORTECER CHOQUES

Assim como no tópico anterior, a função amortecer choques tem como objetivo resistir aos esforços gerados durante a operação ferroviária entre os vagões, porém para esta função os esforços resistidos são referentes à compressão e ao torque.

A busca pelos princípios de solução foi feita na norma ABNT NBR 16087:2012 (ANBT, 2012) e nos catálogos técnicos da empresa Wabtec Corporation (2014). Desta maneira, o Quadro 3 é apresentado a seguir:

Quadro 3 - Princípios de solução propostos à função amortecer choques

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
3	ACT Mark-50	Aparelho de choque e tração de alta performance para qualquer ambiente de operação, para todos os tipos de vagões, com bolsa de 25 5/8" e curso de 3 1/4", suporta vagões com até 286000 lbs (130 ton.) e torques de 38940 ft*lbs, atende especificações AAR M-901E. Peso de 386 lbs. Material: Aço
	ACT Mark-90AT	Aparelho de choque e tração para todos os tipos de vagões, com bolsa de 25 5/8" e curso de 3 1/4", suporta torques de 46269 ft*lbs, atende especificações AAR M-901E. Peso de 260 lbs.
	ACT Mark-75G	Aparelho de choque e tração para todos os tipos de vagões, com bolsa de 25 5/8" e curso de 3 1/4", suporta vagões com até 125 ton. e torques de 40171 ft*lbs, atende especificações AAR M-901E. Peso de 312 lbs. Material: Aço
	ACT Mark-70E	Aparelho de choque e tração para todos os tipos de vagões, com bolsa de 25 5/8" e curso de 3 1/4", suporta vagões com até 286000 lbs (130 ton.) e torques de 40171 ft*lbs, atende especificações AAR M-901E. Peso de 312 lbs. Material: Aço
	ACT Mark-558	Aparelho de choque e tração para vagões multiplataformas e intermodais, com bolsa de 25 5/8" e curso de 3 1/4", suporta vagões com até 125 ton. e torques de 40171 ft*lbs, atende especificações AAR M-901E. Peso de 312 lbs. Material: Aço
	ACT Mark-R500	Aparelho de choque e tração com material de atrito de borracha e substituível, curso de 3 1/4", suporta torques de 44000 ft*lbs, atende especificações AAR M-901E. Peso de 384 lbs.

Fonte: O Autor (2018)

Nota-se no Quadro 3 que os princípios de solução são diferentes conjuntos de choque de vagões ferroviários. A união dos princípios de solução apresentados para as funções 2 e 3 formam o aparelho de choque e tração as quais são componentes dos sistemas de vagões.

3.5 RESISTIR E TRANSMITIR ESFORÇOS

O peso gerado pela carga acomodada no vagão ferroviário deve ser suportado e conduzido aos outros sistemas do material rodante. Para isso, é indicada a função resistir e transmitir esforços. Logo, o componente que desempenha essa função é o estrado.

Para o desenvolvimento do Quadro 4 foi utilizado informações do manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

Quadro 4 - Princípios de solução propostos à função resistir e transmitir esforços

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
4	Estrado em caixão	Estrado composto por travessas longitudinais e transversais, com ou sem assoalho, chapass de aço carbono e/ou de baixa liga, com alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica
	Estrado com longarina central	Estrado com longarina central composto por uma viga central e chapas transversais (travessas) de aço carbono e/ou de baixa liga, com alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica
	Estrado autoportante	Estrado formado por estrutura autoportante sem a necessidade de longarina central, material deve ter alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica, adequado para vagões tanques

Fonte: O Autor (2018)

Assim, estão listados no Quadro 4, os tipos de estrados mais usados nos trens de carga no Brasil.

3.6 FORNECER ESTABILIDADE

A dinâmica entre vagões pode exercer instabilidades durante o seu movimento como por exemplo o fenômeno do *hunting*. Desta forma, faz-se necessário a escolha de componentes que proporcionem estabilidade à composição ferroviária.

No Quadro 5 podem ser vistos os princípios de solução propostos para satisfazer a função fornecer estabilidade.

Quadro 5 - Princípios de solução propostos à função fornecer estabilidade

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
5	Ampara-balanço de contato constante - Modelo SBX	Disponível em quatro pré-carregamentos para todos os tipos de carro: 3000, 4500, 6000 e 8000 lbs. Alta resistência ao desgaste, contato constante da tampa superior. Mola de elastômero projetada para amortecimento vertical e possui uma ampla faixa de temperaturas de operação.
	Ampara-balanço de contato constante - elastômero	Dispositivo que provê o contato entre o vagão e o truque composto por elastômeros.
	Ampara-balanço de folga controlada	Dispositivo composto por roletes ou castanhas a qual mantém a folga controlada através do desgaste dos mesmos. Fácil instalação e manutenção

Fonte: O Autor (2018)

O preenchimento do Quadro 5, foi baseado em informações do catálogo da Wabtec Corporation (2014) e no manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

Nota-se que o componente ampara-balanço é o princípio de solução utilizado para fornecer estabilidade ao sistema. A escolha de um ampara-balanço adequado é de fundamental importância para a performance do truque tanto em trajetos retos como nas inscrições em curvas.

3.7 PROVER SUSTENTAÇÃO E MOVIMENTO

Essencial no deslocamento da carga de um ponto a outro é o movimento que é realizado durante o trajeto. Portanto o princípio de solução encontrado, que faz parte do material rodante, para satisfazer a função prover sustentação e movimento é o truque ferroviário.

Desta forma, para desenvolver a matriz morfológica foram consultados os catálogos de truques ferroviários da empresa Amsted Rail ([20--]) em conjunto com a norma ABNT NBR 16440:2015 - Vagão ferroviário - Truque do tipo três peças, com estrutura fundida, com dois rodeiros - Requisitos mínimos (ABNT, 2015).

Quadro 6 - Princípios de solução propostos à função prover sustentação e movimento

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
6	Truque Ride Control - bitola padrão - AR-3398	Bitola 1435mm, 32.5 ton / eixo, roda de 36", antecessor do truque Super Service Ride Control, este é o truque amplamente aceito para sistemas articulados. Também disponível para bitola larga
	Truque Ride Control - bitola padrão - AR-761	Bitola 1435mm, 25 ton / eixo, roda de 33", antecessor do truque Super Service Ride Control, este é o truque amplamente aceito para sistemas articulados. Também disponível para bitola larga
	Truque Motion Control bitola métrica	Bitola 1000mm, 25 ton / eixo, roda de 33", baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado para ser mais leve com ótima estabilidade nos ambientes operacionais mais adversos e maximizando a vida útil dos componentes
	Truque Motion Control bitola padrão AR-3460	Bitola 1435mm, 25 ton / eixo, roda de 36.2" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado para ser mais leve com ótima estabilidade nos ambientes operacionais mais adversos e maximizando a vida útil dos componentes
	Truque Motion Control bitola padrão AR-3430	Bitola 1435mm, 30 ton / eixo, roda de 36" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado para ser mais leve com ótima estabilidade nos ambientes operacionais mais adversos e maximizando a vida útil dos componentes

Continua (...)

Quadro 6 – Princípios de solução propostos à função prover sustentação e movimento

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
6	Truque Motion Control bitola padrão AR-3446	Bitola 1435mm, 32.5 ton / eixo, roda de 36" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado para ser mais leve com ótima estabilidade nos ambientes operacionais mais adversos e maximizando a vida útil dos componentes
	Truque Motion Control bitola padrão AR-3446 - 40t	Bitola 1435mm, 40 ton / eixo, roda de 38" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado para ser mais leve com ótima estabilidade nos ambientes operacionais mais adversos e maximizando a vida útil dos componentes. Também disponível para bitola larga
	Truque Super Service Ride Control - bitola padrão - AR-762	Bitola 1435mm, 25 ton / eixo, roda de 36" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado design inovador, truque com amortecimento constante e cunhas de fricção alargadas, boa estabilidade, sistema que mantém o truque alinhado a medida que os componentes se desgastam
	Truque Super Service Ride Control - bitola padrão - AR-770	Bitola 1435mm, 25 ton / eixo, roda de 33" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado design inovador, truque com amortecimento constante e cunhas de fricção alargadas, boa estabilidade, sistema que mantém o truque alinhado a medida que os componentes se desgastam
	Truque Super Service Ride Control - bitola padrão - AR-3453	Bitola 1435mm, 30 ton / eixo, roda de 36" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado design inovador, truque com amortecimento constante e cunhas de fricção alargadas, boa estabilidade, sistema que mantém o truque alinhado a medida que os componentes se desgastam
	Truque Super Service Ride Control - bitola padrão - AR-3384	Bitola 1435mm, 32.5 ton / eixo, roda de 36" baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado design inovador, truque com amortecimento constante e cunhas de fricção alargadas, boa estabilidade, sistema que mantém o truque alinhado a medida que os componentes se desgastam
	Truque Super Service Ride Control - bitola padrão - AR-3434	Bitola 1435mm, 32.5 ton / eixo, roda de 36", ADAPTER-Plus, baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, projetado design inovador, truque com amortecimento constante e cunhas de fricção alargadas, boa estabilidade, sistema que mantém o truque alinhado a medida que os componentes se desgastam. Também disponível para bitola larga
	Truque Swing Motion bitola métrica	Bitola 1000mm, 20 ton / eixo, roda de 33.5", baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, sistema de estabilidade Swing Motion patenteado, ótima estabilidade em alta velocidade, maior proteção da carga, menor desgaste das rodas e componentes
	Truque Swing Motion bitola padrão AS-512	Bitola 1435mm, 25 ton / eixo, roda de 28", baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, sistema de estabilidade Swing Motion patenteado, estabilidade insuperável por outros sistemas em alta velocidade, maior proteção da carga, menor desgaste das rodas e componentes

Continua (...)

Quadro 6 – Princípios de solução propostos à função prover sustentação e movimento

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
6	Truque Swing Motion bitola padrão AS-512	Bitola 1435mm, 25 ton / eixo, roda de 28", baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, sistema de estabilidade Swing Motion patenteado, estabilidade insuperável por outros sistemas em alta velocidade, maior proteção da carga, menor desgaste das rodas e componentes
	Truque Swing Motion bitola padrão AS-500	Bitola 1435mm, 25 ton / eixo, roda de 33", baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, sistema de estabilidade Swing Motion patenteado, estabilidade insuperável por outros sistemas em alta velocidade, maior proteção da carga, menor desgaste das rodas e componentes
	Truque Swing Motion bitola padrão AS-520	Bitola 1435mm, 32.5 ton / eixo, roda de 36", baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, sistema de estabilidade Swing Motion patenteado, estabilidade insuperável por outros sistemas em alta velocidade, maior proteção da carga, menor desgaste das rodas e componentes
	Truque Swing Motion bitola larga	Bitola 1600mm, 32.5 ton / eixo, roda de 36", baixos custos de manutenção, alto ciclo de vida, sistema de estabilidade Swing Motion patenteado, estabilidade insuperável por outros sistemas em alta velocidade, maior proteção da carga, menor desgaste das rodas e componentes
	Truque HD Split Wedge - bitola padrão - AB-7977	Bitola 1435mm, 30 ton / eixo, roda de 36", amortecimento variável por cunha de fricção, sistema ADAPTER-Plus proporciona maior vida útil para as rodas e rolamentos, fabricado por um característico processo de fundição disponibilizando menor peso e tolerâncias mais justas
	Truque HD Split Wedge - bitola padrão - AB-9037	Bitola 1435mm, 35.7 ton / eixo, roda de 38", amortecimento variável por cunha de fricção, sistema ADAPTER-Plus proporciona maior vida útil para as rodas e rolamentos, fabricado por um característico processo de fundição disponibilizando menor peso e tolerâncias mais justas

Fonte: O Autor (2018)

Assim, estão listados no Quadro 6 apenas os princípios de solução adequados ao transporte de carga mais comuns nas ferrovias brasileiras, ou seja, para as bitolas métrica, padrão e larga.

3.8 PREVENIR DESCARRILAMENTO

Visando a segurança do veículo ferroviário e da carga transportada, a função prevenir descarrilamento também assegura custos operacionais reduzidos. Deste modo, é de fundamental importância a sua análise.

Para isso, a busca por princípios de solução, ocorreu em catálogos da empresa Knorr-Bremse (2018).

Assim o Quadro 7 retrata os princípios de solução usuais que atendem a função prevenir descarrilamento.

Quadro 7 - Princípios de solução propostos a função prevenir descarrilamento

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
7	DDV de válvula de descarga (emergência) e cabo de aço	É composto por uma válvula de emergência (AK-6), a qual o punho da válvula é conectado por cabos de aço (um por rodeiro).
	DDV - sistema eletropneumático - EDT101	Pressão máxima 10 bar, faixa de temperatura de -40°C a 70°C, 19mm de diâmetro do tubo conector, peso aproximado 4.8kg, de fácil conexão com o freio principal pela ramificação de um flange, com torneira integrada, montado nas vigas amortecedoras ao final de cada vagão, emite uma mensagem de diagnóstico ou frenagem imediata do trem após o descarrilamento de um eixo
	DDV de válvula de descarga (emergência) pilotada por fusível	É composto por uma válvula de emergência pilotada, a qual a quebra do fusível proporciona a abertura da válvula, proporcionando a aplicação de emergência no trem. Altamente recomendada para os novos vagões
	DDV de fusível com alça	Sistema mecânico. O encanamento geral ligado por conexões com um fusível metálico que se quebrará quando o eixo, ao descarrilar, atingir o cabo de aço ou arco metálico no qual ele estará preso

Fonte: O Autor (2018)

Os detectores de descarrilamento identificam um eixo descarrilado e enviam um sinal ao maquinista ou até mesmo acionam a frenagem de emergência, dependendo do modelo utilizado.

3.9 ARMAZENAR AR COMPRIMIDO

Em cada vagão é instalado uma estrutura de freio a ar. O sistema de freio pode ser dividido em dois subsistemas, o pneumático e o mecânico. Basicamente, a frenagem se inicia no sistema pneumático e é desenvolvida pelo sistema mecânico.

Sobretudo, pode-se ainda dividir o sistema pneumático em distribuição, controle e aplicação. A função armazenar ar comprimido, está contida na etapa de controle. Portanto, o Quadro 8 apresenta os princípios de solução para esta função, também baseado no manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

Quadro 8 - Princípios de solução propostos a função armazenar ar comprimido

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
8	Reservatório de ar combinado 41 / 57 litros	Reservatório de ar composto por uma câmara auxiliar de 41 litros e uma câmara de emergência de 57 litros. Recomendado para vagões singelos equipados com cilindro de freio de 10x12" ou vagões duais equipados com cilindro de freio de 8x8"
	Reservatório de ar combinado 62 / 96 litros	Reservatório de ar composto por uma câmara auxiliar de 62 litros e uma câmara de emergência de 96 litros. Recomendado para vagões duais equipados com cilindro de freio de 10x12"

Fonte: O Autor (2018)

Essencialmente, o ar comprimido do reservatório principal da locomotiva é conduzido aos vagões através do encanamento geral, a válvula de controle direciona o ar comprimido para os reservatórios do vagão, os quais vão armazenar o ar comprimido a fim de que estejam disponíveis para o início do processo de frenagem.

3.10 INICIAR FRENAGEM

Conforme descrito anteriormente, o sistema de freio de um vagão pode ser dividido em outros dois subsistemas, pneumático e mecânico. A função iniciar frenagem, compreende o sistema pneumático de freio. Com destino a simplicidade dos princípios de solução, a função iniciar frenagem foi decomposta em subfunções.

3.10.1 Transmitir ar comprimido entre vagões

Condizente com o que foi descrito antes, o ar comprimido é enviado da locomotiva aos vagões. Para fazer a transição do ar entre os carros, foi estipulada a subfunção transmitir ar comprimido entre vagões. Desta forma, o Quadro 9 apresenta os seguintes princípios de solução:

Quadro 9 - Princípios de solução propostos a função transmitir ar comprimido entre vagões

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.1- Transmitir ar comprimido entre vagões	Mangueira do encanamento geral 22"	Mangueira do encanamento geral com diâmetro de 22" recomendada para vagões de carga em geral
		Mangueira do encanamento geral 30"	Mangueira do encanamento geral com diâmetro de 30" recomendada para vagões de minério (GDE)
		Mangueira do encanamento geral 34"	Mangueira do encanamento geral com diâmetro de 34" recomendada para vagões de carga em geral tipo HAD com torneiras retas
		Mangueira do encanamento geral 64"	Mangueira do encanamento geral com diâmetro de 64" recomendada para vagões de minério (GDE)
		Mangueira do encanamento geral 68"	Mangueira do encanamento geral com diâmetro de 68" recomendada para vagões de minério (GDE) para vagões geminados

Fonte: O Autor (2018)

Nota-se que são as mangueiras que permitem a interligação entre vagões e locomotivas em um trem, as recomendações da descrição foram extraídas do manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

3.10.2 Transmitir ar comprimido no vagão

Por sua vez, o ar comprimido conduzido pelas mangueiras entre os carros, deve ser transmitido também ao longo do vagão. Portanto, o Quadro 10 dispõe dos princípios de solução propostos para esta função. O Quadro 10 foi elaborado conforme o manual de técnico de vagões da VALE ([20--]) e Carvalhaes (2010).

Quadro 10 - Princípios de solução propostos a função transmitir ar comprimido no vagão

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.2- Transmitir ar comprimido no vagão	Encanamento geral (tubo de aço SCH-80)	Tubo de aço extrapesado, especificação ASTM-A-53 grau A, pintado externamente e fosfatado internamente para evitar a oxidação – em prática
		Encanamento geral (tubo flexível)	Baixa taxa de manutenção, leves, baixo custo, fácil instalação, suporta até 90 psi, temperatura de operação de -40°C até 100°C – em testes

Fonte: O Autor (2018)

O encanamento geral tem a função de conduzir o ar comprimido, assim enquadra-se no sistema de distribuição do freio pneumático.

3.10.3 Filtrar impurezas

Com destino a proteção dos componentes do sistema de freio pneumático, adotou-se a função filtrar impurezas, seus princípios de solução são apresentados no quadro a seguir, conforme o manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

Quadro 11 - Princípios de solução propostos a função filtrar impurezas

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.3- Filtrar impurezas	Coletor de pó com torneira interruptora	Torneira de macho esférico com punho removível equipada com coletor de pó, encanamento geral
		Engate cego	Engate de suporte para encanamentos não acoplados para filtrar impurezas, proteção da mangueira

Fonte: O Autor (2018)

Os princípios de solução do Quadro 11, além de filtrar impurezas também atendem a função de isolamento, função a qual será analisada a seguir.

3.10.4 Isolar o sistema

Muitas vezes em paradas para manutenção ou até mesmo em questões de alívio de freio, faz-se necessário isolar o sistema. Logo a necessidade de uma função para cumprir este requisito, o Quadro 12 apresenta os princípios de solução de acordo com o manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

Quadro 12 - Princípios de solução propostos a função isolar o sistema

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.4- Isolar o sistema	Torneira angular 1 1/4"	Torneira angular de 1 1/4" recomendada para encanamento geral
		Torneira reta 1"	Torneira reta de 1" com punho de travamento recomendada para o encanamento equilibrante do reservatório principal
		Torneira reta 3/8"	Torneira reta de 3/8" com punho de travamento recomendada para o encanamento equilibrante do cilindro de freio
		Torneira reta 1" com punho removível	Torneira reta de 1" com punho removível recomendada para o encanamento equilibrante do reservatório principal
		Torneira reta 3/8" com punho removível	Torneira reta de 3/8" com punho removível recomendada para o encanamento equilibrante do cilindro de freio

Fonte: O Autor (2018)

O Quadro 12 apresenta os princípios de solução para a função de isolamento do sistema, em seguida será discutido a função conectar componentes.

3.10.5 Conectar componentes

Para realizar a união entre dois ou mais tubos do encanamento é estabelecido a necessidade de um dispositivo para provê-la sem prejudicar o sistema, diante deste contexto se introduz a função conectar componentes. Então, o Quadro 13 apresenta os princípios de solução que correspondem a função.

Quadro 13 - Princípios de solução propostos a função conectar componentes

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.5- Conectar componentes	Tê de ramal com saída lateral	Equipamento acessório para unir tubos pneumáticos dispostos à 90°
		Tê de ramal com saída 45°	Equipamento acessório para unir tubos pneumáticos dispostos à 45°

Fonte: O Autor (2018)

Portanto o Quadro 13 apresenta duas disposições para firmar a conexão entre os encanamentos.

3.10.6 Evacuar o ar comprimido

Geralmente em trens longos, para garantir a condição de propagação de aplicação de emergência dos freios, ocorre a necessidade de descarga rápida da pressão do encanamento geral para a atmosfera. Para solucionar esta questão, o Quadro 14 apresenta os princípios de solução para a função evacuar ar comprimido.

Quadro 14 - Princípios de solução propostos a função evacuar ar comprimido

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.6- Evacuar o ar comprimido	Válvula de descarga para o ECP (Electronically Controlled Pneumatic Brake)	Válvula de descarga auxiliar, tem como características: a sensibilidade, a transmissão do sinal e a capacidade de acionamento de emergência pneumática padrão são mantidas. Altamente utilizada nos novos sistemas de freio eletropneumáticos CCD (Car Control Device)
		Válvula de descarga NR 8 e VX	Usada em carros longos, um meio auxiliar de ventilação do tubo de freio durante uma aplicação de frenagem de emergência, auxilia na transmissão de um sinal de frenagem de emergência, através da ventilação local do tubo de freio, A capacidade de ventilação aprimorada resulta em maiores velocidades de transmissão de emergência em pressões mais baixas da tubulação de freio, resistente à corrosão promove operação mais confiável a longo prazo, aplicada em derivação do encanamento geral

Fonte: O Autor (2018)

A busca dos princípios de solução e o desenvolvimento das descrições da matriz morfológica no Quadro 14, foi baseada nos catálogos das empresas Wabtec Corporation (2014), New York Air Brake (NYAB, 2018) e manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

3.10.7 Conduzir e servir ar comprimido

Perceber as alterações de pressão do encanamento geral, para então direcionar o ar comprimido a fim de aplicar ou liberar os freios é a principal função das válvulas de controle que são descritas no Quadro 15.

Quadro 15 - Princípios de solução propostos à função conduzir e servir ar comprimido

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.7- Conduzir e servir ar comprimido	CCD (Car Control Device)	Próprio para o sistema de freio EP-60 que fornece controle simultâneo de todos os carros, baixo consumo de ar, permite trens mais longos, monitora falha e registro de dados, oferece controle de frenagem preciso em cada vagão de carga. O CCD foi projetado para ser montado no suporte padrão AAR para facilitar a instalação. Está disponível em configurações independentes ou sobrepostas. Cada CCD é autônomo e inclui: um módulo de controle eletrônico, bateria de longa duração, eletrônica de gerenciamento de energia, transdutores de pressão, solenóides proporcionais e uma válvula de relé. O CCD foi projetado para um consumo de energia muito baixo
		Válvula de controle ABDX	Compõe-se de três partes principais: Suporte dos encanamentos, porção de serviço e porção de emergência. Alívio acelerado após em emergência e garantia de alívio através da válvula asseguradora de alívio caso haja travamento do pistão de serviço, função de aceleração da propagação nas aplicações de serviço. Podendo ser utilizada para vagões curtos ou longos (ABDX-S ou ABDX-L). Atuação mais rápida que a versão ABDW. Fabricada em alumínio
		Válvula de controle ABDW	Compõe-se de três partes principais: Suporte dos encanamentos, porção de serviço e porção de emergência. Alívio acelerado após em emergência e garantia de alívio através da válvula asseguradora de alívio caso haja travamento do pistão de serviço, função de aceleração da propagação nas aplicações de serviço

Continua (...)

Quadro 15 – Princípios de solução propostos à função conduzir e servir ar comprimido

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.7- Conduzir e servir ar comprimido	Válvula de controle DB-60	Esta válvula de controle, também disponível para trens longos (DB-60L), design diferenciado, sua ergonomia foi aprimorada, facilitando sua instalação e manutenção, evitando possíveis lesões provenientes destes esforços. Fabricada em alumínio, proporcionando considerável redução de peso (90lbs mais leve) em relação as válvulas de ferro fundido, alta confiabilidade e própria para operação para composições acima de 300 carros. Possui as mesmas funções das válvulas da família AB e é possível trafegar com outros vagões compostos por essas válvulas (AB)

Fonte: O Autor (2018)

Assim, os princípios de solução dispostos no Quadro 15 condizem com a função conduzir e servir ar comprimido e são baseados no catálogo da NYAB (2018) e no manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

3.10.8 Controlar tempo de descarga dos vagões

Durante o trajeto do transporte de carga, mais especificamente no momento de frenagem em uma situação de descida, deve-se controlar o alívio do cilindro de freio para que o mesmo não solte rapidamente, deste modo proporcionando ganho de tempo para a recuperação da pressão no encanamento geral do trem. Logo a importância do controle de descarga dos vagões, assim o Quadro 16 apresenta os princípios de solução propostos para essa finalidade.

A busca pelos princípios de solução para esta função ocorreu no documento: curso básico de freio de locomotivas e vagões da Companhia Vale do Rio Doce (2005).

Quadro 16 - Princípios de solução propostos a função controlar tempo de descarga

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.8- Controlar tempo de descarga dos vagões	Retentor de controle de alívio com duas posições - 8x8"	Retentor de controle de alívio com duas posições, restrito e direto para cilindros de freio 8x8"
		Retentor de controle de alívio com duas posições - 10x12"	Retentor de controle de alívio com duas posições, restrito e direto para cilindros de freio 10x12"
		Retentor de controle de alívio com três posições - 8x8"	Retentor de controle de alívio com três posições, restrito, super-restrito e direto para cilindros de freio 8x8"
		Retentor de controle de alívio com três posições - 10x12"	Retentor de controle de alívio com três posições, restrito, super-restrito e direto para cilindros de freio 10x12"

Fonte: O Autor (2018)

Basicamente o retentor de controle de alívio tem a função de controlar a exaustão de ar (de alívio) dos cilindros de freio em rampas prolongadas, ao mesmo tempo em que a válvula de serviço recarrega o reservatório auxiliar.

3.10.9 Acionar o sistema mecânico de freio

Como mencionado anteriormente, o sistema de freio pode ser dividido em pneumático e mecânico, deste modo, a função acionar o sistema mecânico de freio é a última etapa do sistema pneumático. Seus princípios de solução estão ordenados no Quadro 17 e de acordo com o manual técnico de vagões da VALE ([20--]).

Quadro 17 - Princípios de solução propostos a função acionar o sistema mecânico de freio

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.9- Acionar o sistema mecânico de freio	Cilindro de freio 10x12" sem suporte para ponto fixo	Cilindro de freio com 10" de diâmetro e 12" de deslocamento, sem suporte para ponto fixo, com entrada central e saída lateral para ajustador pneumático
		Cilindro de freio 10x12" sem suporte para ponto fixo e sem saída para ajustador pneumático	Cilindro de freio com 10" de diâmetro e 12" de deslocamento, sem suporte para ponto fixo, com entrada central e sem saída lateral para ajustador pneumático
		Cilindro de freio 10x12" sem suporte para ponto fixo e entrada 90°	Cilindro de freio com 10" de diâmetro e 12" de deslocamento, sem suporte para ponto fixo com entrada posicionada 90° em relação a parte traseira do cilindro

Continua (...)

Quadro 17 – Princípios de solução propostos à função acionar o sistema mecânico de freio

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
9	9.9- Acionar o sistema mecânico de freio	Cilindro de freio 10x12" com suporte para ponto fixo	Cilindro de freio com 10" de diâmetro e 12" de deslocamento, com suporte para ponto fixo, com entrada lateral e saída lateral para ajustador pneumático
		Cilindro de freio 10x12" com suporte para ponto fixo e sem saída lateral	Cilindro de freio com 10" de diâmetro e 12" de deslocamento, com suporte para ponto fixo, com entrada lateral e sem saída lateral para ajustador pneumático
		Cilindro de freio 8x8" sem suporte para ponto fixo	Cilindro de freio com 8" de diâmetro e 8" de deslocamento, sem suporte para ponto fixo, entrada central e saída lateral para ajustador pneumático. Recomendado para vagões geminados de bitola métrica
		Cilindro de freio 8x8" com suporte para ponto fixo	Cilindro de freio com 8" de diâmetro e 8" de deslocamento, com suporte para ponto fixo, entrada lateral e saída lateral para ajustador pneumático. Recomendado para vagões geminados de bitola métrica
		Cilindro de freio 8x8" sem saída para ajustador pneumático	Cilindro de freio com 8" de diâmetro e 8" de deslocamento, com suporte para ponto fixo, entrada lateral e sem saída lateral para ajustador pneumático. Recomendado para vagões geminados de bitola métrica

Fonte: O Autor (2018)

Portanto o cilindro de freio é o equipamento responsável por produzir os esforços mecânicos na timoneria de freio, desta forma, a seguir a análise é voltada para o sistema mecânico de freio

3.11 FREAR

A frenagem, propriamente dita, ocorre após a ação dos dois sistemas de freio, pneumático e mecânico. Resumindo, o ar comprimido proveniente do reservatório auxiliar é direcionado através da válvula de controle para o cilindro de freio que, por sua vez, com o aumento da pressão interna avança sua haste de acionamento movimentando a timoneria de freio e então as sapatas de freio contra as rodas.

Do mesmo modo da função iniciar frenagem, a função frear será decomposta em novas subfunções visando a simplicidade dos princípios de solução obtidos. Basicamente, a função frear engloba o sistema de freio mecânico.

3.11.1 Transmitir força

A transmissão de força é a função fundamental no sistema de freio mecânico, pois ela determina a transferência de esforços entre a haste do cilindro até a sapata de freio. Assim, o Quadro 18 apresenta os princípios de solução para este problema, a partir do manual técnico de vagões da VALE ([20--]) e Romano (2003).

Quadro 18 - Princípios de solução propostos à função transmitir força

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO	
10	10.1- Transmitir força	10.1.1- Transmitir força do cilindro para os tirantes e para as sapatas	Alavanca de distribuição de força da timoneria	Esta alavanca permite a transmissão e multiplicação dos esforços provenientes do cilindro de freio e também na timoneria do truque (esforços recebidos dos tirantes)
		10.1.2- Transmitir força da alavanca para a timoneria do truque	Tirantes de freio (varão)	Os tirantes transmitem os esforços provenientes das alavancas

Fonte: O Autor (2018)

Parar um vagão carregado em movimento requer além da transmissão de forças, à amplificação das mesmas. Isto evidencia a importância desta função. Os princípios descritos no Quadro 18 compõe a timoneria de freio, responsável por transmitir e amplificar os esforços.

3.11.2 Adaptar imprecisões do sistema

Fato comum em sistemas mecânicos é o desgaste de seus componentes. Desta forma, mecanismos devem ser projetados visando a correção, otimização e eficiência dos mesmos. Assim é proposta a função adaptar imprecisões do sistema e seus princípios de solução são exibidos no Quadro 19.

Quadro 19 - Princípios de solução para a função adaptar imprecisões do sistema

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
10	10.2- Adaptar imprecisões do sistema	Ajustador automático de folga pneumático tipo D	Ajustador automático de folga pneumático, atuação único sentido (redução da folga), apenas para cilindros de freio de 8" e 10" de volume equipados com saída lateral
		Ajustador automático de folga mecânico tipo DRV	Ajustador automático de folga mecânico, atuação duplo sentido (diminui e aumenta a folga). Alto desempenho, facilidade de manuseio, disponibilidade de peças de reposição, melhor projeto em termos de confiabilidade

Fonte: O Autor (2018)

As descrições foram baseadas no manual técnico de vagões da VALE ([20--]). A função dos ajustadores de folga é corrigir os desgastes provenientes das sapatas de freio e rodas e assim manter o curso padrão do cilindro de freio.

3.11.3 Controlar frenagem

Em um modo de operação ferroviária ideal, todos os vagões de uma composição transitariam sempre carregados (tanto na ida ao seu destino quanto na volta). Porém na prática muitas vezes isso não acontece e ocorre situações em que alguns vagões percorrem o trajeto vazios. Freinar um vagão vazio com os esforços utilizados para freinar um vagão carregado pode ocasionar um acidente, assim como não é suficiente a força necessária de frenagem de um vagão vazio para um vagão carregado.

Deste modo o Quadro 20 dispõe da função controlar frenagem e seus princípios de solução, para as descrições os dados foram fundamentados em VALE ([20--]) e Companhia Vale do Rio Doce (2005).

Quadro 20 - Princípios de solução propostos a função controlar frenagem

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
10	10.3- Controlar frenagem	Dispositivo vazio-carregado mecânico com comutador automático	Dispositivo vazio-carregado dotado de punho, alavancas e comutador de freio automático
		Dispositivo vazio-carregado mecânico com comutador manual	Dispositivo vazio-carregado dotado punho, alavancas e de comutador de freio manual
		Dispositivo vazio-carregado pneumático manual	Dispositivo vazio-carregado dotado punho, alavancas, comutador de freio manual e válvula AB-5
		Dispositivo vazio-carregado pneumático automático	Dispositivo vazio-carregado dotado de punho, alavancas, comutador de freio automático e válvula VTA
		Dispositivo vazio-carregado com volume adicional	Dispositivo vazio-carregado dotado de punho, alavancas, comutador de freio automático, reservatório adicional e válvula EL-X ou EL-60

Fonte: O Autor (2018)

O dispositivo vazio-carregado é o princípio de solução proposto para a função controlar frenagem, seu funcionamento consiste em mudar o ponto de apoio da alanca do cilindro de freio fazendo com que a força transmitida para a sapata de freio seja diferente em condições de carga ou vazio.

3.11.4 Frear mecanicamente (frenagem direta)

Apto a segurar o vagão contra movimentos indesejados, em situações de manobra ou em casos de desacoplamento da locomotiva, faz-se necessário a utilização da frenagem direta. O Quadro 21 é baseado nas informações de Borba e Bergantini (2011) e Companhia Vale do Rio do Doce (2005).

Quadro 21- Princípios de solução propostos a função frear mecanicamente (frenagem direta)

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
10	10.4- Frear mecanicamente (frenagem direta)	Freio manual de volante com catraca	Freio manual composto por volante, sistema de catracas e alavancas, utilizado para frenagem direta da composição sem a ação pneumática, próprio para vagões desacoplados
		Freio manual de alavanca	Freio manual composto por alavanca de acionamento, sistema de catracas e alavancas, utilizado para frenagem direta da composição sem a ação pneumática, próprio para vagões desacoplados

Fonte: O Autor (2018)

Pode-se observar no Quadro 21 os princípios de solução recomendados para a função frear mecanicamente (frenagem direta). Ressalta-se que o mais usual nas ferrovias brasileira é o freio manual de volante com catraca.

3.11.5 Transmitir força de frenagem para a roda

Chama-se de fricção a resistência gerada entre dois corpos em contato e, portanto, pode-se dizer que a fricção é o princípio fundamental do freio, conforme Companhia Vale do Rio Doce (2005). Logo, o Quadro 22 apresenta a função que está relacionada ao conceito de fricção, transmitir força de frenagem para a roda, e seus princípios de solução. Descrições de acordo com Borba e Bergantini (2011) e Companhia Vale do Rio do Doce (2005).

Quadro 22 - Princípios de solução propostos à função transmitir força de frenagem para a roda

FUNÇÃO	SUBFUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	DESCRIÇÃO
10	10.5- Transmitir força de frenagem para a roda	Sapata de freio de material não metálico de baixo coeficiente de atrito	Seu material de atrito é formado por matriz polimérica composta por borrachas e resinas com cargas inertes, modificadores de atritos e fibras, baixo coeficiente de atrito
		Sapata de freio de material não metálico de médio coeficiente de atrito	Seu material de atrito é formado por matriz polimérica composta por borrachas e resinas com cargas inertes, modificadores de atritos e fibras, médio coeficiente de atrito
		Sapata de freio de material não metálico de alto coeficiente de atrito	Seu material de atrito é formado por matriz polimérica composta por borrachas e resinas com cargas inertes, modificadores de atritos e fibras, alto coeficiente de atrito

Fonte: O Autor (2018)

Nota-se no Quadro 22 que são as sapatas de freio os dispositivos responsáveis pela transmissão dos esforços à superfície de rolamento da roda, sendo assim a última etapa do processo de frenagem. Cada truque possui quatro sapatas, as quais são classificadas por alto, médio ou baixo atrito.

4 GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

De modo geral, os princípios de solução foram organizados pela matriz morfológica, reproduzindo uma ampla gama de alternativas para a seleção do material rodante. Nesta etapa, é proposta a organização dos dados em uma planilha do Microsoft Excel a qual permite o usuário filtrar as soluções de acordo com as restrições de sua aplicação. No Apêndice A, encontram-se as capturas de tela da planilha.

Na planilha, estão contidos a lista de parâmetros e a matriz morfológica com os dados filtrados. Primeiramente, são definidos os parâmetros relevantes para o projeto conforme Quadro 23. Na primeira coluna é apresentado a lista de parâmetros, esta coluna é fixa e representa os principais critérios que diferenciam os princípios de solução, de acordo com as suas descrições. Já a segunda coluna, são as restrições de operação ou de projeto as quais são editáveis com base em uma lista dropdown, os itens de cada lista foram obtidos de normas, artigos, documentos e catálogos técnicos consultados para a elaboração da matriz morfológica.

Quadro 23 - Lista de parâmetros

Lista de parâmetros	Restrições operacionais ou de projeto
Defina a carga transportada	Minério de ferro
Defina a bitola (m)	1
Informe a Carga / eixo (kg)	25000
Restrições para o engate	Pequena distância entre truques
Restrições para o aparelho de choque e tração	Nenhuma
Restrições para o estrado	Nenhuma
Restrições para o ampara-balanço	Nenhuma
Restrições para o DDV	Nenhuma
Restrições para o reservatório de ar	Nenhuma
Restrições para o encanamento geral	Nenhuma
Restrições equipamentos para filtrar impurezas	Nenhuma
Restrições para a torneira	Nenhuma
Restrições para o tê de ramal	Nenhuma
Restrições para válvulas de descarga	Nenhuma
Restrições para válvulas de controle	Nenhuma
Restrições para o controle de alívio de descarga	Nenhuma
Restrições para o cilindro de freio	Nenhuma

Continua (...)

Quadro 23 – Lista de parâmetros

Lista de parâmetros	Restrições operacionais ou de projeto
Restrições para a entrada do cilindro de freio	Nenhuma
Restrições para o ajustador automático de folga	Nenhuma
Restrições para o dispositivo vazio-carregado	Nenhuma
Tipo de acionamento do dispositivo vazio-carregado	Nenhuma
Restrições para a sapata de freio	Nenhuma

Fonte: O Autor (2018)

Logo à direita, na planilha do Excel, estão os dados organizados conforme as suas funções e filtros selecionados na lista de parâmetros. Portanto, ao definir cada item do Quadro 23, os princípios de solução são filtrados e apresentados de acordo com as restrições escolhidas. Deste modo, o Quadro 24 apresenta os princípios de solução (conforme os parâmetros do Quadro 23) para as funções armazenar carga, conectar composição e resistir tração e amortecer choques, respectivamente conforme apresentado na planilha.

Quadro 24 - Exemplo da matriz morfológica com dados filtrados para a função 1, 2 e 3

FUNÇÃO	ARMAZENAR CARGA	CONECTAR COMPOSIÇÃO E RESISTIR TRAÇÃO	AMORTECER CHOQUES
PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO	GÔNDOLA (GD)	Conjunto de engate completo E60DE	ACT Mark-50
	GÔNDOLA (GP)	Conjunto de engate completo SBE60DE	ACT Mark-90AT
	GÔNDOLA (GF)	Conjunto de engate completo SE60DE	ACT Mark-75G
	GÔNDOLA (GM)	Conjunto de engate completo EF68BE	ACT Mark-70E
	GÔNDOLA (GT)	Conjunto de engate completo EF60DE	ACT Mark-558
	GÔNDOLA (GS)	Conjunto de engate completo F70CE	ACT Mark-R500
	GÔNDOLA (GH)	Conjunto de engate completo FR70CE	
	GÔNDOLA (GC)		
	GÔNDOLA (GB)		
	GÔNDOLA (GE)		

Fonte: O Autor (2018)

Assim, a planilha tem a finalidade de filtrar os princípios de solução. As alternativas de projeto são geradas a partir da combinação dos princípios de solução de cada função.

4.1 ORIENTAÇÕES DE USO

Como mencionado anteriormente, a planilha permite que o usuário selecione as restrições operacionais ou de projeto conforme a sua necessidade. Neste contexto, o Quadro 25 apresenta a lista de parâmetros e suas alternativas disponíveis para a seleção.

Quadro 25 - Lista de parâmetros e alternativas para seleção

Parâmetro	Critério disponível para seleção
CARGA TRANSPORTADA	<ul style="list-style-type: none"> • Minério de ferro • Bauxita • Cobre • Grãos • Farelos • Açúcar • Fertilizantes • Calcário agrícola • Cascalho • Brita • Contêineres • Materiais para ferrovia • Combustível • Óleo vegetal • Granel sólido • Ensacados • Caixarias • Cargas unitizadas • Granel corrosivo • Granel que pode ser exposto ao tempo • Congelados em geral • Produtos siderúrgicos • Madeira • Peças de grandes dimensões • Cargas vivas • Automóveis • Para produtos pulverulentos • Líquidos que precisam se manter aquecidos
Bitola	<ul style="list-style-type: none"> • Métrica (1,00m) • Padrão (1,435m) • Larga (1,6m)
Carga por eixo	<ul style="list-style-type: none"> • 20000 kg • 25000 kg • 30000 kg • 32500 kg • 35700 kg • 40000 kg
Restrições para o engate	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Pequenas distâncias entre truques • Próprio para vagão tanque e para longas composições

Continua (...)

Quadro 25 - Lista de parâmetros e alternativas para seleção

Parâmetro	Critério disponível para seleção
Restrições para o aparelho de choque	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Menor peso • Material de atrito de borracha
Restrições para o estrado	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Necessita longarina central • Próprio para vagões tanque
Restrições para o ampara-balanço	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Contato constante entre vagão e truque • Folga controlada
Restrições para o DDV	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Acionamento mecânico • Acionamento elétrico
Restrições para o reservatório de ar	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Para vagões singelos com cilindro de freio 10x12" ou duais com cilindros de freio 8x8" • Para vagões duais com cilindro de freio 10x12"
Restrições para o encanamento geral	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Aço SCH-80 • Tubo flexível
Restrições equipamentos de para filtrar impurezas	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Para filtrar impurezas instalado antes da válvula de controle • Para vagões desengatados instalado na extremidade do vagão
Restrições para a torneira	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Para o encanamento geral • Para o encanamento equilibrante do reservatório principal • Para o encanamento equilibrante do cilindro de freio
Restrições para o tê de ramal	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Conectar tubos dispostos à 90° • Conectar tubos dispostos à 45°
Restrições para a válvula de descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Própria para o sistema ECP • Uso adequado para carros longos
Restrições para a válvula de controle	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Própria para o sistema de freio EP-60 • Alívio acelerado após a aplicação do emergência • Atuação rápida • Compatibilidade com outros tipos de válvulas
Restrições para o controle de alívio de descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma; • Própria para o cilindro de freio 8x8" • Própria para o cilindro de freio 10x12" • Necessita alívio direto, restrito e super-restrito

Continua (...)

Quadro 25 - Lista de parâmetros e alternativas para seleção

Parâmetro	Critério disponível para seleção
Restrições para o cilindro de freio	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • 10" de diâmetro e 12" de deslocamento • 8" de diâmetro e deslocamento • Com suporte para ponto fixo • Sem suporte para ponto fixo • Com saída para ajustador pneumático • Sem saída para ajustador pneumático
Restrições para a entrada do cilindro de freio	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma; central; 90° e lateral • Central • 90° • Lateral
Restrições para o ajustador automático de folga	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Único sentido (diminui folga) • Duplo sentido (aumenta e diminui a folga)
Restrições para o dispositivo vazio-carregado	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Manual • Automático
Tipo de acionamento do dispositivo vazio-carregado	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Acionado mecanicamente • Acionado pneumáticamente
Restrições para a sapata de freio	<ul style="list-style-type: none"> • Nenhuma • Baixo coeficiente de atrito • Coeficiente de atrito intermediário • Alto coeficiente de atrito

Fonte: O Autor (2018)

Inicialmente é necessário que o usuário tenha estipulado o tipo de carga a ser transportada e levantado os dados da malha de operação, são eles: bitola e carga por eixo. Os outros parâmetros podem ser selecionados de acordo com as necessidades do usuário, caso não existam restrições a opção “nenhuma” retorna todas as opções disponíveis na matriz morfológica para determinado princípio de solução.

Após a seleção dos parâmetros, é gerada a matriz morfológica com seus princípios de solução filtrados. A proposta para geração de alternativas ao projeto de vagões se dá a partir da combinação entre os princípios de solução de cada função.

Mesmo com os princípios de solução filtrados, a gama de combinações ainda é extensa, assim, cabe ao projetista a habilidade de escolha da melhor solução. Porém para simplificar, nas diretrizes de Pahl et al. (2005), recomenda-se o uso de métodos de seleção que se caracterizam por atividades de eliminação e priorização em forma de listas de seleção, o uso deste método é uma sugestão para trabalhos futuros.

5 APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÕES

A elaboração do estudo de caso consiste na aplicação da planilha de geração de soluções em requisitos operacionais retirados da Malha Sul.

Conforme dados da Agência Nacional de Transporte Terrestres (ANTT, 2018) a concessão da malha sul pertence a empresa Rumo Logística. A bitola desta malha ferroviária é a métrica. Segundo informações da América Latina Logística (ALL, 2012) cerca de 96% da participação de mercado da empresa no porto de São Francisco do Sul, resume-se a commodities agrícolas, destacando-se o milho e a soja.

Ainda em relação a informações técnicas, a linha férrea Mafra–São Francisco do Sul possui um raio de curva mínimo de 101 metros, rampa máxima de 3%, os tipos de trilhos utilizados são TR-37, TR-45 e TR-50, as quais variam conforme o trecho. A carga máxima por eixo para esta linha é de 20 toneladas (ANTT, 2016).

O manual técnico de vagões da América Latina Logística (ALL, [20--]), relata procedimentos para a manutenção de vagões que devem ser aplicados nos pátios de Mafra, Ponta Grossa e Santa Maria. Dentre os procedimentos, destaca-se a manutenção de truques *ride control* e *barber*, ampara-balanço de castanha e rolete, cilindros de freio 8x8” e 10x12” com ponto fixo, ajustadores automáticos de folga de duplo sentido, encanamento geral de aço, retentores de alívio de 2 e 3 posições para ambos os tipos de cilindros de freio, suportes para fixação dos cilindros de freio, válvulas de descarga, estrados com longarina central, entre outras. Logo é pressuposto a utilização destes equipamentos.

Neste exemplo, para a aplicação da planilha, serão utilizados os dados mencionados no manual técnico de vagões da ALL em conjunto com as seguintes hipóteses: a composição será considerada longa (acima de 100 vagões), vagão singelo e intermediário (não está desacoplado ou isolado, sem necessidade de engate cego).

Assim, o Quadro 26 apresenta a lista de parâmetros com as restrições aplicadas de acordo com os dados mencionados.

Quadro 26 - Lista de parâmetros do estudo de caso

Lista de parâmetros	Restrições operacionais ou de projeto
Defina a carga transportada	Grãos
Defina a bitola (m)	1
Informe a Carga / eixo (kg)	20000
Restrições para o engate	Pequena distância entre truques
Restrições para o aparelho de choque e tração	Nenhuma
Restrições para o estrado	Necessita longarina central
Restrições para o ampara-balanço	Folga controlada
Restrições para o DDV	Acionamento mecânico
Restrições para o reservatório de ar	Para vagões singelos com cilindro de freio 10x12" ou duais com cilindros de freio 8x8"
Restrições para o encanamento geral	Aço SCH-80
Restrições equipamentos para filtrar impurezas	Para filtrar impurezas instalado antes da válvula de controle
Restrições para a torneira	Nenhuma
Restrições para o tê de ramal	Nenhuma
Restrições para válvulas de descarga	Uso adequado à carros longos
Restrições para válvulas de controle	Alívio acelerado após aplicação do emergência
Restrições para o controle de alívio de descarga	Necessita alívio direto, restrito e super-restrito
Restrições para o cilindro de freio	Com saída para ajustador pneumático
Restrições para a entrada do cilindro de freio	Nenhuma
Restrições para o ajustador automático de folga	Duplo sentido (aumenta e diminui folga)
Restrições para o dispositivo vazio-carregado	Automático
Tipo de acionamento do dispositivo vazio-carregado	Nenhuma
Restrições para a sapata de freio	Nenhuma

Fonte: O Autor (2018)

Portanto, no Quadro 27 estão os princípios de solução para o estudo de caso que foram gerados de acordo com os filtros aplicados no Quadro 26, a matriz foi reorganizada para melhor visualização no trabalho.

Com os filtros aplicados, a combinação dos princípios de solução permitiu se obter um total de 8.748.000 alternativas de projeto. Apesar de elevado o número de possíveis alternativas, justifica-se pela quantidade de funções propostas para o sistema.

Quadro 27 - Princípios de solução para o estudo de caso

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO
ARMAZENAR CARGA	HOPPER (HF)
	HOPPER (HP)
	HOPPER (HT)
CONECTAR COMPOSIÇÃO; RESISTIR TRAÇÃO	Conjunto de engate completo E60DE
	Conjunto de engate completo SE60DE
	Conjunto de engate completo EF68BE
AMORTECER CHOQUES	ACT Mark-50
	ACT Mark-90AT
	ACT Mark-75G
	ACT Mark-70E
	ACT Mark-558
	ACT Mark-R500
RESISTIR E TRANSMITIR ESFORÇOS	Estrado com longarina central
FORNECER ESTABILIDADE	Ampara balanço de folga controlada
PROVER SUSTENTAÇÃO E MOVIMENTO	Truque Motion Control bitola métrica
	Truque Swing Motion bitola métrica
PREVENIR DESCARRILAMENTO	DDV de válvula de descarga (emergência) e cabo de aço
	DDV de válvula de descarga (emergência) pilotada por fusível
	DDV de fusível com alça
ARMAZENAR AR COMPRIMIDO	Reservatório de ar combinado 41 / 57 litros
TRANSMITIR AR COMPRIMIDO ENTRE VAGÕES	Mangueira do encanamento geral 22"
	Mangueira do encanamento geral 30"
	Mangueira do encanamento geral 34"
	Mangueira do encanamento geral 64"
	Mangueira do encanamento geral 68"
TRANSMITIR AR COMPRIMIDO NO VAGÃO	Encanamento geral (tubo de aço SCH-80)
FILTRAR IMPUREZAS	Coletor de pó com torneira interruptora
ISOLAR O SISTEMA	Torneira angular 1 1/4"
	Torneira reta 1"
	Torneira reta 3/8"
	Torneira reta 1" com punho removível
	Torneira reta 3/8" com punho removível
CONECTAR COMPONENTES	Tê de ramal com saída lateral
	Tê de ramal com saída 45°

Continua (...)

Quadro 27 - Princípios de solução para o estudo de caso

FUNÇÃO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO
EVACUAR AR COMPRIMIDO	Válvula de descarga NR 8 e VX
CONDUZIR E SERVIR AR COMPRIMIDO	Válvula de controle ABDX
	Válvula de controle ABDW
	Válvula de controle DB-60
CONTROLAR TEMPO DE DESCARGA DOS VAGÕES	Retentor de controle de alívio com três posições - 8x8"
	Retentor de controle de alívio com três posições - 10x12"
ACIONAR O SISTEMA MECÂNICO DE FREIO	Cilindro de freio 10x12" sem suporte para ponto fixo
	Cilindro de freio 10x12" sem suporte para ponto fixo e entrada 90°
	Cilindro de freio 10x12" com suporte para ponto fixo
	Cilindro de freio 8x8" sem suporte para ponto fixo
	Cilindro de freio 8x8" com suporte para ponto fixo
TRANSMITIR FORÇA DO CILINDRO DE FREIO	Alavanca de distribuição de força da timoneria
TRANSMITIR FORÇA DAS ALAVANCAS	Tirantes de freio (varão)
ADAPTAR IMPRECISÕES DO SISTEMA	Ajustador automático de folga pneumático tipo D
CONTROLAR FRENAGEM	Dispositivo vazio-carregado mecânico com comutador automático
	Dispositivo vazio-carregado pneumático automático
	Dispositivo vazio-carregado com volume adicional
FRENAGEM DIRETA	Freio manual de volante com catraca
	Freio manual de alavanca
TRANSMITIR FORÇA DE FRENAGEM PARA A RODA	Sapata de freio de material não metálico de baixo coeficiente de atrito
	Sapata de freio de material não metálico de médio coeficiente de atrito
	Sapata de freio de material não metálico de alto coeficiente de atrito

Fonte: O Autor (2018)

A planilha do Excel demonstrou enorme utilidade, visto que a matriz morfológica encontrou 20,474,560,512,000 possibilidades de combinações diferentes e com o uso da planilha no estudo de caso as combinações foram reduzidas para 8,748,000.

A ferramenta se mostrou eficaz ao propor o uso de vagões hopper, pois segundo o Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2018), no ano de 2012 a empresa Rumo Logística tinha cerca de 15,915 vagões em operação na malha sul, onde 7,393 eram do tipo hopper, em vista que neste mesmo ano, 2012, 96% do market share da Rumo Logística no porto de São Francisco do Sul era para o transporte de commodities agrícolas.

Os três vagões sugeridos pela ferramenta, hopper (HF, HP e HT), pertencem a frota da Rumo Logística. Tanto o hopper (HF) quanto o hopper (HT) são utilizados pela empresa para o transporte de granel e açúcar. A única discrepância foi em relação ao hopper (HP), a qual a Rumo Logística utiliza apenas para o transporte de açúcar (RUMO LOGÍSTICA, 2018).

Apenas com a função armazenar carga foi possível realizar a comparação com dados reais. Para as demais funções, devido à falta de informações técnicas e operacionais, a ferramenta se mostra limitada.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho de conclusão de curso visa a utilização de princípios de metodologia de projeto para a geração de alternativas de projeto. Quanto as etapas, é proposta uma modelagem funcional ao sistema, o desenvolvimento da matriz morfológica, construção e aplicação da planilha geradora de alternativas no Microsoft Excel e estudo de caso.

Foi apresentado uma revisão bibliográfica sobre processo de desenvolvimento de produtos, projeto conceitual, modelagem funcional, busca de solução e matriz morfológica.

O TCC contribuiu para a área de desenvolvimento de produtos relacionados à engenharia ferroviária ao aplicar a modelagem funcional ao transporte de cargas e sugerir procedimentos metódicos para a geração de alternativas aos projetos.

Em respeito à elaboração da modelagem funcional, foi definido como tarefa global o transporte de cargas, logo como função global transportar cargas. A modelagem funcional mostrou-se relevante ao identificar em seu desdobramento 10 funções e outras 15 subfunções, a qual mostra-se como um bom indicativo que a análise funcional foi ampla e, portanto, minimizando a chance de omissões. Além disso, permitiu a correlação entre as estruturas físicas do produto com suas funcionalidades. Assim, conclui-se que a modelagem funcional foi apropriada, pois ao relacionar produtos com suas funcionalidades fornece conhecimento técnico dos equipamentos que compõe um vagão ferroviário correlacionando-os com suas funcionalidades. Portanto, a modelagem funcional pode ser usada para o gerenciamento do conhecimento sobre os sistemas técnicos.

Além da análise funcional, a matriz morfológica também auxilia na difusão do conhecimento técnico dos equipamentos ferroviários ao ordenar os princípios de solução e atribuindo-lhes descrições técnicas. O uso das matrizes ordenadoras demonstrou eficiência ao conceber e organizar uma extensa gama de soluções as funções propostas. Também deve-se ressaltar que a matriz morfológica desenvolvida, pode exercer um importante papel como base de dados à trabalhos futuros.

A utilização do Microsoft Excel para organizar e desenvolver uma planilha e, portanto, a filtragem dos princípios de solução mostrou-se eficaz, pois diminuir expressivamente o número de alternativas e concepções para o projeto é de extrema

importância para fases futuras de seleção e avaliação, que também compõe o projeto conceitual, visto que as mesmas são muito trabalhosas.

A geração das alternativas ao projeto de vagões é realizada a partir da combinação entre os princípios de solução de cada função. Sendo que se totalizaram 20,474,560,512,000 possibilidades de combinações diferentes e com o uso da planilha no estudo de caso as combinações foram reduzidas para 8,748,000.

O estudo de caso deu relevância à ferramenta e demonstrou sua eficiência dado que os vagões propostos pela planilha são vagões que pertencem a frota da Rumo Logística e são utilizados para o transporte de granel.

Então, como proposta de trabalhos futuros, é sugerido o desenvolvimento de ferramentas de seleção e avaliação. Deste modo, devido a ampla gama de alternativas obtidas, a ferramenta de seleção descarta as soluções que não são promissoras, fornecendo apenas as soluções compatíveis para o método de avaliação. Já a ferramenta de avaliação, seleciona a alternativa adequada para a aplicação, recomenda-se o uso da análise de valores da engenharia de sistemas e a avaliação técnico-econômica de acordo com a diretriz VDI 2225.

Além disso, propõe-se o aperfeiçoamento da ferramenta. Recomenda-se o contato com uma das operadoras do setor ferroviário nacional para buscar dados técnicos utilizados na prática afim de alimentar a matriz morfológica e também otimizar a planilha comparando com os resultados utilizados pela operadora.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Warlisson Sousa de. **Dispositivo para Realizar a Retirada e Instalação do conjunto Choque e Tração dos Vagões**. 2010. 13 f.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRES – ANTT (Org.). **Rumo Malha Sul S.A.** Disponível em:
<http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/America_Latina_Logistica_Malha_Sul_SA.html>
. Acesso em: 02 nov. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT (Org.). **Declaração de Rede 2016: América Latina Logística Malha Sul**. 2016. 224 p.

AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA - ALL (Org.). **Release de Resultados 3T12**. 2012. 32 p.

AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA - ALL (Org.). **Manual técnico de vagões**. [20--]. 110 p.

AMSTED RAIL (Org.). **AMSTED RAIL – BOGIES: 1000 MM TRACK GAUGE**. [s.i]: Amstedrail, [20--]. 6 p.

_____. **AMSTED RAIL – BOGIES: 1435 MM TRACK GAUGE**. [s.i]: Amstedrail, [20--]. 6 p.

_____. **AMSTED RAIL – BOGIES: 1600 MM TRACK GAUGE**. [s.i]: Amstedrail, [20--]. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA. **ABIFER na mídia: Renovação da frota eleva a produtividade**. 2015. Disponível em:
<http://www.abifer.org.br/Noticia_Detalhe.aspx?codi=17353&tp=1>. Acesso em: 08 set. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11691-2015: Vagão ferroviário - Classificação, identificação e marcação**. Rio de Janeiro, 2015. 6 p.

_____. **NBR 16086:2012: Vagão ferroviário — Engates, braçadeiras e hastes de ligação — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012. 42 p.

_____. **NBR 16087:2012: Vagão ferroviário — Sistema de choque e tração — Componentes e conjuntos de engates automáticos, hastes de ligação e braçadeiras**. Rio de Janeiro, 2012. 41 p.

_____. **NBR 16440:2015: Vagão ferroviário — Truque do tipo três peças, com estrutura fundida, com dois rodeiros — Requisitos mínimos**. [s.i.]: 2015. 12 p.

BACK, Nelson et al. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.

BAXTER, Mike R. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Blusher, 2000.

BORBA, José Luiz; BERGANTINI, Mauro Antônio. **Dinâmica e Frenagem Ferroviária**. Vitória: 2011. 274 p.

BORBA, José Luiz. **Aula Sistema de Freios**. Vitória: Valer, 2011. 281 slides, color.

CARVALHAES, Bernardo Bicalho. **Tubulação Flexível e Conexões para Sistema de Freio de Veículos Ferroviários**. [s.i.]: Revista Ferroviária, 2010. 12 p.

CHRISPIM, Eduardo Mathiasi. **Análise da operação ferroviária do porto do Rio de Janeiro utilizando simulação de eventos discretos**. 2007. 62 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE (Org.). **Curso básico de freios de locomotivas e vagões**. [s.i.], 2005. 43 p.

DEBONI, José Eduardo Zindel. **Modelagem orientada a objetos com a UML: Técnicas de análise, documentação e projeto de sistemas**. São Paulo: Futura, 2003.

FERREIRA, Marcelo Gitirana Gomes. **Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual**. 1997. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

FROTA NACIONAL cresce 6,2% e chega a 83.733 vagões. **Revista Ferroviária**. Matéria de Capa, p. 10-15, 2006. Disponível em: <<http://www.revistaferroviaria.com.br/imagens/pdf/19.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2017.

GIORIA, Gustavo dos Santos. **Proposta de modelagem funcional integral do produto aplicável a projetos derivativos**. 2016. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de doutorado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

GREENBRIER MAXION (Org.). **Vagões: Inovação para todo o tipo de carga**. Disponível em: <<http://gbmx.com.br/tipos-negocios/vagoes/>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

KNORR-BREMSE (Org.). **Brochure EDT101: Pneumatic derailment detector**. [s.i.]: Knorr-bremse, [20--]. 4 p. Disponível em: <http://www.knorr-bremse.com/media/documents/railvehicles/en/en_neu_2010/Brochure_EDT_101_derailment_detection_system.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2018.

MATTIODA, Rosana Adami et al. **Projeto integrado de produto orientado para a sustentabilidade: uma visão do desenvolvimento de produto sustentável**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XIX SIMPEP, 2012, Bauru.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL (Org.). **Número de Vagões em Tráfego, por Concessão e Tipo - Desempenho da Frota**. [2018]. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/images/BIT_TESTE/Publica%C3%A7oes/Tabelas_AET_2018/02_cadeia_produtiva/2.10.3.xlsx>. Acesso em: 01 nov. 2018.

NEW YORK AIR BRAKE (Org.). **Product Guide: Locomotive, railcar and rail services products**. Nova Iorque: Nyab, 2018. 54 p.

PAHL, Gehard, et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 2005.

QUINTINO, Ernani. **Sistema de Vagões**. Belo Horizonte, 2008.

ROMANO, Sergio José. **Comparação de Desempenho dos Sistemas de Freio de Atrito tipo Sapatilha-Disco e Sapata-Roda para Veículos Ferroviários de Carga**. 2003. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Projeto Mecânico, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ROMEIRO FILHO, Eduardo et al. **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ROZENFELD, Henrique et al.. **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUMO LOGÍSTICA (Org.). **Frota**. Disponível em: <http://pt.rumolog.com/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=27060&conta=45>. Acesso em: 06 nov. 2018.

SILVA, Amado da Costa e. **Uma introdução à engenharia ferroviária**. São Paulo: Clube de Autores, 2012.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D.. **Projeto e desenvolvimento de produtos**. 5. ed. Nova Iorque: Mc Graw Hill, 2012.

VALE (Org.). **Manual técnico de vagões**. [s.i.]: Vale, [20--]. 237 p.

WABTEC CORPORATION (Org.). **Freight Catalog**. [s.i.]: Wabtec, 2014. 72 p.

APÊNDICE A – CAPTURA DE TELA DA PLANILHA

Os princípios de solução gerados pela matriz morfológica foram organizados na planilha, na Figura 20 é apresentada a lista de restrições a qual permite o usuário selecionar os dados conforme sua necessidade de projeto.

Figura 20 - Planilha filtro de alternativa, lista de restrições

	A	B
1	Lista de parâmetros	
2	Defina a carga transportada	Minério de ferro
3	Defina a bitola (m)	1
4	Informe a Carga / eixo (kg)	20000
5	Restrições para o engate	Nenhuma
6	Restrições para o aparelho de choque e tração	Nenhuma Pequena distância entre truques Próprio para vagão tanque Longas composições
7	Restrições para o estrado	
8	Restrições para o ampara-balanço	
9	Restrições para o DDV	Nenhuma
10	Restrições para o reservatório de ar	Nenhuma
11	Restrições para o encanamento geral	Nenhuma
12	Restrições equipamentos para filtrar impurezas	Nenhuma
13	Restrições para a torneira	Nenhuma
14	Restrições para o tê de ramal	Nenhuma
15	Restrições para válvulas de descarga	Nenhuma
16	Restrições para válvulas de controle	Nenhuma
17	Restrições para o controle de alívio de descarga	Nenhuma
18	Restrições para o cilindro de freio	Nenhuma
19	Restrições para a entrada do cilindro de freio	Nenhuma
20	Restrições para o ajustador automático de folga	Nenhuma
21	Restrições para o dispositivo vazio-carregado	Nenhuma
22	Tipo de acionamento do dispositivo vazio-carregado	Nenhuma
23	Restrições para a sapata de freio	Nenhuma
24		
25		
26		

Fonte: O Autor (2018)

Já as Figuras 21 à 29, ilustram os princípios de solução da matriz morfológica organizados e filtrados na planilha (de acordo com as restrições selecionadas na Figura 20).

Figura 21 - Princípios de solução funções 1 a 4

	D	E	F	G	H
2	FUNÇÃO	ARMAZENAR CARGA	CONECTAR COMPOSIÇÃO; RESISTIR TRAÇÃO	AMORTECER CHOQUES	RESISTIR E TRANSMITIR ESFORÇOS
3	PRINCÍPIO	GÔNDOLA (GD)	Conjunto de engate completo E60DE	ACT Mark-50	Estrado em caixão
4	DE	GÔNDOLA (GP)	Conjunto de engate completo SBE60DE	ACT Mark-90AT	Estrado com longarina central
5	SOLUÇÃO	GÔNDOLA (GF)	Conjunto de engate completo SE60DE	ACT Mark-75G	Estrado autoportante
6		GÔNDOLA (GM)	Conjunto de engate completo EF688E	ACT Mark-70E	
7		GÔNDOLA (GT)	Conjunto de engate completo EF60DE	ACT Mark-558	
8		GÔNDOLA (GS)	Conjunto de engate completo F70CE	ACT Mark-R500	
9		GÔNDOLA (GH)			
10		GÔNDOLA (GC)			
11		GÔNDOLA (GB)			
12		GÔNDOLA (GE)			
13					

Fonte: O Autor (2018)

Figura 22 - Princípios de solução funções 5 e 6

	I	J
2	FORNECER ESTABILIDADE	PROVER SUSTENTAÇÃO E MOVIMENTO
3	Ampara balanço de contato constante - Modelo SBX	Truque Motion Control bitola métrica
4	Ampara balanço de contato constante - elastômero	Truque Swing Motion bitola métrica
5	Ampara balanço de folga controlada	
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

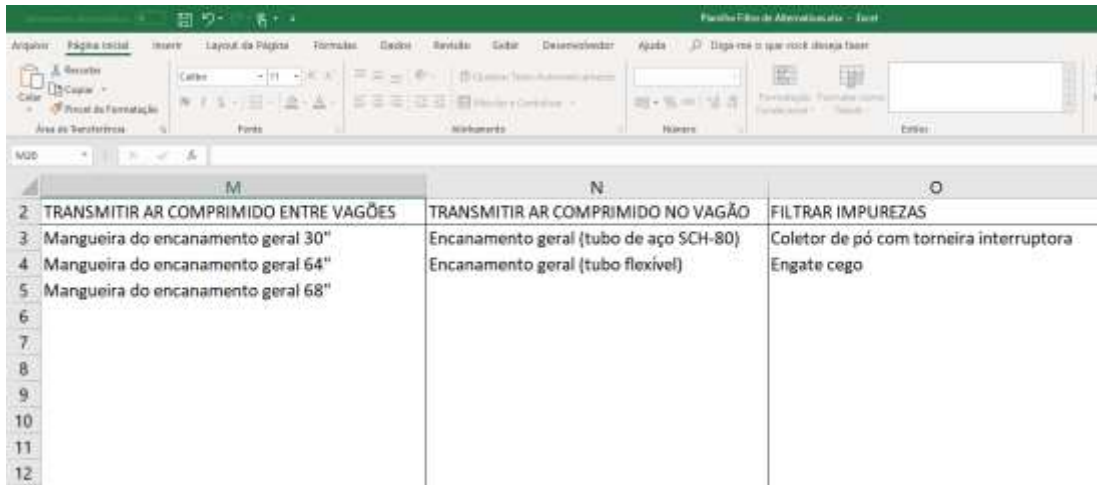
Fonte: O Autor (2018)

Figura 23 - Princípios de solução funções 7 e 8

	K	L
2	PREVENIR DESCARRILAMENTO	ARMAZENAR AR COMPRIMIDO
3	DDV de válvula de descarga (emergência) e cabo de aço	Reservatório de ar combinado 41 / 57 litros
4	DDV - sistema eletropneumático - EDT101	Reservatório de ar combinado 62 / 96 litros
5	DDV de válvula de descarga (emergência) pilotada por fusível	
6	DDV de fusível com alça	
7		
8		
9		

Fonte: O Autor (2018)

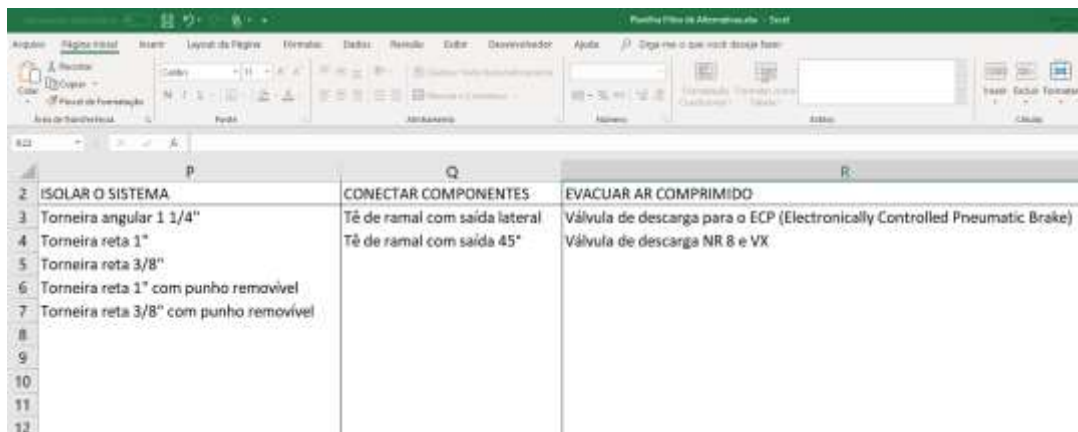
Figura 24 - Princípios de solução funções 9.1 a 9.3



	M	N	O
2	TRANSMITIR AR COMPRIMIDO ENTRE VAGÕES	TRANSMITIR AR COMPRIMIDO NO VAGÃO	FILTRAR IMPUREZAS
3	Mangueira do encanamento geral 30"	Encanamento geral (tubo de aço SCH-80)	Coletor de pó com torneira interruptora
4	Mangueira do encanamento geral 64"	Encanamento geral (tubo flexível)	Engate cego
5	Mangueira do encanamento geral 68"		
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Fonte: O Autor (2018)

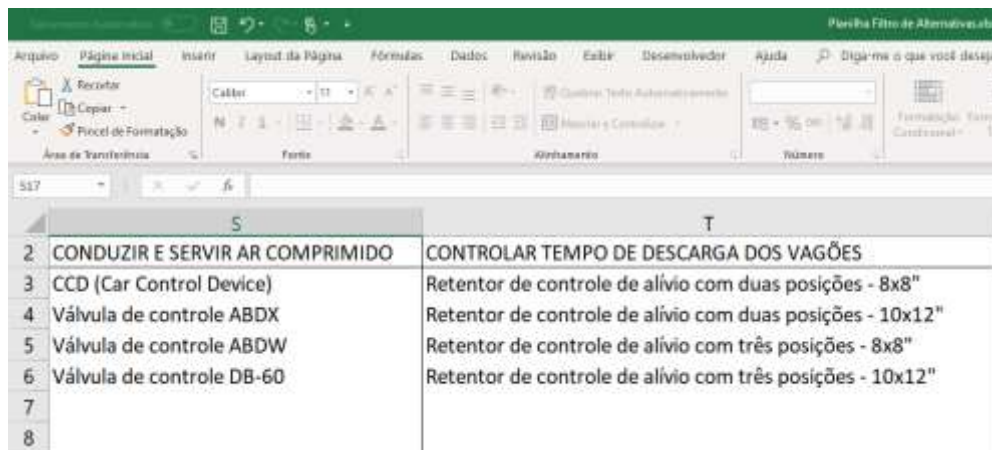
Figura 25 - Princípios de solução funções 9.4 a 9.6



	P	Q	R
2	ISOLAR O SISTEMA	CONECTAR COMPONENTES	EVACUAR AR COMPRIMIDO
3	Torneira angular 1 1/4"	Tê de ramal com saída lateral	Válvula de descarga para o ECP (Electronically Controlled Pneumatic Brake)
4	Torneira reta 1"	Tê de ramal com saída 45°	Válvula de descarga NR 8 e VX
5	Torneira reta 3/8"		
6	Torneira reta 1" com punho removível		
7	Torneira reta 3/8" com punho removível		
8			
9			
10			
11			
12			

Fonte: O Autor (2018)

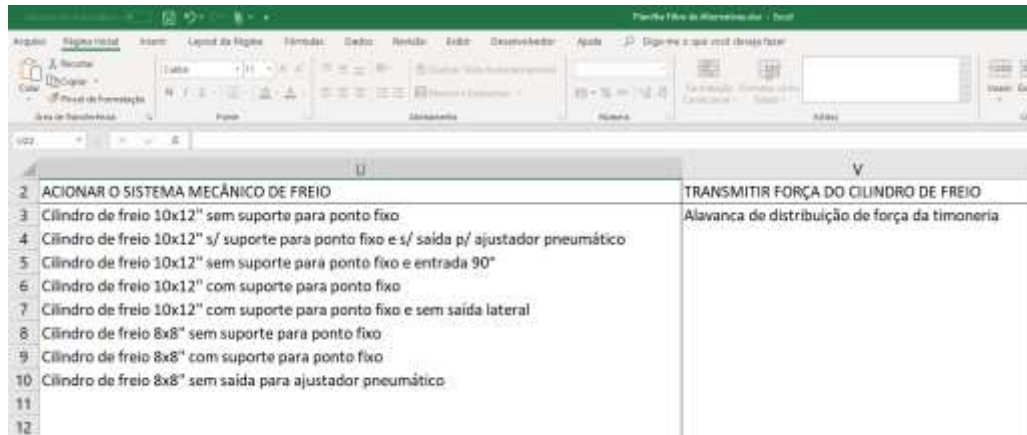
Figura 26 - Princípios de solução funções 9.7 e 9.8



	S	T
2	CONDUZIR E SERVIR AR COMPRIMIDO	CONTROLAR TEMPO DE DESCARGA DOS VAGÕES
3	CCD (Car Control Device)	Retentor de controle de alívio com duas posições - 8x8"
4	Válvula de controle ABDX	Retentor de controle de alívio com duas posições - 10x12"
5	Válvula de controle ABDW	Retentor de controle de alívio com três posições - 8x8"
6	Válvula de controle DB-60	Retentor de controle de alívio com três posições - 10x12"
7		
8		

Fonte: O Autor (2018)

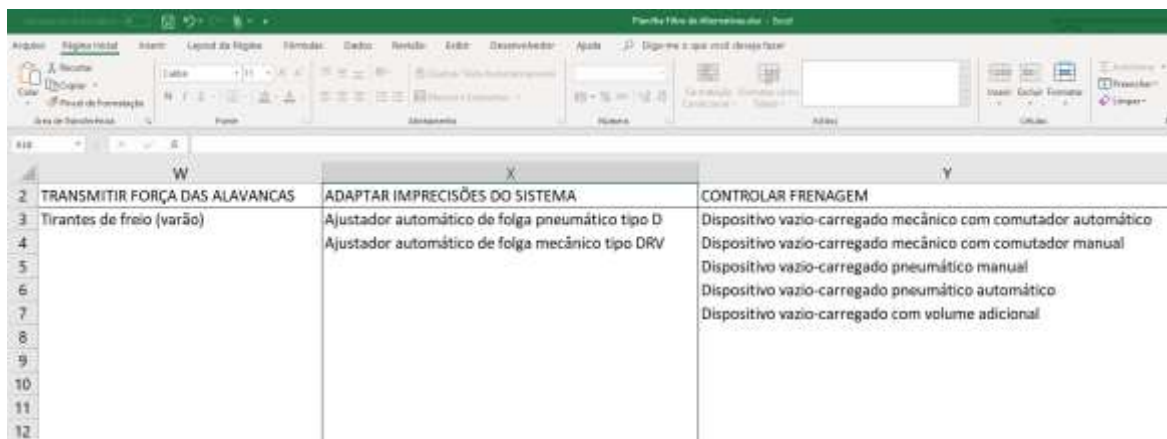
Figura 27 - Princípios de solução funções 9.9 e 10.1.1



	U	V
2	ACIONAR O SISTEMA MECÂNICO DE FREIO	TRANSMITIR FORÇA DO CILINDRO DE FREIO
3	Cilindro de freio 10x12" sem suporte para ponto fixo	Alavanca de distribuição de força da timoneria
4	Cilindro de freio 10x12" s/ suporte para ponto fixo e s/ saída p/ ajustador pneumático	
5	Cilindro de freio 10x12" sem suporte para ponto fixo e entrada 90°	
6	Cilindro de freio 10x12" com suporte para ponto fixo	
7	Cilindro de freio 10x12" com suporte para ponto fixo e sem saída lateral	
8	Cilindro de freio 8x8" sem suporte para ponto fixo	
9	Cilindro de freio 8x8" com suporte para ponto fixo	
10	Cilindro de freio 8x8" sem saída para ajustador pneumático	
11		
12		

Fonte: O Autor (2018)

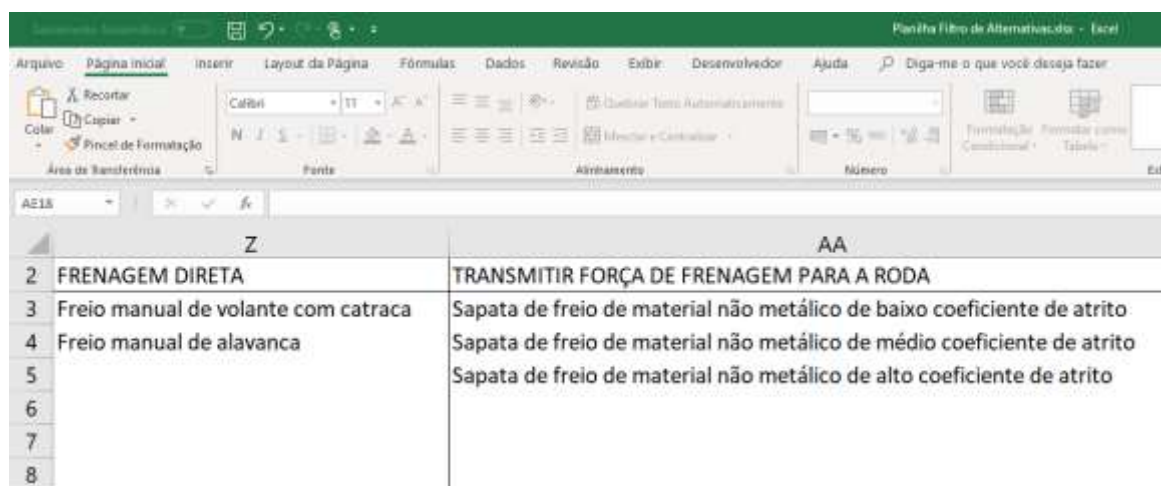
Figura 28 - Princípios de solução funções 10.1.2, 10.2 e 10.3



	W	X	Y
2	TRANSMITIR FORÇA DAS ALAVANCAS	ADAPTAR IMPRECIÇÕES DO SISTEMA	CONTROLAR FRENAGEM
3	Tirantes de freio (varão)	Ajustador automático de folga pneumático tipo D Ajustador automático de folga mecânico tipo DRV	Dispositivo vazio-carregado mecânico com comutador automático Dispositivo vazio-carregado mecânico com comutador manual Dispositivo vazio-carregado pneumático manual Dispositivo vazio-carregado pneumático automático Dispositivo vazio-carregado com volume adicional
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Fonte: O Autor (2018)

Figura 29 - Princípios de solução funções 10.4 e 10.5



	Z	AA
2	FRENAGEM DIRETA	TRANSMITIR FORÇA DE FRENAGEM PARA A RODA
3	Freio manual de volante com catraca	Sapata de freio de material não metálico de baixo coeficiente de atrito
4	Freio manual de alavanca	Sapata de freio de material não metálico de médio coeficiente de atrito
5		Sapata de freio de material não metálico de alto coeficiente de atrito
6		
7		
8		

Fonte: O Autor (2018)