



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Faculdade de Arquitetura

Curso de Design de Produto

CRISTIANE HAHNER

PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE

CRISTIANE HAHNER

PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Design de Produto, da Faculdade de Arquitetura, como requisito para a obtenção do título de Designer.

Orientador: Prof. Fábio Gonçalves Teixeira

CRISTIANE HAHNER

PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE

Este Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Design de Produto, da Faculdade de Arquitetura, como requisito para a obtenção do título de Designer.

Orientador: Prof. Fábio Gonçalves Teixeira

Prof. Régio Pierre da Silva

Prof. Ulisses Filemon Leite Caetano

Prof. Henrique Benedetto Neto

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelos anos de dedicação e incentivo aos estudos desde a infância, pois foram muito valiosos por diversas conquistas, sendo este trabalho, mais uma delas. Agradeço ao professor Fábio Teixeira pela orientação, por ter incentivado o trabalho e acreditado no meu potencial para desenvolvê-lo, dado o nível de complexidade do projeto. Agradeço ao Diogo, por estar carinhosamente sempre ao meu lado em todo período de graduação e pelo apoio incondicional. Agradeço à Hillary que, apesar da distância, sempre se fez presente e auxiliou em tudo que foi possível ao longo dos anos de academia e de vida. Agradeço ao Stefan Fernandes pela disposição em tirar dúvidas e emprestar livros. Agradeço à Júlia Schaan pela ajuda na realização da ferramenta de análise de tarefa. Agradeço à Mimi Kuo pelo auxílio inicial na modelagem 3D e à Renata Guedes pela preciosa ajuda na etapa final de renderização 3D do produto. Agradeço ao fundador da Monorail Society, Kim Pedersen (*in memoriam*) pela disponibilização do vasto conhecimento através da compilação e reunião de dados sobre monotrilhos e pela disposição em auxiliar por e-mail o presente trabalho até a sua partida.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo o desenvolvimento de um veículo de monotrilha como colaboração para a melhoria da mobilidade urbana da cidade de Porto Alegre. O projeto foi realizado em duas partes: TCC I e TCC II. O TCC I compreende o desenvolvimento do planejamento do produto e projeto informacional, em busca da coleta e análise de dados a partir da fundamentação teórica e da aplicação de ferramentas metodológicas auxiliares. Já o TCC 2 é composto por projeto conceitual e detalhamento, com a finalidade de gerar concepções, selecionar e detalhar a alternativa que melhor cumpre todos os requisitos de projeto. Dessa forma, a solução final é descrita através de renders digitais, definição de materiais e processos de fabricação, detalhamento técnico e elaboração de modelo físico em escala.

Palavras-chave: Mobilidade urbana. Design de produto. Design de transportes. Monotrilha. Transporte coletivo.

ABSTRACT

This Capstone Project's objective is of developing a monorail vehicle as a collaboration for the improvement of urban mobility in the city of Porto Alegre. The project was carried out in two parts: CP I and CP II. CP I encompasses the development of product planning and the specification of requisites as well as physical introductions to the project. All these are done for the purpose of data collection and analysis based on the theoretical basis and the application of auxiliary methodological tools. The CP II encompasses the conception of a design and process detailing, with the purpose of generating conceptions, selecting and detailing the alternative that best meets all the project requirements. In this way, the final solution is designed through digital renders, the characterization of materials and manufacturing processes, technical detailing and elaboration of physical scale model.

Keywords: Urban mobility. Product design. Transportation design. Monorail. Collective transportation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das metodologias utilizadas no projeto	21
Figura 2 - Etapas TCC I e TCC II.....	24
Figura 3 - Exemplos de monotrilho.....	35
Figura 4 - Sistemas de monotrilho	36
Figura 5 - Ilustração do sistema de rodas	37
Figura 6 - Resultado dos atributos considerados mais problemáticos pelos usuários de ônibus de Porto Alegre.	43
Figura 7- Salão de passageiros - Corte transversal	46
Figura 8 - Giro de 360º no interior do carro - exemplo	47
Figura 9 - Giro de 180º no interior do carro - exemplo	47
Figura 10 - Barra de apoio no interior do carro - módulo perpendicular.....	48
Figura 11 - Assento preferencial e balaústre no interior do carro - planta e corte.....	48
Figura 12 - Sinalização do local para pessoa em cadeiras de rodas no interior do trem - vista frontal.....	49
Figura 13 - Sinalização de assentos preferenciais no interior dos carros - vista frontal	49
Figura 14 - Análise funcional do monotrilho	51
Figura 15 - Análise de tarefa ônibus	53
Figura 16 - Análise de tarefa trem	55
Figura 17 – Monotrilho de Dubai.....	60
Figura 18 - Características do monotrilho de Dubai.	61
Figura 19 - Monotrilho de Daegu.....	62
Figura 20 - Esquema da estrutura criativa	77
Figura 21 - Etapa de representação	79
Figura 22 - Analogias diretas.....	80
Figura 23 - Etapa "Identificar"	81
Figura 24 - Mapa mental.....	82
Figura 25 - Painel de referências visuais.....	83
Figura 26 - Alternativas de chassi	85
Figura 27 - alternativas da configuração do salão de passageiros	87
Figura 28 - Placa de indicação de uso dos bancos rebatíveis no metrô de Paris: "Em caso de lotação, não utilizar os bancos rebatíveis" - tradução livre.....	88

Figura 29 - Alternativa selecionada para salão de passageiros	90
Figura 30 – Alternativas de assentos	91
Figura 31 - Alternativas pré-selecionadas.....	93
Figura 32 - Parâmetro para aplicação da Matriz de Pugh	93
Figura 33 - Sketches de simulação do posicionamento dos assentos.....	95
Figura 34 - Ambiente de trabalho	96
Figura 35 - Módulo 3D	97
Figura 36 - Gabarito para geração de alternativas	97
Figura 37 - Alternativas para a carroceria do monotrilho	98
Figura 38 - Monotrilho de São Paulo	100
Figura 39 - Protótipos para refinamento	102
Figura 40 - resultado do refinamento.....	102
Figura 41 - sketch concepção final.....	103
Figura 42 - Estudo geométrico sobre a alternativa escolhida	104
Figura 43 - Aparência externa do veículo	106
Figura 44 - Detalhe frontal do veículo	106
Figura 45 - Tipos de assento	107
Figura 46 – Package do salão de passageiros	108
Figura 47 – Layout do sistema de propulsão	108
Figura 48 - Componentes do truque.....	110
Figura 49 - Sistema de tração	110
Figura 50 - Reatores de linha	111
Figura 51 - Carroceria do monotrilho	112
Figura 52 - Chassi do tipo longarina.....	113
Figura 53 - Rendering final do produto.....	114
Figura 54 - Rendering final do veículo	114
Figura 55 - Salão de passageiros.....	115
Figura 56 - Assentos preferenciais.....	115
Figura 57 - Passagem entre carros.....	116
Figura 58 - Módulo cadeirante	116
Figura 59 - Mapa de linhas.....	117
Figura 60 - Modelo volumétrico da vista externa do veículo.	118

Figura 61 - Modelo volumétrico da vista externa do veículo (detalhe frontal)	119
Figura 62 – vista interna de um carro intermediário.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise diacrônica	58
Quadro 2 - Características do monotrilha de São Paulo	60
Quadro 3 - Monotrilha de Mumbai, Índia	61
Quadro 4 - Análise do questionário	64
Quadro 5 - Descrição das necessidades do usuário	65
Quadro 6 - Conversão das necessidades do usuário para requisitos do usuário	66
Quadro 7 - Requisitos preliminares de projeto	68
Quadro 8 - Requisitos de projeto.....	69
Quadro 9 - Valores atribuídos aos requisitos do usuário	70
Quadro 10 - Checklist com critérios de seleção de alternativas.....	92
Quadro 11 – Materiais empregados	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre modais de transporte.....	33
Tabela 2 - Padrões da qualidade para transporte público por ônibus.	41
Tabela 3 - Nível de conforto em trem, em função da disponibilidade média de área à acomodação de passageiro em pé	45
Tabela 4 - Características do monotrilho de Daegu.....	62
Tabela 5 - Especificações de monotrilho dos principais fabricantes	63
Tabela 6 - QFD.....	71
Tabela 7 - Priorização dos requisitos de projeto	72
Tabela 8 - Aplicação da equação de capacidade nominal dos carros de trem metropolitano ..	89
Tabela 9 - Matriz de Pugh para escolha dos assentos	94
Tabela 10 - Matriz de Pugh para escolha da concepção externa	101
Tabela 11 - Distribuição dos itens do salão de passageiros por carro.....	107

Sumário

1. PLANEJAMENTO DO PROJETO	15
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivos específicos	19
1.3.2 Escopo do projeto	20
1.4 METODOLOGIA	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1 CENÁRIO	26
2.1.1 Mobilidade urbana em países emergentes	26
2.1.2 Mobilidade urbana em Porto Alegre	27
2.2 TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	29
2.2.1 Transporte coletivo sobre trilhos	31
2.3 FATORES DE QUALIDADE PARA OS USUÁRIOS	39
2.4 FATORES NORMATIVOS	44
2.4.1 Política Nacional de Mobilidade Urbana	44
2.4.2 ABNT NBR 14183 Trem Metropolitano – Acomodação e Capacidade de Passageiros	45
2.4.3 ABNT NBR 14021: “Transporte - Acessibilidade em Trens Urbanos e Metropolitanos”	46
3. PROJETO INFORMACIONAL	50
3.1 PROBLEMA DE PROJETO	50
3.2 ANÁLISE FUNCIONAL	50
3.3 ANÁLISE DE TAREFA	52
3.3.1 Ônibus	52
3.3.2 Trensurb	54
3.4 ANÁLISE DE SIMILARES	57

	13
3.4.1 Análise Diacrônica	57
3.4.2 Análise Sincrônica	59
3.5 IDENTIFICAÇÃO DE FABRICANTES DOS VEÍCULOS	62
3.6 IDENTIFICAÇÃO DOS USUÁRIOS	63
3.6.1 Questionário	63
3.6.2 Necessidades dos usuários	65
3.6.3 Requisitos dos usuários	66
3.6.5 Requisitos do Projeto	67
3.6.6 QFD	69
3.7 OBJETIVOS FUNCIONAIS DO VEÍCULO	73
3.7.1 Atributos focados no usuário	73
3.7.2 Considerações do fabricante	74
3.7.3 Forças do Ambiente	75
3.8 SÍNTESE	75
4. PROJETO CONCEITUAL	76
4.1 Estrutura criativa	76
4.1.1 Identificar	78
4.1.2 Representar	78
4.1.3 Relacionar	82
4.2 Geração e seleção de alternativas	84
4.2.1 Chassi	85
4.2.2 Configuração interna do salão de passageiros	86
4.2.3 Assentos	90
4.2.4 Exterior do veículo	95
4.3 Detalhamento e comunicação do projeto	104
4.3.1 Descrição da solução final	104
4.3.2 Características técnicas	109

	14
4.3.3 Simulação	114
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
REFERÊNCIAS	123
APÊNDICES	126

1. PLANEJAMENTO DO PROJETO

Neste capítulo será apresentado o cenário do presente projeto, bem como, os objetivos e sua metodologia.

1.1 INTRODUÇÃO

A definição de mobilidade está diretamente relacionada aos deslocamentos praticados por indivíduos nas suas ações relativas a atividades de estudo, trabalho, lazer, entre outras. Nesse contexto, as cidades exercem uma função indispensável nas variadas relações de mercado de bens e serviços, cultura e relacionamentos interpessoais, porém isso só é viável a partir de condições apropriadas de mobilidade para as pessoas (Ministério das Cidades, 2006).

Inicialmente, o termo “mobilidade urbana” era tido, de forma primária, apenas como sinônimo de transporte. Porém, atualmente já há um entendimento mais amplo, no qual consiste na compreensão de que é necessário o estudo de uma série de fatores que influenciam os deslocamentos das cidades. Além disso, deve haver a priorização e valorização dos modelos coletivos e não motorizados de transporte, para que seja alcançado o objetivo de uma mobilidade urbana de maior qualidade e mais sustentável (Kneib, 2012).

A partir do ponto de vista social e democrático, o transporte público urbano corresponde à única opção motorizada segura e cômoda praticável à população de baixa renda, assim como é uma alternativa fundamental para aqueles que não podem dirigir (FERRAZ, TORRES, 2004).

A cidade de Porto Alegre possui um sistema de transporte público em que é baseado no serviço operado por empresas de ônibus, de forma que este sistema não é suficiente para atender às demandas e necessidades da população. Com uma população de 1,4 milhão de habitantes, a cidade conta com uma frota de 825 mil veículos. Em 2007, o Detran registrava uma quantidade 28% menor em relação a este número. Houve uma substituição de meio de transportes por parte da população, em que há um aumento da locomoção por automóveis e uma queda no número de passageiros de ônibus na capital, de modo que entre 2007 e 2015 houve uma diminuição de 15,4% do número de passageiros pagantes (MARCHI, 2016). Já no âmbito nacional, desde 1994, o setor de transporte coletivo por ônibus vem presenciando dificuldades cada vez maiores devido à diminuição da velocidade operacional dos veículos,

aos aumentos dos custos com insumos e à concorrência com o transporte individual (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2015).

São necessárias iniciativas que analisem a viabilidade de sistemas integrados de transporte público, na intenção de oferecer alternativas de locomoção à população, tornar o modo público de transporte mais atrativo, a fim de desincentivar o uso de meios individuais e motorizados de transporte. Além da questão atrelada à problemática do serviço de transporte prestado na cidade, é preciso ressaltar a importância de veículos que cumpram seus papéis no que diz respeito à adequação às necessidades dos usuários em diversos âmbitos, funcionais e simbólicos, tais como segurança, conforto e satisfação pessoal.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A demanda por circulação urbana está relacionada à vontade da realização de diversas atividades consideradas necessárias na sociedade, pertinente a aspectos culturais, políticos, sociais e econômicos. Além disso, fatores individuais de mobilidade e acessibilidade são determinantes para a circulação de bens e pessoas (VASCONCELLOS, 2005). A capacidade de locomoção das pessoas de uma cidade deriva das características do sistema de transporte de passageiros, é um aspecto fundamental na definição da qualidade de vida de uma sociedade e, conseqüentemente, do seu nível de desenvolvimento social e econômico. Mobilidade se trata de um fator determinante para o desenvolvimento urbano, de modo que proporcionar mobilidade de forma adequada para todas as camadas sociais é primordial no curso de desenvolvimento econômico e social das cidades (FERRAZ e TORRES, 2004).

A aquisição de veículos individuais próprios tem sido indicativo de avanço social, sendo bastante aclamada. Mas o que, em um primeiro momento, parecia simbolizar progresso econômico, logo ressaltou diversas questões relacionadas à falta de espaço rodoviário para acolher o aumento da frota de automóveis (CÂMARA DE DEPUTADOS, 2015). Não apenas o transporte individual tem sido decepcionante, no que tange a mobilidade urbana. Larica (2003) ressalta que automóveis e veículos de transporte de todos os tipos se tornaram símbolos de mobilidade e liberdade. Mas, com frequência, a expectativa de encontrar um caminho livre pela frente é frustrada pela realidade dos congestionamentos urbanos e pelo tráfego pesado das principais rodovias.

Ademais, é possível constatar que um dos principais fatores para a escolha pelo transporte individual se trata da baixa qualidade notoriamente percebida nos meios de transporte público presentes. O ônibus, sistema que corresponde a 86,8 % do transporte coletivo urbano no Brasil (CÂMARA DE DEPUTADOS, 2015), costuma ser descrito como precário, inseguro, desvantajoso e pouco confiável. Como resultado do acúmulo desta realidade negativa, nota-se um trânsito cada vez mais lento, de tal modo a ser calculado um aumento de 20% no tempo médio de deslocamento nas capitais brasileiras entre 2003 e 2010 (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012), com impactos danosos tanto individuais, como ao desenvolvimento econômico dos centros urbanos.

Em grandes centros urbanos, uma das funções do transporte coletivo é a de possibilitar uma opção de transporte em substituição ao automóvel, pretendendo melhorar a qualidade de vida da população, tendo em vista consequências como redução de danos ao meio ambiente, acidentes de trânsito, congestionamentos e altos investimentos em obras viárias (FERRAZ e TORRES, 2004). Vasconcellos (2005) esclarece que o modo de deslocamento da população na cidade é fortemente influenciado pelos sistemas de transporte público ofertados e seu custo. Quanto maior a qualidade do serviço de transporte e mais acessível seu custo, maior será sua atratividade e, conseqüentemente, sua adesão. Caso ocorra o contrário, se o transporte público for de baixa qualidade, menor será seu uso. Segundo Gehl (2013), o aumento da atratividade exercida pelo sistema de transporte público também é um aspecto sustentável, e para isso é preciso que os usuários se sintam seguros e confortáveis caminhando ou indo de bicicleta para e a partir dos ônibus, trens e veículos sobre trilhos. Um bom espaço público e um bom sistema público de transporte são condições que andam lado a lado.

O transporte público é essencial para todo grande centro urbano e são necessárias medidas de fato duradouras, para que exista uma real mudança nas presentes circunstâncias, de modo que as soluções devem ser projetadas a fim de que sejam eficazes em longo prazo. Segundo Larica (2003), o design de transportes é uma área importante do design em que se dispõe a desenvolver produtos e sistemas relacionados à mobilidade. Os projetos nesta área devem ser desenvolvidos juntamente a órgãos de transporte público, que determinam as políticas de transporte, e com a indústria fabricante de produtos que atendem as necessidades e desejos dos usuários. Deve-se trabalhar com base nos conceitos atuais de sustentabilidade para criação de soluções novas para o transporte, aprimorar projetos de

veículos movidos à energia de origens renováveis e incentivar a utilização de transportes coletivos como hábito cotidiano. Abrangendo aspectos econômicos, sociais e ecológicos, Gehl (2013) complementa que a cidade a caminho de um desenvolvimento sustentável é fortalecida se uma parcela significativa de seu sistema de transporte ocorrer por meio da “mobilidade verde”, ou seja, o deslocamento a pé, de bicicleta ou por transporte público. Estes modos possibilitam evidentes benefícios à economia e ao meio ambiente, de forma que há redução no consumo de recursos energéticos, limitação de emissões de poluentes e diminuição do nível de ruídos.

Considerando o cenário exposto, o design possui um grande potencial de inovação e remodelagem de padrões sociais e econômicos, capaz de vencer regras socialmente aceitas, porém deficientes. Com uma visão ampla, que abrange desde aspectos macros de projeto até o detalhamento de produtos, os profissionais de design, integrantes do que Neumeyer (2010) chama de “classe criativa”, são agentes de mudança, executores de valores até então intangíveis e geradores de valores inéditos para indústria e sociedade. Dessa forma, o design é fundamental para o desenvolvimento de novos produtos e serviços que atendam as necessidades da população do que diz respeito à mobilidade. Englobando questões como ergonomia, conforto, segurança, satisfação pessoal, a ponto de melhorar as experiências dos usuários de transporte público, o design é capaz de cumprir com uma parcela significativa na melhoria da qualidade de vida da população nos seus deslocamentos diários.

Este trabalho busca oferecer uma contribuição à problemática do transporte coletivo urbano em Porto Alegre, como parte de uma solução mais abrangente. Anteriormente à fase de desenvolvimento do projeto do veículo em si, é preciso encarar as realidades sociais, econômicas e comportamentais no que tange à locomoção da população, com foco nas particularidades locais da cidade de Porto Alegre. Além disso, é necessário um estudo de viabilidade técnica das alternativas de sistemas de transporte para que seja desenvolvido um veículo que melhor atenda as necessidades de mobilidade, tendo como foco as pessoas e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos de Porto Alegre e Região Metropolitana.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem, como objeto principal, o desenvolvimento de um veículo de monotrilho para transporte público urbano, como uma colaboração à melhoria da mobilidade urbana em Porto Alegre, de forma que o modo público e coletivo de transporte se torne mais atrativo e vantajoso para a população.

1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram organizados de acordo com as etapas de TCC I e TCCII. São eles:

- TCC I
 - a) Pesquisar e analisar o cenário da mobilidade urbana na cidade de Porto Alegre a fim de verificar o sistema de transporte mais adequado para o desenvolvimento do projeto, de acordo com a realidade da cidade.
 - b) Coletar dados para estruturação do projeto, que incluam, pelo menos, contextualização socioeconômica, entendimento do cenário para implantação do projeto, tipos de transporte público, fatores normativos e componentes técnicas do produto.
 - c) Considerar os principais grupos de usuários envolvidos e sua relação com o transporte público na cidade de Porto Alegre, na intenção de solucionar ou atenuar o maior número possível de problemas indicados pelos usuários do transporte coletivo no Brasil, através de consulta bibliográfica e entrevistas quantitativas e qualitativas.
 - d) Identificar e priorizar requisitos de usuário e requisitos de projeto com base na coleta e análise de dados obtidos.
- TCC II
 - e) Projetar um produto capaz de cumprir com os requisitos de usuário e requisitos de projeto elencados.
 - f) Projetar um produto para transporte coletivo urbano que seja economicamente viável e capaz de ser produzido em escala industrial, em conformidade com a realidade brasileira, prevendo empresa fabricante em potencial.

- g) Explorar aspectos de satisfação e valorização pessoal através da configuração do produto e do serviço, pretendendo obter uma imagem atrativa, que se diferencie de outros modelos de veículos coletivos já existentes.
- h) Validar a concepção final do produto através de detalhamento, modelagem 3D, simulação e execução de modelo físico em escala.

1.3.2 Escopo do projeto

Projeto de design de um veículo de monotrilha em que haja, pelo menos, uma solução final contendo:

- Package do layout do sistema de propulsão
- Salão de passageiros
- Configuração formal dos assentos
- Configuração do exterior do veículo

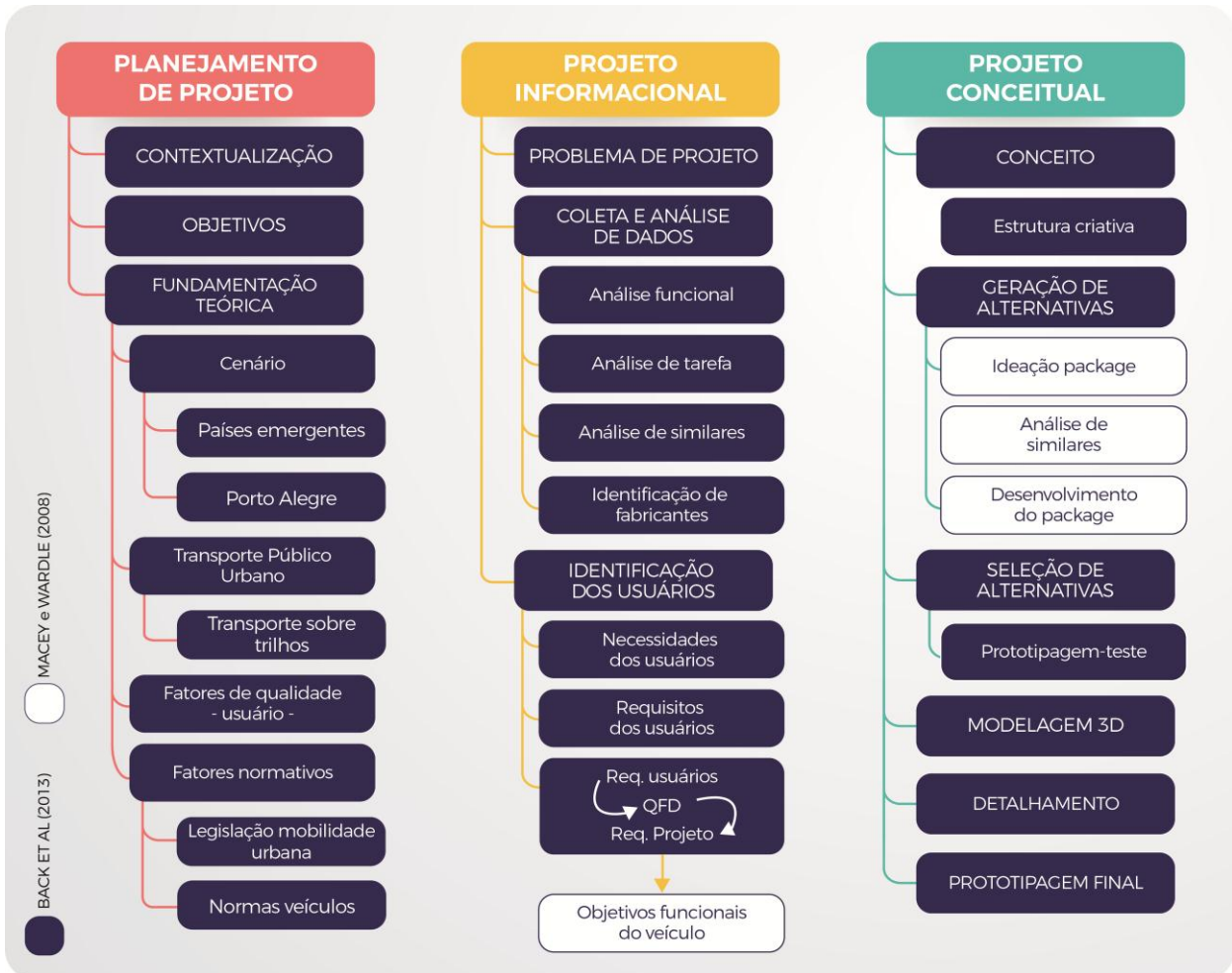
1.4 METODOLOGIA

Segundo Back et al. (2013), para a prática de um projeto é necessário um planejamento elaborado e gerenciado, inserido em um sistema pré-determinado que contenha elementos que viabilizam a organização das atividades a serem desenvolvidas, como períodos e meios necessários, ferramentas utilizadas nas atividades, assim como a determinação do início e da conclusão do projeto. A metodologia utilizada como base para o desenvolvimento do trabalho é a de Back et al (2013) no livro Projeto Integrado de Produtos. O desenvolvimento deste projeto está dividido em três etapas principais: planejamento de projeto, projeto informacional e projeto conceitual, segundo as duas primeiras etapas desenvolvidas durante o TCC I e a última durante o TCC II.

Como metodologia auxiliar, será utilizada de forma complementar, durante as fases de Projeto Informacional e, principalmente, de Projeto Conceitual, a metodologia apresentada por Macey e Wardle (2014), própria para design de veículos. Esta metodologia atende, especialmente, às fases de criação e desenvolvimento da solução, com atenção aos sketches e à geração de alternativas. Apesar de este método contemplar etapas anteriores à concepção e desenvolvimento do produto, não há aprofundamento suficiente a ponto de

guiar a execução deste trabalho, então será utilizada juntamente à metodologia de Back et al (2013). A mescla destas duas metodologias principais se encontra exemplificada na figura 1.

Figura 1 - Representação das metodologias utilizadas no projeto



Fonte: Back et al (2013) e Macey e Wardle (2014) – Adaptado

Planejamento de projeto: O objetivo desta etapa inicial da metodologia de Back et al (2013) é o estabelecimento das informações principais sobre o projeto a ser realizado. É determinado o escopo do projeto e do produto, juntamente à definição do que será desenvolvido, a justificativa do projeto e de seus objetivos, além da metodologia a ser utilizada. Adiante é organizado o planejamento do projeto de produto, que guiará a elaboração das fases seguintes (BACK et al., 2013).

Para o planejamento inicial deste projeto, o referencial teórico, objetiva elucidar questões de mobilidade e sua relevância social, cultural e econômica, a partir de um cenário geral de países emergentes, além da observação do cenário local da cidade de Porto Alegre, suas carências e necessidades. Além disso, esta pesquisa engloba o estudo dos diferentes tipos

de sistemas e veículos para transporte público urbano, a fim de identificar qual o sistema/veículo mais adequado para o cenário de Porto Alegre de forma a ser o produto desenvolvido neste projeto.

Projeto informacional: Nesta etapa do método de Back et al. (2013), a finalidade é definir as especificações do projeto a partir das informações coletadas na etapa anterior sobre a temática proposta. Com este objetivo, diferentes ferramentas de projeto são aplicadas na busca pela identificação dos fatores norteadores do projeto, assim como das necessidades dos usuários. O projeto informacional consiste em uma fase fundamental do desenvolvimento do produto, tendo em vista que se amplia a compreensão do projeto, sob os aspectos funcionais, quantitativos e qualitativos do problema, a fim de serem concebidas alternativas que atendam aos usuários de forma adequada. A definição inapropriada das especificações desta etapa resulta em um conjunto de características finais do produto que não cumprem os requisitos dos usuários. Dessa forma, a elucidação das diretrizes é definida a partir da identificação, avaliação, quantificação, priorização e documentação dos principais aspectos inerentes à relação usuário-produto. Para que sejam conhecidas as necessidades de forma correta, é preciso definir o público a que o projeto se destina além de todas as pessoas e organizações, que de alguma forma, estarão envolvidas com o objeto ao longo do seu ciclo de vida e, que haverá influência sobre suas características e atributos (BACK et al., 2013).

Assim como as especificações propostas por Back et al. (2013), antes do desenvolvimento do conceito e da geração de alternativas, é indicado pelo método de Macey (2009) o estabelecimento dos objetivos funcionais do produto, que orientam a configuração do produto e os propósitos de projeto desde o início. Para tal, o primeiro passo de sua metodologia, constitui-se em uma pesquisa abrangente sobre os mercados, os clientes, a concorrência, as tecnologias emergentes e os processos de fabricação, com a finalidade de esclarecer as necessidades do público alvo e identificar os aspectos de maior relevância. Dessa forma, a partir da segunda etapa, é possível, juntamente com os interesses do fabricante e as condições do ambiente, estipular os objetivos funcionais que irão orientar o desenvolvimento do projeto.

A princípio, a definição de determinados objetivos pode indicar uma condição muito restritiva para o processo criativo. Entretanto, estes objetivos são importantes para manter o foco do projeto, auxiliando a manter o desenvolvimento alinhado à proposta principal, de forma que sejam obtidas diversas perspectivas para um mesmo problema. Desse modo, são

estabelecidas as configurações do veículo utilizando os recursos tecnológicos mais apropriados e de acordo com as necessidades dos usuários, as limitações mercadológicas e o modelo de negócios do fabricante (MACEY e WARDLE, 2014).

Para o levantamento inicial de dados, foram utilizados diferentes recursos metodológicos, na intenção de compreender melhor o problema inserido em macro e micro contextualização, como: Pesquisa quantitativa sobre mobilidade urbana na cidade de Porto Alegre por meio de questionário; Análise funcional dos sistemas de transporte por monotrilho; análise de tarefa; Análise diacrônica e sincrônica. De acordo com o desenvolvimento do trabalho, pode haver o surgimento de ferramentas complementares, de acordo com a necessidade percebida.

A partir da análise dos resultados destas atividades, é possível identificar com mais clareza as necessidades dos usuários e, utilizando a ferramenta de desdobramento da função qualidade (Quality Function Deployment, ou QFD), estas necessidades conhecidas ao longo da pesquisa são transformadas nas especificações que orientam as decisões nas etapas posteriores do processo (BACK et al., 2013).

Projeto conceitual: Durante o projeto conceitual, é realizado o desenvolvimento do produto, embasado nas especificações de projeto definidas nas etapas anteriores. O projeto conceitual contempla desde a geração de alternativas, a partir da delimitação do conceito do produto, até o detalhamento e a comunicação do projeto.

Para a criação do conceito do produto, é elaborado um painel visual para configurar uma ideia uniforme e condizente com os objetivos do projeto. Este painel é realizado de acordo com as diretrizes da estrutura criativa, proposta por Sapper (2015).

Após o estabelecimento dos princípios formais, baseados nos requisitos estético-simbólicos, e da definição dos objetivos funcionais do veículo, obtidos no projeto informacional, é feita a geração de alternativas para soluções, seleção da melhor solução, detalhamento, simulação 3D, modelos volumétricos, renders, protótipo.

Durante esta parte do projeto, a metodologia principal é a proposta por Macey e Wardle (2014), uma vez que é ideal para o desenvolvimento automotivo, auxilia a construção do package do veículo. O package se trata da combinação dos principais sistemas do veículo que o compõem, conforme as necessidades dos usuários, sendo então, a tarefa central e mais relevante no processo do desenvolvimento automotivo.

O início da geração de alternativas é baseado na Ideação do package, em que são considerados somente os itens básicos e seus aspectos inovadores, que influenciam as características externas do veículo. Posteriormente, na fase de Análise de Similares, são resgatadas as comparações com veículos já existentes no mercado, realizadas no projeto informacional, para validar o projeto e determinar as dimensões principais do produto. Em seguida, é realizada a seleção da melhor solução encontrada para cada parte do veículo.

Após o conceito completo, é elaborado um modelo físico de baixa fidelidade em escala reduzida, para verificação da volumetria e refinamento formal do produto. Com a definição final dos elementos do veículo, parte-se para o detalhamento do produto, representação formal em software 3D, análise estrutural por método dos elementos finitos e confecção de modelo físico em escala.

O TCC 1 limita-se até o final do projeto informacional, em que ocorre a transformação dos requisitos em especificações de projeto. O projeto conceitual, que envolve as atividades de confecção do painel visual, desenvolvimento de alternativas para o package, modelagem 3D, prototipagem 3D e detalhamento são desenvolvidos durante o TCC 2, conforme ilustra a figura 2.

Figura 2 - Etapas TCC I e TCC II



Fonte: Autora

Para auxiliar na gestão do projeto em relação ao tempo dedicado em cada etapa da metodologia, foi utilizado o diagrama de Gantt como recurso para representação do cronograma. Pazmino (2015) explica que o diagrama de Gantt se trata de um gráfico ilustrativo que descreve o andamento das tarefas inseridas nas etapas de um projeto. Os períodos de tempo correspondem ao início e o término de cada fase e são representados como barras coloridas no eixo horizontal do gráfico. O cronograma foi dividido nas fases de TCC I e TCC II e encontra-se no apêndice 1.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir são apresentados os principais conteúdos necessários ao desenvolvimento do trabalho. Os temas levantados são de fundamental importância para ampliar os conhecimentos na área e também identificam limitações e oportunidades possíveis para o projeto de veículo de transporte coletivo urbano.

2.1 CENÁRIO

A fim de compreender a mobilidade urbana na realidade do local de aplicação deste projeto, foram estudadas as principais características do transporte público urbano, não apenas na cidade de Porto Alegre, mas também foi ampliada a visão do cenário, estudando esta temática no patamar dos países emergentes em geral. Este estudo busca uma análise de semelhanças e particularidades em relação ao padrão de cidades que se encontram em situação econômica similar.

2.1.1 Mobilidade urbana em países emergentes

O acelerado aumento do número de habitantes das regiões urbanas dos países emergentes é o fomento de muitas adversidades e desafios. O rápido desenvolvimento urbano e os grandes agrupamentos de moradores da cidade revelam uma necessidade urgente de uma adequada infraestrutura de tráfego. Mesmo com o aumento gradual do acesso aos carros e ao transporte motorizado, ainda, uma parcela significativa dos habitantes tem acesso limitado ou nulo a carros e motocicletas. Ainda assim, neste cenário, o transporte público costuma ser pouco desenvolvido, caro e lento (GEHL, 2013).

Gehl (2013) explica que, em geral, as cidades de rápido crescimento dos países emergentes apresentam uma sucessão de características em comum. O tradicional tráfego de pedestres e bicicletas está sendo reduzido e o crescente tráfego motorizado está obstruindo cidades. Junto aos sinais de crescimento econômico em muitas cidades, ocorre redução da qualidade de vida. Automóveis ficam estagnados nos duradouros congestionamentos do trânsito, o tempo de transporte aumenta para todos, além dos problemas com ruído, poluição do ar e acidentes de trânsito que se intensificam progressivamente.

Vasconcellos (2005) confirma a incidência destes problemas nas cidades brasileiras, fruto de um sistema de transporte público ainda insatisfatório quanto a sua qualidade, uma vez que as cidades tem crescido sem controle, ainda agravando os problemas citados. Ferraz e Torres (2004) complementam que a situação dos congestionamentos atingiu condições preocupantes, de modo que a velocidade de deslocamento por automóvel é, atualmente, em muitos grandes centros urbanos, menor do que a velocidade dos bondes utilizados no passado. Inserida neste contexto de país emergente e com muitos desafios a vencer, a cidade de Porto Alegre é o cenário deste trabalho e suas principais características quanto à mobilidade urbana são descritas a seguir.

2.1.2 Mobilidade urbana em Porto Alegre

Os primórdios do transporte público coletivo em Porto Alegre se deram em 1873, com a inauguração da primeira linha de bondes movidos por tração animal, que, com o passar dos anos e o desenvolvimento do sistema, esta linha passou a compor uma rede de bondes. Com a eletrificação dos carros, em 1908, a tecnologia permitiu que os veículos atingissem maiores velocidades e cumprissem rotas mais íngremes, possibilitando a ampliação do transporte público às regiões periféricas, que puderam ser ligadas ao centro por viagens com tempos mais curtos. Em 1929, começaram a circular os primeiros ônibus na cidade, em que os veículos eram compostos por carrocerias de madeira adaptadas sobre os chassis de pequenos caminhões, com capacidade de transporte de vinte passageiros. O serviço de ônibus na capital foi interrompido em 1956 e retomado somente em 1966. Neste período, os bondes continuaram circulando pelas ruas da cidade e seguiram assim até 8 de março de 1970, data em que foi encerrado o sistema de transporte por bondes nas vias de Porto Alegre (TRENSURB, 2015).

Monteiro e Ladeira (2006) esclarecem que o desenvolvimento da cidade, com o passar dos anos, ocorreu de forma em que o fluxo de pessoas e mercadorias estabeleceu-se de forma radial, surgindo, então, as primeiras vias transversais. Esse modelo, proveniente da década de 1950, foi oficializado duas décadas depois com a criação do primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU). A partir do Plano, deu-se início uma nova fase de estruturação das vias para circulação da população, incentivando um crescimento

descentralizado na cidade e iniciando uma importante movimentação pendular nos deslocamentos populacionais.

Esta descentralização populacional, seguida de mudanças no comportamento das viagens diárias dos habitantes da cidade, também é explicada no livro “Porto Alegre: uma visão de futuro”, organizado pela Câmara de Vereadores em 2009. Relaciona-se a este comportamento o aumento na renda da população brasileira e seus reflexos diretos na indústria da construção civil, de forma que a ascensão econômica dos diferentes estratos da população demanda uma oferta maior de imóveis. Estes novos imóveis, residenciais, comerciais ou para serviços surgem em praticamente todos os bairros de Porto Alegre, alterando a densidade populacional e estimulando mudanças sobre as infraestruturas instaladas. Os deslocamentos, antes pendulares bairro-centro, onde, então, residiam e trabalhavam os habitantes, passaram a ocorrer em múltiplas direções. Dessa forma, com a diversificação dos pontos de origem e destino, os deslocamentos urbanos tornaram-se mais complexos, gerando desafios para o planejamento das linhas de transporte da cidade (CÂMARA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2009).

Nas últimas três décadas, poucas foram as realizações de impacto na infraestrutura de transportes da cidade visando a mobilidade sustentável a longo prazo, de acordo com as necessidades da população. As principais iniciativas ao longo deste tempo, como implantação do trem suburbano (Trensurb), aeromóvel, e dos corredores exclusivos para o ônibus, se mostraram, desde então, essenciais para o progresso da cidade (CÂMARA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2009). Porém, é nítida a carência de novas iniciativas que acompanhem o ritmo do desenvolvimento urbano e que sejam úteis também a longo prazo, de forma que o sistema público de transporte tem perdido cada vez mais adeptos.

O padrão atual de oferta de serviços de transporte coletivo de Porto Alegre se mostra cada vez mais incapaz de atrair usuários do transporte privado e, conseqüentemente, tem perdido seus clientes para automóveis e motos (CÂMARA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2009). Com 1,4 milhão de habitantes e uma frota de 825 mil veículos é registrado na cidade um aumento de 28% do número de veículos particulares (MINISTÉRIO DAS CIDADES - DENATRAN, 2016). Ao passo que os moradores da Capital começaram a andar mais de carro, os ônibus foram se esvaziando, de forma que entre 2007 e 2015, houve uma queda de 15,4% no número de passageiros pagantes no sistema público de transporte (MARCHI, 2016). Além do aumento do número de carros particulares, o uso da bicicleta como meio

de locomoção tem, pouco a pouco, obtido mais adeptos na cidade, como alternativa ao transporte motorizado, apesar da estrutura urbana ainda não muito favorável ao ciclista (MARCHI, 2016). Esta realidade indica uma progressiva insatisfação da população quanto ao transporte público e o aumento de veículos motorizados explica a crescente imobilidade urbana, com aumento dos congestionamentos, da poluição e dos custos com transporte.

Tendo em vista as circunstâncias apresentadas, é possível constatar que o atual sistema de transporte público, majoritariamente baseado no serviço por ônibus, não apenas é deficiente no suprimento da demanda de transporte coletivo de Porto Alegre, como também se mostra defasado em relação ao desenvolvimento urbano. É necessária a implantação de uma rede estruturada integrada de transporte coletivo multimodal com âmbito Metropolitano, de modo que sejam aliados meios de transporte rodoviários e ferroviários na cidade, pois um sistema isolado não é capaz de resolver os problemas vigentes de mobilidade. É preciso ampliar a visão, explorando ideias e projetos vigentes em diferentes cidades do mundo, que são potencialmente adaptáveis a nossa realidade e que contribuiriam muito para resgatar a escala humana da mobilidade (CÂMARA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2009).

2.2 TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Os modos de transporte coletivo urbano são caracterizados por atender aos interesses de uma grande massa de usuários, sempre obedecendo a rotas e horários programados e divulgados publicamente (LARICA, 2003). Por via de regra, os veículos pertencem a uma empresa e realizam itinerários pré-definidos com horários fixos. Não há flexibilidade de espaço e tempo e o transporte não é de porta a porta, pois normalmente é preciso caminhar distâncias consideradas para completar as viagens (FERRAZ, TORRES, 2004). Também é caracterizado por uma alta frequência de viagens diárias, grande número de paradas ao longo da rota, planejamento das linhas com a variação da demanda da população, apoio efetivo de estações de embarque e transbordo, sistemas eletrônicos de bilhetagem e sistemas de gerenciamento de tráfego e de manutenção (LARICA, 2003). A capacidade do veículo deve ser grande, para que a viagem seja compartilhada por um grande número de passageiros. Os modos mais comuns de transporte público são: ônibus, bonde, pré-metrô, metrô e trem suburbano (FERRAZ, TORRES, 2004).

Para garantir mobilidade e acessibilidade os cidadãos, o planejamento de transportes deve prover modos compatíveis com a realidade a ser atendida e sua integração em rede, pois isto é determinante para a qualidade do serviço prestado. Essa integração deve oferecer ao usuário a conveniência para escolher trajetos e modalidades, como também baldeações realizadas em terminais seguros e confortáveis, ao menor custo possível. A determinação dos elementos que compõem a implantação desta rede integrada e de seus componentes depende da fórmula entre demanda pelo transporte, delimitação orçamentária e oportunidade de financiamento (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2015).

Os meios de transporte tem capacidades muito distintas. Vasconcellos (2005) afirma que se pode medir a capacidade estática, a partir do número de pessoas que cabe dentro do veículo, ou a forma dinâmica, determinada pela quantidade de passageiros que podem ser transportados por vários veículos em uma hora, em determinada via (VASCONCELLOS, 2005).

Dessa forma, analisando os principais modos de transporte público, os ônibus comuns, altamente utilizados no Brasil, acomodam cerca de 45 pessoas sentadas, 80 no total. Já os ônibus articulados (dois corpos) e biarticulados (três corpos) comportam respectivamente em torno de 65 e 80 pessoas sentadas e 160 e 220 no total. Os maiores veículos são os metro-ferroviários, em que a capacidade de seus carros é em torno de 70 pessoas sentadas e 260 no total. Uma composição de seis carros comporta, portanto, até 1500 pessoas. Estas capacidades mencionadas equivalem a níveis de conforto semelhantes para os passageiros (VASCONCELLOS, 2005).

Quando a capacidade dinâmica é analisada e mede-se, por exemplo, quantas pessoas podem ser transportadas por hora, é preciso considerar vários aspectos. Desse modo, é necessário considerar a capacidade estática dos veículos e da velocidade na qual pode circular que, por sua vez, depende das características físicas dos veículos e das paradas que podem precisar fazer nos semáforos e nos pontos de embarque e desembarque.

Sob um ponto de vista mais efetivo, a capacidade do transporte público também precisa ser analisada de acordo com o sistema de transporte, isto é, no conjunto de veículos e modos que podem ser utilizados para transportar as pessoas. Assim, os ônibus podem ser colocados em uma faixa exclusiva e os trens e metrô sempre usam composições, que, em geral, são de seis carros (VASCONCELLOS, 2005).

Apesar de ser a modalidade de menor capacidade de passageiros e velocidade mais baixa, o transporte rodoviário feito em ônibus apresenta maior flexibilidade para cobrir diferentes itinerários, sendo a forma de transporte mais comum no mundo (VASCONCELLOS, 2005). Por outro lado, trens metropolitanos e metrô oferecem maior velocidade de deslocamento, mais conforto e segurança aos usuários, porém costuma ser menor a acessibilidade e maiores seus custos de implantação. Entre esses extremos, aparecem modos como o monotrilho e o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT).

Ferraz e Torres (2004) complementam que nas cidades pequenas e médias, o modo mais utilizado no transporte público é o que se baseia em veículos sobre pneus como ônibus e microônibus. Nas grandes cidades, além deles, é comum o emprego de transporte sobre trilhos, como monotrilho, trem de superfície e metrô. Em algumas cidades, de forma bem menos comum, também são utilizados sistemas de bondes ou outros modos especiais. Nas cidades maiores, também é comum o emprego de faixas exclusivas ou segregadas para o ônibus e bondes nas ruas, a fim de proporcionar prioridade ao transporte coletivo no trânsito.

Neste contexto, a cidade de Porto Alegre, na latente necessidade de um sistema de transporte público multimodal, se encaixa nas características das grandes cidades, no que diz respeito à adequação para um transporte sobre trilhos no tráfego urbano. O item a seguir trata sobre as principais alternativas de transporte sobre trilhos.

2.2.1 Transporte coletivo sobre trilhos

Os sistemas metroferroviários que existem atualmente no Brasil evitam a circulação de 1 milhão de carros e 14 mil ônibus por dia nas áreas urbanas onde se encontram (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES DE PASSAGEIROS SOBRE TRILHOS, 2015). Estes sistemas de transporte coletivo sobre trilhos atuais proporcionam redução do tempo de deslocamento, do consumo de combustível, da emissão de gases poluentes e das ocorrências de acidentes de trânsito. Segundo a Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros Sobre Trilhos (2015), o transporte urbano de passageiros sobre trilhos no Brasil reúne os seguintes tipos de serviço:

- Trem de superfície - sistema tradicional, que se caracteriza pela alta capacidade de transporte de passageiros, realizado em composições extensas, constituído por

múltiplos vagões e uma locomotiva movida a diesel ou eletricidade, que transita em linhas férreas de superfície.

- Veículo leve sobre trilhos (VLT) - capaz de transportar entre 10 e 40 mil passageiros por hora, este sistema de média capacidade de transporte é operado em carros tracionados por energia elétrica ou diesel. Demonstra uma boa relação custo-benefício, da ordem de US\$20 a 50 milhões por quilômetro construído, com um tempo baixo de implantação. Assim como o BRT, este sistema também é suscetível ao tráfego, uma vez que é exposto aos cruzamentos, ao nível dos outros veículos, podendo se envolver em acidentes com pedestres e carros.
- Monotrilho - o sistema conta com veículo leve sobre trilhos que circula em um único trilho, ao invés de circular em um par de trilhos como as ferrovias tradicionais. Este sistema é de média capacidade de transporte e transita em linhas segregadas elevadas, construídas em áreas densamente ocupadas, a um custo entre R\$40 e R\$70 milhões. Caracteriza-se por uma menor interferência com o trânsito de automóveis por ser construídos em vias elevadas.
- Metrô - com uma alta capacidade de transporte de passageiros, este sistema é construído no subsolo das cidades. A rota de deslocamento costuma se dar em vias troncais, em velocidades entre 30 e 40 km/h, transportando até 80 mil passageiros por hora por sentido. Trata-se de uma solução a longo prazo, porém de elevado custo de implantação, em torno de 80 a 120 milhões por km, que pode aumentar em zonas de ocupação consolidada.

A matriz de transporte brasileira inclui as diferentes modalidades apresentadas a seguir. A cada modal de transporte correspondem características próprias. Na tabela 1 encontram-se dados fundamentais a este estudo em que são relacionados e comparados os sistema de transporte sobre trilhos e o BRT.

Tabela 1 - Comparação entre modais de transporte

Característica	BRT	VLT	Monotrilho	Metrô
Custo médio de implantação (US\$/km)	15-40 milhões	20-50 milhões	40-70 milhões	80-120 milhões
Capacidade máxima típica de transporte (mil passageiros/hora)	10-30	10-40	15-50	25-80
Capacidade mínima típica (passageiros/hora)	2000	2000	3000	10000
Velocidade média (km/h)	25 a 60	25 a 40	40 a 60	40 a 90
Ruído (db)	80 a 90 (elevado)	60 a 80	60 a 80	75 a 100
Conforto	Menor conforto (interferência de freadas e semáforos)	Conforto médio (interferência de semáforos e trânsito)	Maior conforto (para somente nas estações, menor tempo de trajeto, pode-se apreciar a paisagem).	Maior conforto (para somente nas estações, menor tempo de trajeto).
Interferência no trânsito	Alta	Alta	Mínima	Mínima (se subterrâneo)
Custo previsto em desapropriação	Elevado	Elevado	Baixo	Médio
Interferência durante construção	Elevada	Elevada	Média	Baixa
Capacidade de atrair usuários do transporte individual	Baixa	Média	Alta	Alta

Fonte: Oliveira: (2009)

Tendo em vista o contexto da cidade de Porto Alegre, o monotrilho destaca-se como sistema que demonstra grande potencial de aplicação para a região, de acordo com o contexto da realidade presente. Este sistema se mostra em uma linha intermediária entre o BRT e o metrô, apresentando-se como parte de uma solução apropriada às demandas de

transporte da cidade. O sistema de transporte do tipo BRT não é suficiente para atender as necessidades de locomoção urbana de Porto Alegre, pela baixa atratividade, alta influência no trânsito de automóveis e baixa capacidade de passageiros. Já o metrô, apesar de, em um primeiro momento, parecer a solução para os problemas de transporte da cidade, é uma realidade distante, por depender de uma série de fatores interligados e capciosos. Para implantação do metrô, seria necessária uma infraestrutura bastante complexa, e um enredo livre de conflitos de interesses político-sociais favorável a mudanças de impacto. O metrô além do alto custo de investimento, que conta, a princípio, com uma capacidade de transporte bastante elevada, não se adequando à relação de custo-benefício na proporção do fluxo de pessoas atual de Porto Alegre.

O monotrilho também exige um grande investimento monetário e uma administração pública disposta a realizar mudanças de impacto realmente favoráveis à população, porém de forma menos complexa e mais realista. A implantação de um modal de transporte por monotrilho marcaria uma transição mais gradual entre o atual sistema de ônibus para um sistema mais robusto com alta capacidade, aumentando de forma sucessiva a adesão ao transporte público por parte dos usuários de transporte privado. O próximo subcapítulo elucidará este sistema de transporte coletivo urbano.

2.2.1.1 Monotrilho

Segundo Pedersen (2015), fundador da Monorail Society, monotrilho é um tipo de veículo leve que circula em um único trilho, ao invés de utilizar um par de trilhos, como os trens tradicionais. O sistema de monotrilho se caracteriza por ser elevado por vigas, circulando sobre o trânsito, o que reduz custos e tempo de implantação, além de causar mínimo impacto no tráfego das vias já existentes. A figura 3 mostra alguns exemplos deste tipo de veículo em diferentes países.

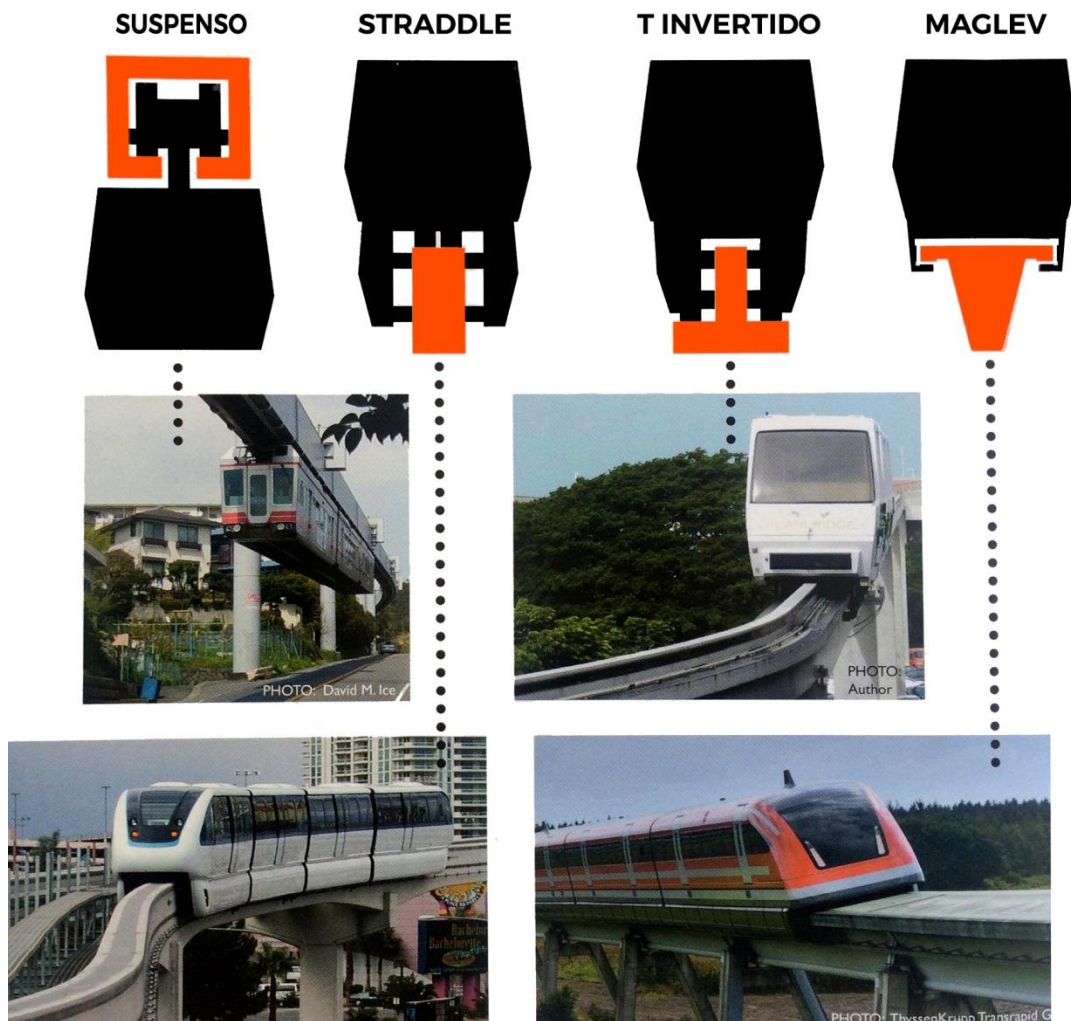
Figura 3 - Exemplos de monotrilho



Fonte: PEDERSEN (2015)

Este sistema de transporte público já é consolidado no mundo e é implantado em diversos países, com variadas extensões de linha, composições de carros e capacidades de passageiros, de acordo com a necessidade de cada local. Os principais fornecedores para este tipo de sistema são Bombardier, Scmi e Hitachi, com atuação nos 5 continentes. Apesar de cada fornecedor desenvolver suas próprias tecnologias para fabricação do veículo, estas possuem muitas semelhanças entre si. A figura 4 compara as tecnologias mais comuns para configurações de monotrilhos e suas correspondentes aplicações. É possível observar que os veículos são maiores que os trilhos, de modo que a parte inferior do veículo “abraça” o trilho. O veículo circula sobre vigas de concreto com altura entre 12 e 15 metros, de modo a sobrepôr possíveis pontes e viadutos no trajeto. Os pilares que sustentam essas vigas costumam se localizar nos canteiros centrais das avenidas. Já os vagões percorrem o trilho com pneus de borracha, por isso, são mais silenciosos que um trem comum, que possuem rodas e trilhos feitos de aço (PEDERSEN, 2015).

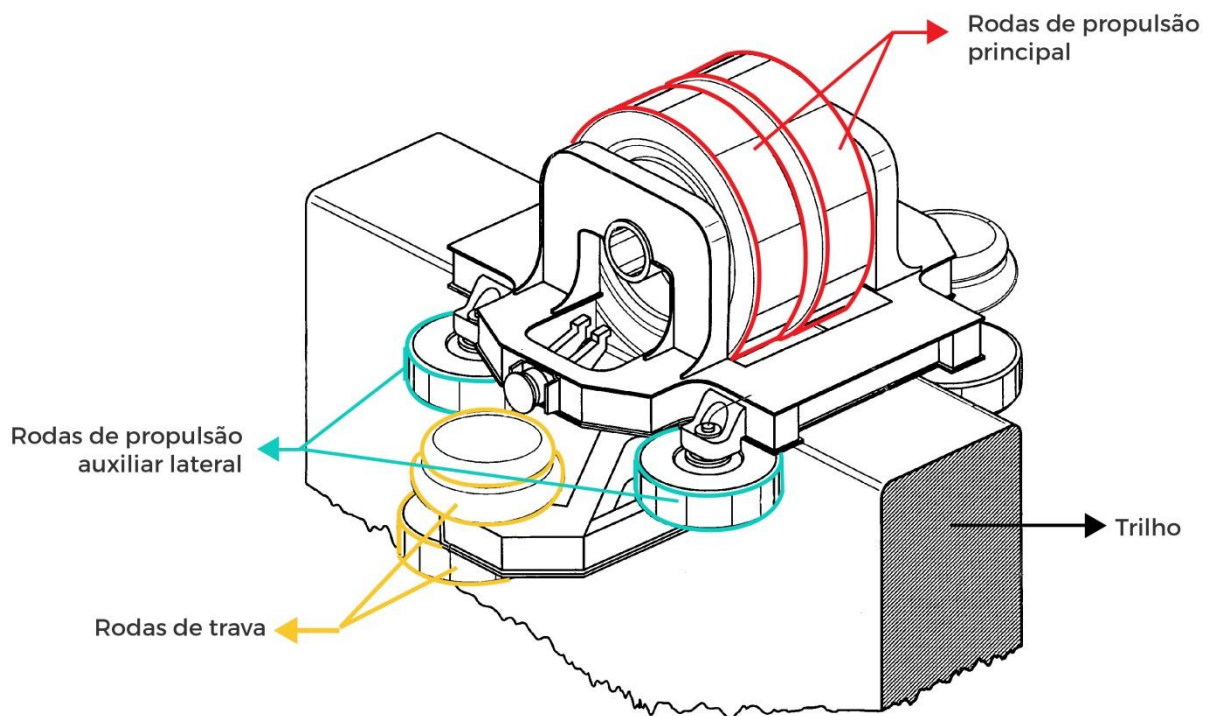
Figura 4 - Sistemas de monotrilho



Fonte: Pedersen (2015) - adaptado

Os conjuntos de rodas que percorrem o trilho ficam sob o assoalho do salão de passageiros e são cobertos por uma carenagem. O sistema de monotrilho do tipo Alweg é o mais comum do mundo, em que cada carro contém um sistema independente de rodas. Este sistema é composto por 2 conjuntos de rodas por carro. Cada conjunto de rodas (figura 5) é composto por 10 rodas que envolvem o trilho, de modo a estabilizar o veículo e evitar que o trem descarrilhe. Em cada conjunto de rodas há rodas de propulsão principal, rodas de propulsão auxiliar lateral e rodas de trava (abraçadoras). No total, cada carro possui 20 rodas e um motor elétrico, que se localiza juntamente a um dos conjuntos de rodas. Este é, de modo geral, o sistema típico produzido atualmente pelos três principais fornecedores de monotrilho no mundo.

Figura 5 - Ilustração do sistema de rodas



Fonte: Bombardier

Retomando a tabela 1, em que são comparados os principais modais de transporte público no Brasil, as seguintes características do monetrilho se destacam na comparação entre modais:

VANTAGENS DO MONOTRILHO

- Por ser construído em vias elevadas, este sistema é bastante adaptável a cidades com pouco espaço, tanto na horizontal como na vertical, pois ocupa uma pequena área na superfície do trânsito, sendo este limitado praticamente aos pilares de sustentação.
- Devido ao pouco espaço que ocupam no chão, a implantação do monetrilho é mais simples do que os sistemas elevados convencionais e esteticamente mais agradável na paisagem urbana.
- Apresenta boa flexibilidade quanto à capacidade. Podem ser utilizados veículos de baixa capacidade (3000 pessoas/hora) até grandes capacidades (60.000 pessoas/hora).
- Menor nível de ruído em relação do BRT e ao metrô (aproximadamente 65 db) por usarem pneus de borracha.

- Possui maior capacidade de realizar trajetos íngremes e curvas acentuadas, de forma mais ágil que os trens convencionais.
- Representa maior segurança em relação aos demais sistemas, uma vez que os carros do monotrilho são sempre mais largos do que o trilho que o sustenta, de forma que o veículo “abraça” o trilho da via circulante, dificultando o descarrilamento. Além disso, por serem construídos em vias elevadas, minimizam atropelamento de pessoas, animais e choque com outros veículos.
- Maior capacidade se comparado ao BRT e VLT.
- Menor interferência com o trânsito de automóveis por serem na maior parte das vezes construídos em vias elevadas.
- Menor custo, tempo e dificuldade de implantação do que os sistemas concorrentes, em especial se comparado com o metrô.
- A partir de uma análise de engenharia financeira, em 30 anos de vida útil, o monotrilho pode ser mais econômico que o BRT (via exclusiva para ônibus) e com menor custo de implantação (OLIVEIRA, 2009).
- Menor necessidade de desapropriações por usar canteiros centrais das vias já existentes.
- Ecologicamente favorável, pela reduzida emissão de carbono, devido ao fato de ser movido à energia elétrica.
- Maior capacidade e conforto que o sistema BRT (via exclusiva para ônibus).
- Possibilidade facilitada de integração com os demais modais de transporte (ônibus, aquaviário, taxi).

DESVANTAGENS DO MONOTRILHO

- Maior custo de implantação médio do que um sistema VLT em superfície
- Maior impacto na paisagem urbana em função das vias elevadas
- Maior dificuldade para evacuação de passageiros

Dessa forma, é possível observar que o sistema de transporte coletivo urbano por monotrilho adequa-se às principais necessidades de mobilidade da cidade, uma vez que possui uma capacidade de locomoção de passageiros que é adequada ao fluxo de pessoas. Além disso, apresenta uma alta capacidade de atrair usuários do transporte individual, pouca interferência no trânsito, além de uma capacidade de transporte de passageiros satisfatória

para a cidade, contando com menor custo, tempo e dificuldade de implantação se comparado com o metrô.

2.3 FATORES DE QUALIDADE PARA OS USUÁRIOS

O termo Fatores Humanos (*human factors*) compreende todos os elementos fisiológicos e psicológicos que influenciam a performance humana nas tarefas que requerem o uso de ferramentas e dispositivos, bem como na operação de máquinas, equipamentos e veículos em geral. Acuidade visual, audição, sensibilidade ao tato, luminosidade, temperatura, umidade, vibração etc., são fatores inerentes ao usuário e o meio-ambiente. Esses fatores afetam claramente a experiência de uso. Dessa forma, visando um adequado desenvolvimento do projeto, o designer precisa se colocar no lugar dos usuários dos veículos dos sistemas de transporte público, à procura de novas sensações e novos caminhos (LARICA, 2008).

A fim de compreender melhor a experiência do usuário do transporte público, é fundamental observar a realização das etapas envolvidas nos deslocamentos, que, em geral, são: caminhada da origem até o local de embarque no veículo, espera pelo coletivo, locomoção dentro do coletivo e, por último, caminhada do ponto de desembarque até o rumo final. Muitas vezes, para realizar a viagem completa, ainda é necessário efetuar uma ou mais transferências entre coletivos. Como todo este processo consome tempo e energia, assim como leva os usuários ao contato com diferentes ambientes, é importante que certos requisitos quanto à comodidade e segurança sejam cumpridos durante todo o período do percurso (FERRAZ E TORRES, 2004).

Para que esses requisitos sejam atendidos é importante elencar os fatores caracterizadores da qualidade. Ferraz e Torres (2004) elucidam os 12 principais fatores caracterizadores da qualidade, que são os maiores influenciadores na qualidade do transporte público urbano:

- Acessibilidade - está relacionada ao grau de facilidade de acesso ao local de embarque no transporte coletivo, de sair do local de desembarque e chegar ao destino final.
- Frequência de atendimento - expressa a relação do intervalo de tempo entre a passagem dos coletivos e a espera no local de parada.

- Tempo de viagem - representa o tempo em que o usuário gasta no interior dos veículos. Segue uma relação entre a velocidade média de transporte e a distância percorrida.
- Lotação - corresponde à quantidade de passageiros no interior do veículo.
- Confiabilidade - diz respeito ao nível de certeza que o usuário tem de que o coletivo irá passar na origem do trajeto e chegar ao destino no tempo previsto, com certa margem de tolerância.
- Segurança - está relacionada aos acidentes envolvendo o veículo de transporte público, assim como atos de violência presenciados no interior do veículo.
- Características dos veículos - fatores determinantes para o conforto dos usuários, as características dos veículos envolvem a tecnologia empregada e o estado de conservação dos veículos.
- Características dos locais de parada - correspondem aos atributos físicos dos locais de parada, como sinalização adequada, calçadas com dimensões adequadas para o fluxo de pessoas, existência de cobertura e bancos para sentar.
- Sistema de informações - compreende uma gama de recursos necessários para que os usuários estejam bem informados quanto ao funcionamento das linhas do sistema, para que possam completar as viagens de forma eficaz.
- Conectividade - está relacionado à facilidade de deslocamento dos usuários entre dois pontos quaisquer da cidade.
- Comportamento dos operadores - diz respeito ao comportamento dos operadores, em que o ideal é que condutores dirijam com habilidade e condutores e cobradores sejam prestativos e educados.
- Estado das vias - o estado das vias por onde transitam os veículos é de fundamental importância para o desempenho de viagens seguras e mais agradáveis.

Na tabela 2 encontram-se estes padrões de qualidade relacionados ao sistema de transporte público por ônibus, uma vez que este é o sistema que atende Porto Alegre. Para cada um dos fatores que influenciam a qualidade do transporte foram adicionadas propriedades que definem se o transporte oferece um serviço de qualidade boa, regular ou ruim.

Tabela 2 - Padrões da qualidade para transporte público por ônibus.

Fatores	Parâmetros de avaliação	Bom	Regular	Ruim
Acessibilidade	Distância de caminhada no início e no fim da viagem (m)	<300	300-500	>500
	Declividade dos percursos não exagerada por grandes distâncias, passeios revestidos e em bom estado, segurança na travessia das ruas, iluminação noturna, etc.	Satisfatório	Deixa desejar a	Insatisfatório
Frequência de atendimento	Intervalo entre atendimentos (minutos)	<15	15-30	>30
Tempo de viagem	Relação entre o tempo de viagem por ônibus e carro	<1,5	1,5 a 2,5	>2,5
Lotação	Taxa de passageiros em pé (pass/m ²)	<2,5	2,5-5	>5
Confiabilidade	Viagens não realizadas ou realizadas com adiantamento maior que 3 min ou atraso acima de 5 min (%)	<1	1-3	>3
Segurança	Índice de acidentes (acidentes/100 mil km)	<1	1-2	>2
Características dos ônibus	Idade e estado de conservação (ano)	Menos de 5 anos e em bom estado	Entre 5 e 10 anos e em bom estado	Outras situações
	Número de portas e largura do corredor	3 portas e corredor largo	2 portas e corredor largo	Outras situações
	Altura dos degraus, sobretudo do primeiro.	Pequena	Deixa desejar a	Grande
	Aparência	Satisfatória	Deixa desejar a	Insatisfatória

Fonte: Ferraz e Torres (2005)

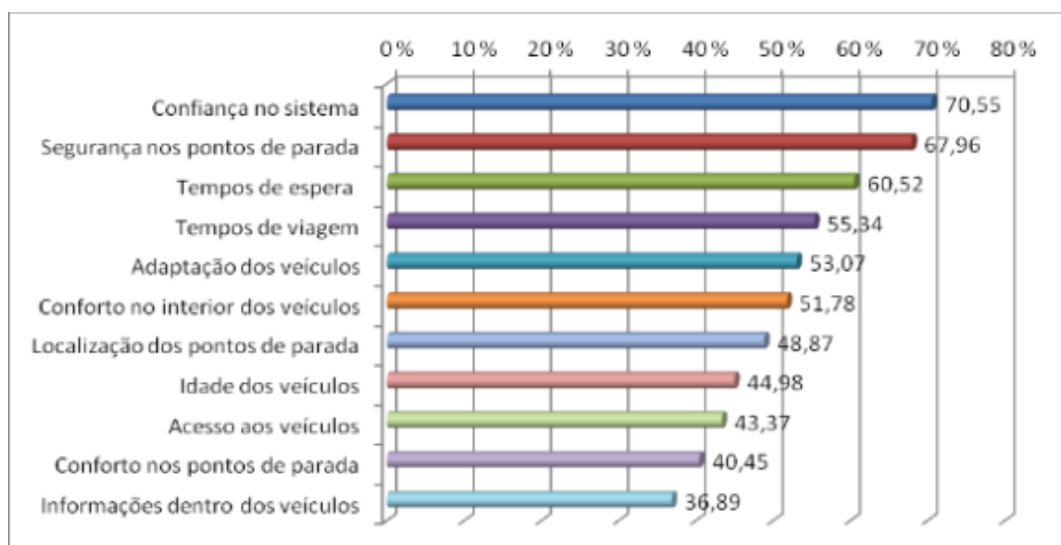
Tabela 2 - Padrões da qualidade para transporte público por ônibus (continuação)

Fatores	Parâmetros de avaliação	Bom	Regular	Ruim
Características dos locais de parada	Sinalização	Em todos	Falta em alguns	Falta em muitos
	Cobertura	Na maioria	Falta em muitos	Em poucos
	Banco para sentar	Na maioria	Falta em muitos	Em poucos
	Aparência	Satisfatória	Deixa a desejar	Insatisfatória
	Folhetos com itinerários e horários disponíveis	Sim	Sim, porém precário.	Não existem
Sistemas de informações	Informações adequadas nas paradas	Sim	Sim, porém precário.	Não existem
	Informações e reclamações (pessoalmente ou por telefone)	Sim	Sim, porém precário.	Não existem
	Transbordos (%)	<15	15-30	>30
Conectividade	Integração física	Sim	Sim, porém precário.	Não existe
	Integração tarifária	Sim	Não	Não
	Tempo de espera nos transbordos (min)	<15	10-30	>30
Comportamento dos operadores	Motoristas dirigindo com habilidade e cuidado	Satisfatório	Deixa a desejar	Insatisfatório
	Motoristas e cobradores prestativos e educados	Satisfatório	Deixa a desejar	Insatisfatório
Estado das vias	Vias pavimentadas e sem buracos, lombadas e valetas e com sinalização adequada.	Satisfatório	Deixa a desejar	Insatisfatório

Fonte: Ferraz e Torres (2005)

Tendo em vista relacionar esta tabela dos padrões de qualidade para ônibus de Porto Alegre, o gráfico da figura 6 traz os resultados de uma entrevista com 308 usuários do transporte público, em que Souza (2012) realizou um levantamento dos atributos operacionais que o público considera mais problemático no sistema de transporte público por ônibus em Porto Alegre.

Figura 6 - Resultado dos atributos considerados mais problemáticos pelos usuários de ônibus de Porto Alegre.



Fonte: Souza (2012)

A partir desses dados levantados, é possível observar mais especificamente quais fatores tem contribuído cada vez mais para a desvalorização e falta de atratividade do transporte por ônibus. Atributos considerados como uns dos mais carentes como confiança no sistema, tempo de espera e tempo de viagem ocorrem justamente pelo denso tráfego urbano, uma vez que o fluxo dos ônibus é fortemente influenciado pelo trânsito, mesmo com a presença de corredores exclusivos. Estas características problemáticas são inerentes ao tipo de sistema e seriam amenizadas ou solucionadas ao serem adotados modais que não tenham este tipo de interferência. Por exemplo, a definição de confiabilidade, como foi apresentada, não se aplica no caso do transporte com tecnologias diferenciadas de alta capacidade com grande frequência, como metrô, trem, VLT monotrilho, etc., pois, dentro da normalidade, não se considera atraso ou adiantamento em linhas de alta frequência (FERRAZ E TORRES, 2004).

Ferraz e Torres (2004) explicam que nas grandes cidades, a retidão do trajeto, deixa de ser o fator decisivo no tempo de viagem, pois, em outros tipos de modais, surgem outras variáveis mais determinantes, como a velocidade dos coletivos a partir da existência de faixas exclusivas ou separados do trânsito geral. Já os procedimentos de transbordo, que são inconvenientes nas cidades médias e pequenas, são absolutamente aceitáveis nas grandes cidades, inclusive nas rotas bairro-centro e vice-versa, como acontece nas interações forçadas entre linhas-tronco e linhas alimentadoras. Os usuários tendem a aceitar essas operações conscientes que há uma maior complexidade da rede de transporte público em grandes

ciudades, além de maior velocidade e conforto das tecnologias diferenciadas que operam nas vias troncais.

Em cidades maiores, também é fundamental que o sistema de informações dos usuários deva, obrigatoriamente, conter mapas simplificados da rede de transporte coletivo, painéis de orientação das estações (terminais) e no interior dos veículos, sistema de informações por telefone, etc. (FERRAZ E TORRES, 2004).

2.4 FATORES NORMATIVOS

A seguir estão descritos os principais fatores normativos que permeiam o projeto. Ao longo do projeto pode ser necessária a inserção de novas normas e legislações, de acordo com o rumo tomado durante a fase de desenvolvimento.

2.4.1 Política Nacional de Mobilidade Urbana

A Lei nº 12.587 (anexo I) institui as diretrizes para a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), indicando princípios, diretrizes e instrumentos para orientar as cidades no planejamento do sistema de transporte e de infraestrutura viária para circulação de pessoas e cargas, com objetivo em atender à população e contribuir para o desenvolvimento urbano sustentável.

A Política Nacional de Mobilidade Urbana é recurso da política de desenvolvimento urbano que tem como objetivo a integração entre os diferentes sistemas de transporte e a ampliação da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território brasileiro. Esta política tem por finalidade favorecer o acesso universal à cidade, o incentivo e a consolidação das condições que contribuam para a realização dos princípios, objetivos e diretrizes da política de desenvolvimento urbano, através do planejamento e da gestão democrática do Sistema Nacional de Mobilidade Urbana.

Os principais aspectos e definições da Lei nº 12.587 que se aplicam a este trabalho são:

- Transporte urbano: conjunto dos modos e serviços de transporte público e privado utilizados para o deslocamento de pessoas e cargas nas cidades integrantes da Política Nacional de Mobilidade Urbana;

- Mobilidade urbana: condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano;
- Acessibilidade: facilidade disponibilizada às pessoas que possibilite a todos autonomia nos deslocamentos desejados, respeitando-se a legislação em vigor;
- Transporte público coletivo: serviço público de transporte de passageiros acessível a toda a população mediante pagamento individualizado, com itinerários e preços fixados pelo poder público;
- Priorização do transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado.

2.4.2 ABNT NBR 14183 Trem Metropolitano – Acomodação e Capacidade de Passageiros

Esta norma define os critérios para definição de níveis de conforto e determinação da capacidade de passageiros em trem metropolitano. Indica, também, as características dos níveis de acomodação padronizados, a respeito dos locais para passageiros sentados e passageiros em pé.

Sobre a lotação do carro, a norma classifica os níveis de conforto em A, B ou C, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Nível de conforto em trem, em função da disponibilidade média de área à acomodação de passageiro em pé

Nível de conforto	Área disponível		Contato entre passageiros em pé
	m ² /passageiro	passageiro/m ²	
A	acima de 0,25	Até 4,0	Confortável
B	de 0,16 a 0,25	de 4,0 a 6,0	Contato inevitável
C	abaixo de 0,16	acima de 6,0	Desconfortável

Fonte: NBR 14183

A proporção de assentos é a relação entre a quantidade de assentos e a capacidade nominal (total de passageiros sentados e em pé), e deve ser no mínimo de 15%.

A capacidade nominal dos carros é calculada pela função:

$$P = [(Au - As) \times D] + Ps$$

Sendo:

P é a capacidade nominal do carro, representada em número de passageiros;

Au é a área útil do salão, informada em metros quadrados;

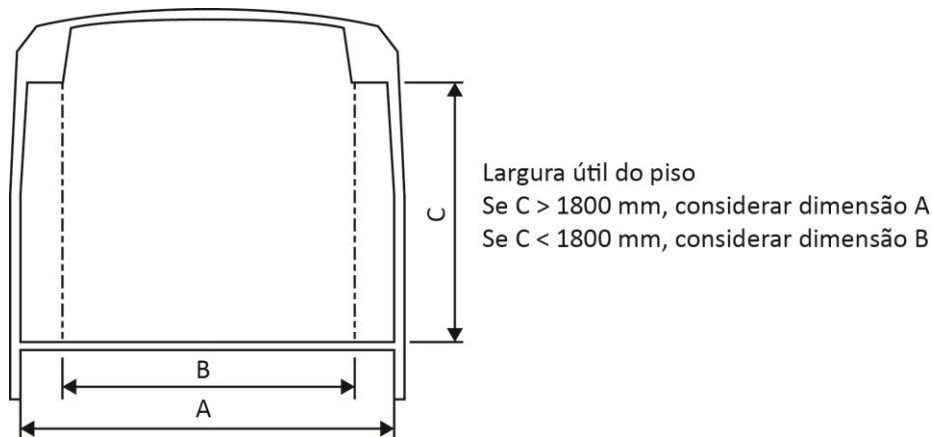
As é a área total ocupada por passageiro sentados, expressa em metros quadrados;

D é a densidade de passageiros em pé, expressa em número de passageiros por metro quadrado;

Ps é a quantidade de lugares para passageiros sentados.

A área útil do salão é determinada pela área a nível do piso, subtraídas todas as áreas não utilizáveis por passageiro, conforme figura 7.

Figura 7- Salão de passageiros - Corte transversal



Fonte: NBR 14183

2.4.3 ABNT NBR 14021: "Transporte - Acessibilidade em Trens Urbanos e Metropolitanos"

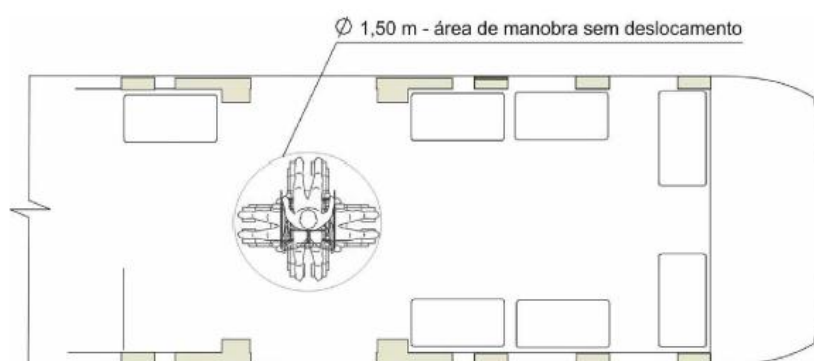
A norma NBR 14021 objetiva garantir a acessibilidade a toda população, proporcionando a inclusão de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. Visa oportunizar aos usuários, independentemente de idade, estatura e condição física ou sensorial, o uso, com autonomia e segurança, de todos elementos do sistema de transporte metro ferroviário.

Para este projeto, são destacados os seguintes itens da norma:

- A superfície do piso do trem deve ser nivelada e antiderrapante.
- Deve haver no mínimo um carro em cada trem destinado a pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida, com área para pessoa em cadeira de rodas (módulo cadeirante), preferencialmente localizado próximo à cabine de condução do trem. O local para posicionamento da pessoa em cadeira de rodas deve ser livre de obstáculos, e medir 0,80 m x 1,20 m.

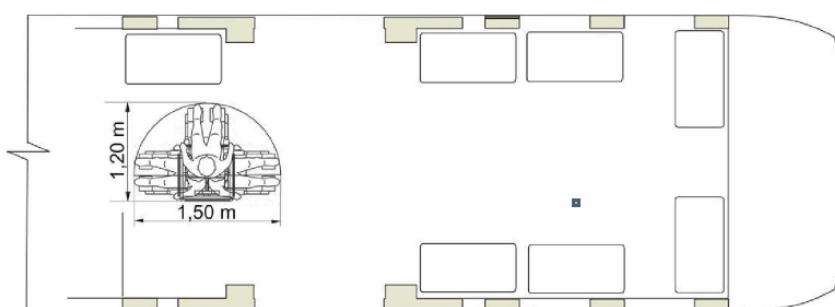
- O módulo para cadeirante deve estar, de preferência, próximo à porta de embarque e desembarque.
- O vão livre das portas de embarque e desembarque para pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida deve ter largura mínima de 1,20 m.
- Quando houver passagem entre carros, deve haver vão livre mínimo de 0,60 m e desnível no piso de no máximo 1,5 cm.
- Não deve haver barreiras na área de circulação interna do carro, desde a porta de embarque e desembarque até o local para pessoa em cadeira de rodas. Esta área de circulação deve admitir a manobra de cadeira de rodas, permitindo o giro de 180° e 360°, como mostram as figuras 8 e 9.

Figura 8 - Giro de 360° no interior do carro - exemplo



Fonte: NBR 14021

Figura 9 - Giro de 180° no interior do carro - exemplo

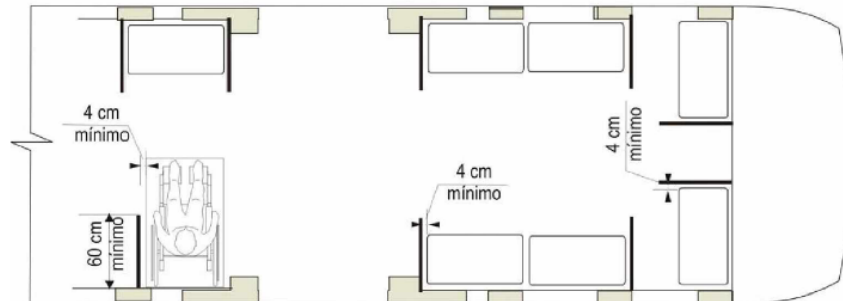


Fonte: NBR 14021

- O local para pessoa em cadeira de rodas deve ser disposto perpendicularmente ao sentido do carro. Deve haver barra de apoio (ou balaústre) com comprimento mínimo de 0,60 m, afastada no mínimo 4,0 cm do anteparo onde

ela for fixada, para empunhadura, como ilustra a figura 10. A fixação da barra não deve influenciar ou diminuir a área de manobra da cadeira de rodas.

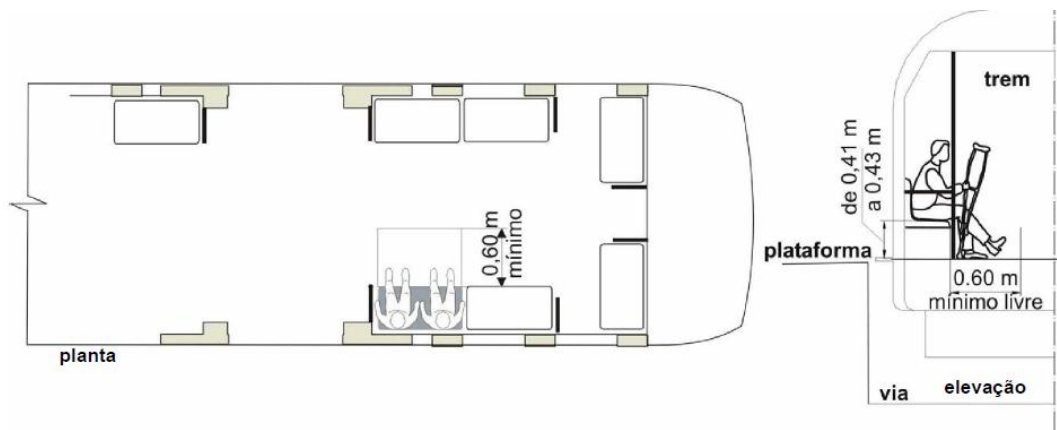
Figura 10 - Barra de apoio no interior do carro - módulo perpendicular



Fonte: NBR 14021

- No interior de cada carro deve haver assentos preferenciais com altura entre 0,41 m e 0,43 m, barra de apoio ou balaústre e espaço frontal livre maior ou igual a 0,60 m, de acordo com a figura 11.
- O número de assentos preferenciais deve ser maior ou igual a 5% do total de assentos do carro, contendo, no mínimo, dois assentos preferenciais por carro.

Figura 11 - Assento preferencial e balaústre no interior do carro - planta e corte

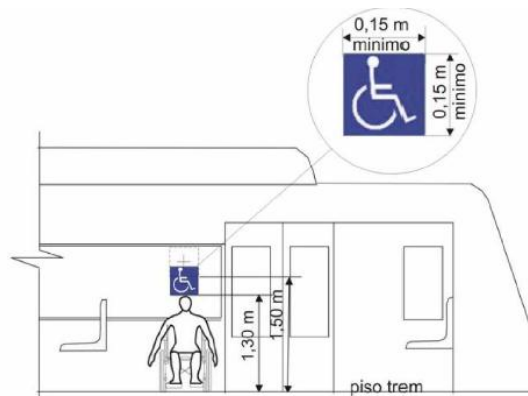


Fonte: NBR 14021

- No carro em que há módulo para cadeirante, deve ser previsto um assento para pessoa obesa, seguindo as seguintes características:
 - a) ter largura equivalente a dois assentos;
 - b) suportar carga para no mínimo 250 kg.

- Deve haver informação visual do destino do trem fixada na parte frontal ou lateral do primeiro carro, legível para o usuário que se localiza na plataforma. Em todos os carros deve haver:
 - a) alarme sonoro, audível interna e externamente ao carro, para avisar sobre o fechamento das portas;
 - b) informação visual permanente na parte interna do trem, próximo às portas, contendo nome e sequência das estações, com destaque para as estações de transferência;
- O local do módulo de cadeirante deve conter sinalização com o Símbolo Internacional de Acesso, na lateral interna do carro, com dimensão mínima de 0,15 m, instalada entre 1,30 m a 1,50 m em relação ao piso do trem, conforme figura 12.

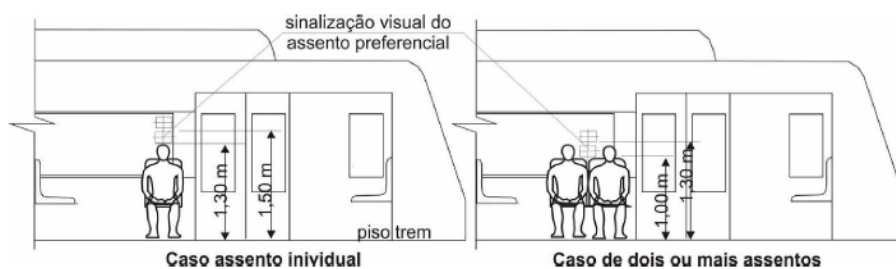
Figura 12 - Sinalização do local para pessoa em cadeiras de rodas no interior do trem - vista frontal



Fonte: NBR 14021

- Os assentos preferenciais devem ser sinalizados sobre sua finalidade preferencial e a sinalização deve ser colocada entre 1,00 m e 1,50 m do piso. Estes assentos devem ter cor diferenciada dos demais assentos, conforme figura 13.

Figura 13 - Sinalização de assentos preferenciais no interior dos carros - vista frontal



Fonte: NBR 14021

3. PROJETO INFORMACIONAL

Neste capítulo são coletados dados e analisados a fim de identificar os requisitos necessários em que será baseado o desenvolvimento do projeto do produto. Para tal, serão utilizados diferentes métodos de design, para auxiliar na identificação das especificações de projeto.

3.1 PROBLEMA DE PROJETO

O problema de projeto compreende o desenvolvimento de um veículo para a implantação de um sistema de monotrilha na cidade de Porto Alegre. Os elementos do veículo que serão desenvolvidos neste projeto são:

- Layout package do chassi
- Salão de passageiros
- Carenagem externa

No intuito de compreender melhor as variáveis referentes a esses elementos, é fundamental a utilização de análises associadas ao sistema e ao produto, em relação ao usuário e ao cenário, juntamente com o cruzamento de dados obtidos no referencial teórico.

3.2 ANÁLISE FUNCIONAL

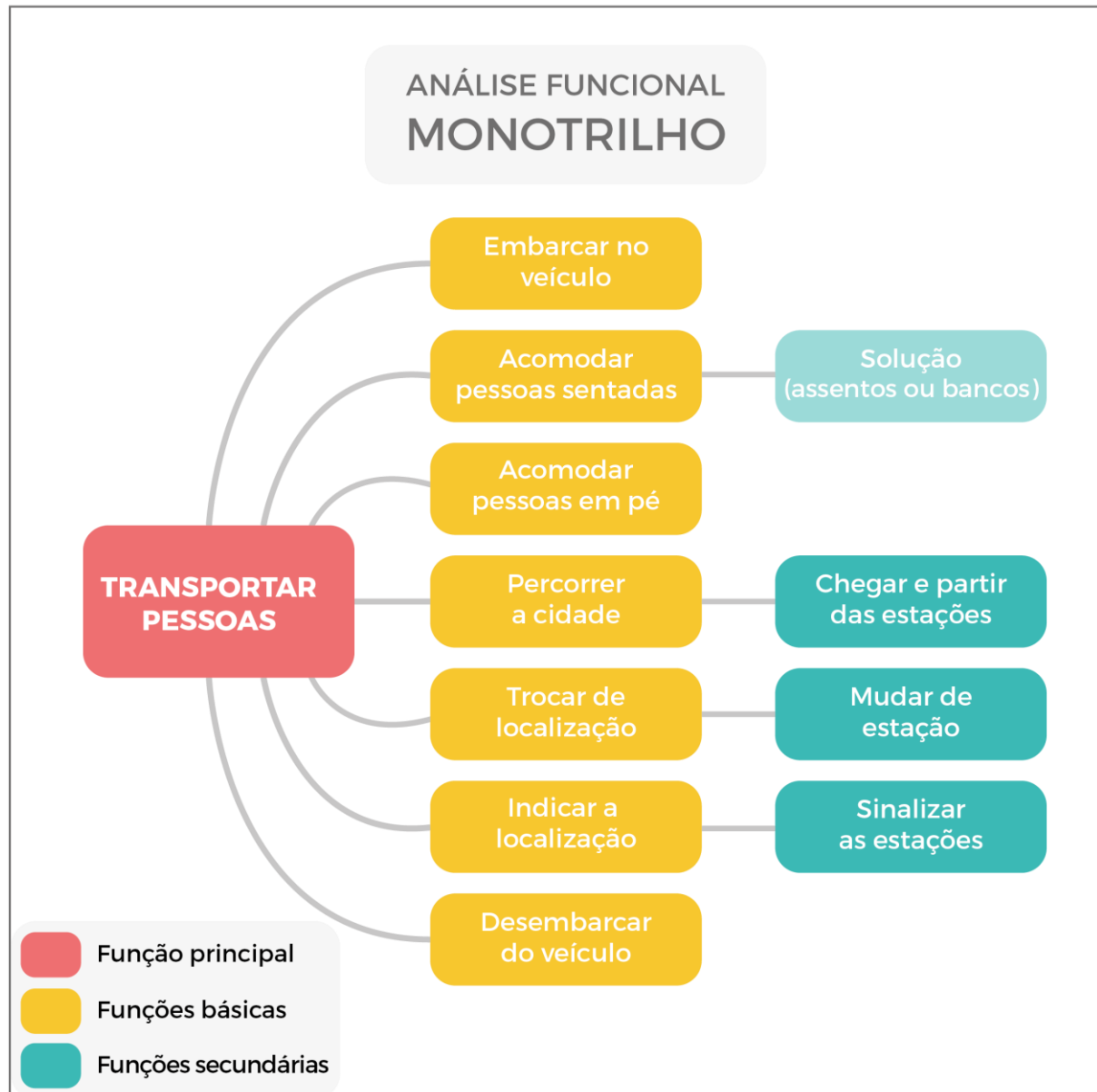
Pazmino (2015) esclarece que a análise funcional permite uma melhor compreensão sobre o funcionamento do produto a ser projetado, a partir da realização de um desdobramento funcional, é possível obter uma estrutura que atenda a todas as necessidades do novo produto ou serviço. O estabelecimento da estrutura de funções constitui um dos passos mais importantes no desenvolvimento dos mesmos.

Em projetos que se tratam de redesign ou de inovações incrementais, esta ferramenta é aplicada considerando a análise de sistemas ou produtos já existentes. Este método possibilita construir um esquema funcional do produto, ampliando os conhecimentos sobre o projeto, do ponto de vista funcional e do usuário, de forma lógica e objetiva. Recomenda-se que este tipo de análise seja feito para produtos de média e alta complexidade. O resultado

deste método permite a instigação para geração de conceitos, causando inovações radicais ou pequenas mudanças (PAZMINO, 2015).

A figura 14 mostra o esquema da estrutura funcional de um sistema de transporte por monotrilho.

Figura 14 - Análise funcional do monotrilho



Fonte: Pazmino (2015) – Adaptado

A partir desta análise funcional, é possível executar a análise de tarefa de forma mais consciente e esclarecida.

3.3 ANÁLISE DE TAREFA

A análise da tarefa facilita a observação da relação entre o usuário e determinado produto ou serviço durante seu uso. A utilização desta ferramenta permite explorar as interações entre o produto e seu usuário, observando aspectos ergonômicos e antropométricos de determinada atividade, de modo a destacar pontos positivos e negativos que possam melhorar a experiência do usuário em relação ao produto (BAXTER, 2011).

Pazmino (2015) complementa que a análise da atividade compreende observar, descrever e identificar questões negativas e positivas presentes durante o uso do produto ou serviço. É recomendado o registro da atividade por vídeo ou fotografias, apontando as circunstâncias de desconforto e as possíveis soluções para aprimorar a usabilidade na experiência.

O resultado desta análise deve gerar necessidades ergonômicas, de modo que as mesmas devem ser listadas. Deve, também, mencionar possíveis soluções para melhorar o conforto e o uso do produto tornando o mais simples, operacional e emocional. Dessa forma, a ferramenta possibilita a identificação de problemas ergonômicos no produto a ser projetado, facilitar a geração de novos conceitos e desenvolver produtos funcionais (PAZMINO, 2015).

Devido à inexistência de um sistema de transporte por monotrilho na cidade de Porto Alegre, as análises de tarefa ocorreram em trajetos utilizando os sistemas existentes – ônibus e trem. Então, a seguir serão descritas duas análises em diferentes veículos de transporte público: ônibus e trem. Por meio de registros fotográficos contínuos, foi possível observar diferentes experiências e comportamentos dos usuários no decorrer das atividades. Ao final do registro são listadas as principais observações encontradas, para que os problemas encontrados possam ser reparados ou atenuados durante o desenvolvimento do projeto.

3.3.1 Ônibus

Para análise de tarefa do uso de ônibus (figura 15), foram considerados as seguintes etapas explicadas por Ferraz e Torres (2004): Percurso a pé da origem até o local de embarque; Espera pelo coletivo; Entrada no coletivo; Pagamento; Acomodação dentro do coletivo; Solicitação de desembarque; Desembarque do coletivo; Caminhada do ponto de

desembarque até o destino final. Esta análise foi realizada no ônibus da empresa Carris, linha 353 (Ipiranga-PUC), carro Marcopolo, modelo Gran Viale.

Figura 15 - Análise de tarefa ônibus



Fonte: Autora

A observação da atividade de deslocamento por ônibus permitiu as seguintes considerações:




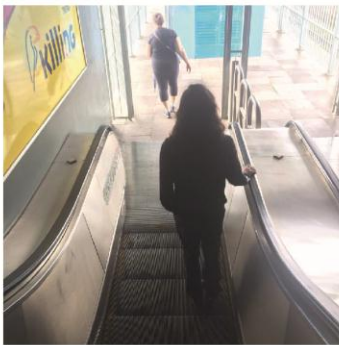
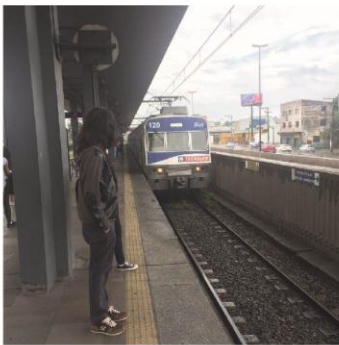



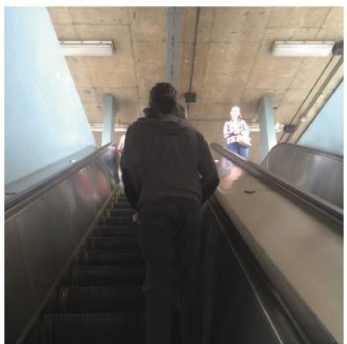
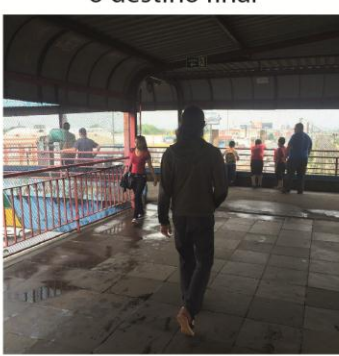
- Durante a espera pelo ônibus, a usuária aparentou certo receio em relação à segurança, devido ao local de parada ser aberto.

- Este modelo de ônibus não apresentou grandes problemas no momento da passagem pela porta, por não ser muito alto em relação ao chão, em comparação a outros modelos de carros que possuem até 2 degraus de subida.
- O pagamento foi rápido e prático, uma vez que a usuária utilizou seu cartão TRI.
- A acomodação foi, em um primeiro momento, de pé, pois não havia assentos disponíveis. A usuária segurou-se nos pilares e apoios do ônibus.
- Durante o trajeto, foi disponibilizado um assento, em que a usuária se dirigiu para sentar. Na locomoção da usuária dentro do ônibus rumo ao assento vago, foi preciso subir um degrau.
- Para o desembarque, a usuária se dirigiu à porta do ônibus e solicitou desembarque, sempre utilizando as barras de apoio para se segurar durante o movimento do veículo. A usuária não alcançava a barra superior, por estar em posição muito alta. Isto não afetou esta viagem, porém em trajetos em que o ônibus está lotado, isto é um problema.
- No desembarque, foi necessário descer um degrau para acessar a calçada do local de parada.

3.3.2 Trensurb

A análise de tarefa realizada no Trensurb (figura 16) se deu na cidade de Canoas, entre a estação Fátima e a estação Mathias Velho. O modelo de trem é da série 100 (modelo antigo). As atividades analisadas foram baseadas nas etapas do percurso feito por ônibus, conforme orientam Ferraz e Torres (2004), com suas devidas adaptações ao modal trem, e são: Percurso a pé da origem até a estação de Trem; Pagamento da passagem; Passagem pela catraca; Percurso até a plataforma; Espera pelo coletivo; Entrada no coletivo; Acomodação dentro do coletivo; Desembarque do coletivo; Caminhada da plataforma até a catraca; Percurso da catraca até o destino final.

Figura 16 - Análise de tarefa trem

<p>Percurso a pé da origem até a estação de trem</p> 	<p>Pagamento da passagem</p> 	<p>Passagem pela catraca</p> 
<p>Percurso até a plataforma</p> 	<p>Espera pelo coletivo</p> 	<p>Entrada no coletivo</p> 
<p>Acomodação dentro do coletivo</p> 	<p>Desembarque do coletivo</p> 	<p>Caminhada da plataforma até a catraca</p> 
<p></p>	<p>Percurso da catraca até o destino final</p> 	<p></p>

Fonte: Autora

As seguintes considerações resultaram da observação da atividade de deslocamento por trem:

- O acesso a pé da rua até a estação por meio de passarela é longo e íngreme, resultando em reclamação por parte do usuário.
- O pagamento da passagem unitária não é prático, uma vez que é necessário dirigir-se ao guichê com atendente. Não há automatização da compra da passagem, o que, muitas vezes acarreta na formação de filas.
- O ticket magnético (cartão) possui uma leitura mais demorada do que o ticket antigo de papel e é necessário esperar por alguns segundos para a catraca reconhecer o cartão.
- O percurso até a plataforma é por meio de escada rolante. Também há a opção de elevador para pessoas com necessidades especiais de locomoção.
- O aguardo pelo coletivo é curto, uma vez que o intervalo máximo entre trens é de 10 minutos. O local de parada é coberto, com assentos e possui câmeras de vigilância, tornando esta espera mais segura.
- Para a entrada no veículo, é preciso aguardar a saída dos demais usuários, uma vez que os avisos de entrar e sair pela direita, são ignorados, dificultando e tornando mais demorada a parada nas estações. Não há degraus entre o trem e a plataforma, apenas um vão estreito.
- A acomodação do usuário analisado no interior do veículo é de pé, devido à baixa oferta de assentos e alta lotação do coletivo. As barras de apoio são apenas no corredor central.
- Durante a saída, é notado que não há apoio próximo às portas, o que ocasiona na aglutinação de pessoas no centro do veículo e dificuldade no equilíbrio na direção à saída com o trem em movimento.
- O percurso entre a plataforma e a catraca é feito por escada rolante. Nesta estação também há um elevador.
- Não há filas para a passagem pela catraca. Esta etapa é realizada sem dificuldades.
- No trajeto entre a estação e a rua, é necessário descer uma rampa, que se trata de uma passarela sobre a BR 116.

3.4 ANÁLISE DE SIMILARES


Foram realizadas as análises diacrônica e sincrônica, com a finalidade de ampliar o conhecimento sobre o sistema e os veículos de monotrilho.

3.4.1 Análise Diacrônica

A análise diacrônica se trata de um levantamento das características do produto a ser desenvolvido ou da necessidade a ser satisfeita ao longo do tempo. Estas informações podem ser empregadas no projeto na definição das características do produto. Para a comparação dos dados levantados, recomenda-se o uso de uma tabela, em que haja os mesmos critérios de análise para todos os produtos similares estudados (PAZMINO, 2015).

O quadro 1 mostra a evolução do monotrilho ao longo dos anos por todo o mundo, relacionando às fotos de cada veículo informações como posição do trilho (superior –trem suspenso ou inferior), Nº de linhas que o sistema atende, extensão em km do sistema na cidade, a velocidade máxima atingida e o sistema de operação, que pode ser manual, ATO (Automatic Train Operation), ATC (Automatic Train Control), ATS (Automatic Train Stop), ATP (Automatic Train Protection), com ou sem motorista.

Quadro 1 - Análise diacrônica

	<p>1901 - Wuppertal, Alemanha Posição do trilho: Superior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 13 km Nº de estações: 20 Velocidade máxima: 60 km/h Sist. de operação: Manual</p>		<p>1964 – Tóquio, Japão Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 17,8 km Nº de estações: 10 Velocidade máxima: 80 km/h Sist. de operação: ATC com motorista</p>
	<p>1955 - Fukuoka, Japão Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 8,8 km Nº de estações: 13 Velocidade máxima: 65 km/h Sistema de operação: ATO com motorista</p>		<p>1970 - Kanagawa, Japão Posição do trilho: Superior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 6,6 km Nº de estações: 8 Velocidade máxima: 75 km/h Sist. de operação: ATS com motorista</p>
	<p>1959 – Los Angeles, EUA Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 3,7 km Nº de estações: 2 Velocidade máxima: 40 km/h Sist. de operação: Manual</p>		<p>1971 - Flórida, EUA Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 3 Extensão da linha: 23,6 km Nº de estações: 6 Velocidade máxima: 40 km/h Sist. de operação: Manual</p>
	<p>1963 – Aichi, Japão Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 1,5 km Nº de estações: 3 Velocidade máxima: 66 km/h Sist. de operação: Manual</p>		<p>1984 – Dortmund, Alemanha Posição do trilho: Superior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 3 km Nº de estações: 5 Velocidade máxima: 50 km/h Sistema de operação: ATO sem motorista</p>

Fonte: Oliveira (2009) adaptado

Quadro 1 – Análise diacrônica (continuação)

	<p>1962 – Seattle, EUA Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 1,5 km Nº de estações: 2 Sist. de operação: Manual</p>		<p>1988 – Sidney, Austrália Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 3,6 km Nº de estações: 8 Velocidade máxima: 33 km/h Sist. de operação: Sem motorista, semiautomático</p>
	<p>1988 – Chiba, Japão Posição do trilho: Superior Nº de linhas: 2 Extensão da linha: 15,2 km Nº de estações: 15 Velocidade máxima: 65km/h Sistema de operação: ATC</p>		<p>2005 - Chongqing, China Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 19,2 km Nº de estações: 18 Velocidade máxima: 80km/h Sistema de operação:</p>
	<p>1990 – Osaka, Japão Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 21,2 Nº de estações: 14 Velocidade máxima: 75 km/h Sist. de operação: ATC</p>		<p>2007 – Singapura Posição do trilho: Inferior Nº de linhas: 1 Extensão da linha: 2,1 Nº de estações: 4 Sistema de operação: Manual</p>

Fonte: Oliveira (2009) adaptado

A partir dos dados apresentados, é evidente a flexibilidade do sistema, uma vez que é possível atender desde linhas pequenas até linhas maiores e compor uma ou mais linhas nas cidades. O quadro também indica diferentes tipos de sistemas de operação, com ou sem motorista. Além disso, este quadro mostra como o sistema de transporte por monotrilho é antigo e consolidado, uma vez que o primeiro registro desse sistema é datado em 1901.

3.4.2 Análise Sincrônica

Baxter (2011) explica que a análise sincrônica, também conhecida como análise paramétrica, compara o produto em desenvolvimento com produtos existentes ou concorrentes, com base em características mensuráveis de forma quantitativa e qualitativa.

Esta análise visa coletar dados sobre características de veículos de monotrilho. Foram analisados os monotrilhos de São Paulo, Dubai (Emirados Árabes Unidos), Mumbai (Índia) e Daegu (Coreia do Sul).

O quadro 2 mostra o veículo circulante no trecho em que o monotrilho iniciou sua operação na cidade de São Paulo. O projeto conta com 3 linhas, totalizando uma extensão de 59, km e 49 estações. O custo previsto é de 17,5 bilhões de reais. As obras iniciaram em 2009 e não possuem previsão para conclusão. Em 2016 foram entregues duas estações e o trecho entre elas está operando.

Quadro 2 - Características do monotrilho de São Paulo

	<p>Trem composto de 7 carros e passagem livre entre carros.</p> <p>Motores de Tração AC, refrigerado à água.</p> <p>Operação UTO - Unattended Train Operation, sem operador.</p> <p>Salão de passageiros com ar climatizado.</p> <p>Câmeras nos carros e gravação de imagens.</p> <p>Comunicação de voz entre os usuários e o CCO.</p> <p>Capacidade por Trem: 1.002 passageiros (6 pass/m²)</p> <p>Passageiros sentados: 122, sendo 2 assentos para obesos.</p> <p>Passageiros em pé: 880.</p> <p>Largura do trem: 3.147 mm</p> <p>Comprimento máximo do trem: 85.289 mm</p> <p>Largura das portas: 1,600 mm, 4 portas por carro.</p> <p>Altura do piso até o teto: 2.100 mm.</p> <p>Velocidade máxima: 80km/h</p>
--	--

Fonte: São Paulo (2016)

O sistema de monotrilho de Dubai (figura 17) iniciou suas operações em 2009, com uma extensão de 5,4 km, 4 estações, 2 linhas e velocidade máxima de 70 km/h.

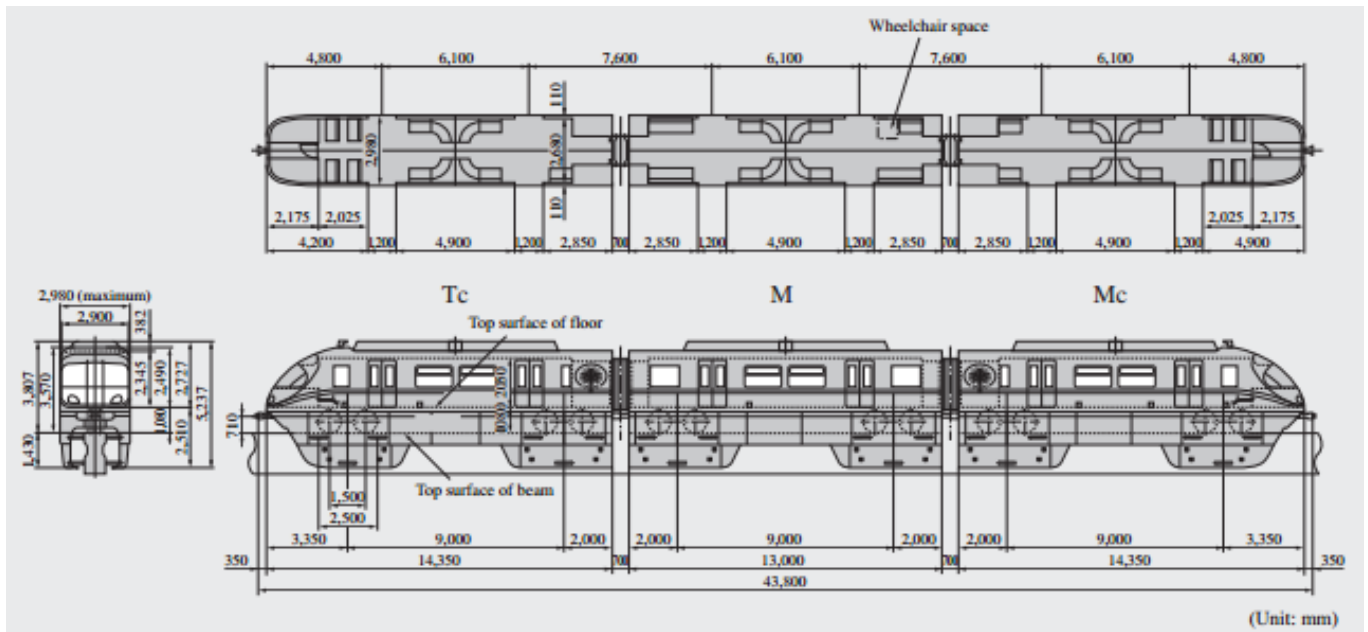
Figura 17 – Monotrilho de Dubai



Fonte: Hitachi (2016)

O monotrilho tem uma composição de três carros fixos com um comprimento total de 43,8 m. A estrutura do pavimento é à prova de fogo e portas corta-fogo nos corredores são adotadas em caso de um incêndio no monotrilho. A figura 18 mostra a configuração interna do veículo, juntamente com suas dimensões.

Figura 18 - Características do monotrilho de Dubai.



Fonte: Hitachi (2016)

Em Mumbai, na Índia, o monotrilho (Quadro 2) foi inaugurado em 2014. A única linha conta com 8,9 km e 7 estações (RAILWAY TECHNOLOGY, 2016).

Quadro 3 - Monotrilho de Mumbai, Índia



Dimensões: 94m de comprimento, 18m de largura e 12m de altura

Cada trem possui 16 portas automáticas e de quatro a seis carros.

Acomoda até 568 (80 sentados e 488 em pé) passageiros de cada vez.

Fonte: Railway Technology (2016)

Em Daegu, na Coreia do Sul (figura 19), o monotrilho funciona desde 2015 e transportou cerca de 84 milhões de passageiros no primeiro ano de operação. O sistema possui 3 linhas, 24 km de extensão e 30 estações (DAEGU, 2016).

Figura 19 - Monotrilho de Daegu



Fonte: Daegu (2016)

A tabela 4 mostra as características dos veículos de cada uma das 3 linhas do sistema de monotrilho da cidade de Daegu.

Tabela 4 - Características do monotrilho de Daegu

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Observações
Largura	2,9 m	2,75 m	15 m	3 carros por monotrilho na linha 3. 6 carros por monotrilho nas linhas 1 e 2
Comprimento do trem	46,2 m	108 m	61,8 m	
Capacidade	265 passageiros	722 passageiros	457 passageiros	

Fonte: Daegu (2016) Adaptado

3.5 IDENTIFICAÇÃO DE FABRICANTES DOS VEÍCULOS

Atualmente, os principais fornecedores de veículos de monotrilho no mundo são as empresas Bombardier, Hitachi e Scmi. A tabela 5 a seguir relaciona as principais características técnicas de cada um dos fabricantes para este tipo de veículo.

Tabela 5 - Especificações de monotrilho dos principais fabricantes

Característica	Bombardier	Hitachi	Scomi
Capacidade por carro	224 a 350	98 a 440	139
Velocidade máxima	80 km/h	80 km/h	90 km/h
Menor raio de curva (m)	46	45	45
Gradiente de elevação	6,5%	6%	6%
Configurações	Monocarro, até 8 carros por composição	Monocarro, até 9 carros da composição	Monocarro, até 4 carros na composição
Largura dos postes de apoio	0,8 a 1,2 m	0,8 a 1,5 m	0,8 a 1 m
Altura típica da via elevada	6 a 8 m	6 a 12 m	6 a 10 m
Principais Projetos de referência	São Paulo - linha 15 Newyark (EUA) Riyadh (Arábia Saudita) Las Vegas (EUA)	Dubai (EAU) Daegu (Coreia do Sul) Chongqing (China) Tóquio (Japão)	São Paulo – linhas 17 e 18 Manaus Mumbai (Índia)

Fonte: Oliveira (2009) Adaptado

Os dados técnicos relativos a cada fabricante são fundamentais para o desenvolvimento e detalhamento do projeto e serão utilizados na etapa seguinte deste projeto.

3.6 IDENTIFICAÇÃO DOS USUÁRIOS

A definição de usuário feita por Back et al. (2013) se trata de: “todas as pessoas, órgãos ou instituições que têm interesse, direito de opinar, impor exigências ou expressar necessidades que venham a afetar de alguma forma as características ou os atributos do produto a ser desenvolvido”.

Para este projeto, são considerados usuários em potencial todas as pessoas que se locomovem no perímetro urbano da cidade de Porto Alegre, englobando todas classes sociais, idades e gêneros. Apesar do uso do serviço de transporte público ainda ser associado às camadas sociais mais baixas, este trabalho busca tornar este serviço atrativo para todas as camadas sociais, como uma contribuição à diminuição do uso do automóvel particular.

3.6.1 Questionário

Por meio de um questionário com questões dissertativas e objetivas, este método buscou conhecer melhor o universo do usuário, identificando suas necessidades, carências e

desejos em relação à mobilidade urbana na cidade de Porto Alegre. As perguntas realizadas neste questionário encontram-se no apêndice 2.

Inicialmente, foram coletados dados gerais, como faixa etária, gênero e principal modo de locomoção na cidade. Em seguida, os participantes foram direcionados a grupos de questões de acordo com o tipo de transporte que mais utilizam para se deslocar na cidade: modo público ou não. Ao final, ambos os perfis de participantes responderam a uma questão que classificava o grau de importância de cada um dos fatores de qualidade para usuários (FERRAZ E TORRES, 2004).

O questionário contou com um total de 108 participantes, usuários e não usuários de transporte público em Porto Alegre. Do total de participantes, 74,1% respondeu que utiliza transporte público como principal forma de locomoção na cidade. Para estes, foram feitas as seguintes perguntas abertas: Qual a frequência semanal de uso do transporte público? Quais os principais aspectos positivos? Quais os principais aspectos negativos? Quais os principais aspectos a melhorar?

Já à parcela de participantes que não utiliza sistema de transporte público, foram feitas as seguintes perguntas: Por que não utiliza? Qual meio de transporte mais utiliza? O que é necessário no sistema de transporte público para atraí-lo?

Durante a análise das respostas dos dois perfis de participantes, foi observado um padrão nas manifestações, em que os principais aspectos mencionados foram listados e registrados o número de vezes que foram citados, como mostra o quadro 4. Estas manifestações são fundamentais para a definição das necessidades do usuário.

Quadro 4 - Análise do questionário

Vantagens	Desvantagens	Sugestões para solução
Baixo preço/economia – 34 Evitar dirigir (stress) – 19 Sustentabilidade – 18 Rapidez – 10 Praticidade -8	Horários - 36 Demora – 25 Lotação – 21 Insegurança – 17 Características dos veículos –15 Preço – 13 Conforto (falta de) - 12	- Mais horários - Mais informação (horários, itinerários, paradas) - Aeromóvel - Sistema similar ao metrô - VLT - Diversificar modais - Sistema tronco-alimentador - Veículos com maior capacidade de passageiros - Paradas fechadas

Fonte: Autora

A análise das respostas quanto ao grau de importância de cada um dos fatores da qualidade mostrou que o público considera todos os itens muito importantes, não sendo possível fazer uma grande distinção entre eles.

3.6.2 Necessidades dos usuários

A partir do questionário realizado com usuários e possíveis usuários, análise de tarefa, e demais dados coletados sobre o transporte coletivo em âmbito local e internacional, é visível que o atual sistema é repleto de falhas e carências, ocasionando em um baixo grau de satisfação pelo usuário e uma adesão cada vez menor ao sistema público de locomoção. De forma geral, a necessidade do usuário é efetuar seus deslocamentos diários de forma minimamente confortável, de modo que o uso do transporte coletivo seja uma opção de mobilidade urbana agradável, e não uma situação desconfortável e desgastante, cuja qual é evitada.

Além disso, é importante para os passageiros informações sobre o trajeto, paradas do percurso e previsão do tempo de espera até a chegada do veículo, pois proporcionariam maior facilidade de planejamento para o usuário ao escolher o horário e linha de ônibus para seus deslocamentos diários. Já por parte dos compradores e operadores do veículo, as necessidades principais recaem sobre questões como preço, manutenção, conforto para motorista e cobrador, facilidade de uso e ainda a estética externa do ônibus.

As necessidades de usuários, dentro deste contexto geral, são apresentadas de forma mais detalhada no quadro 5.

Quadro 5 - Descrição das necessidades do usuário

Necessidade	Descrição
Ser barato	Para o comprador do veículo, é fundamental proporcionar custos adequados para a compra, manutenção e operação. Para o passageiro, deve oferecer tarifa acessível.
Ser confortável	É preciso que haja para os passageiros um mínimo de conforto durante o percurso, seja realizado em pé ou em posição sentada, minimizando os problemas ocasionados pelo desconforto durante o trajeto.

Quadro 5 – Descrição das necessidades do usuário (continuação)

Ser seguro	O veículo deve conter o máximo de dispositivos de segurança possíveis para a prevenção e diminuição dos riscos a acidentes, além da precaução em caso de crimes, como assaltos, tornando assim a viagem do passageiro mais tranquila.
Oferecer informações relativas ao trajeto	Para uma melhor localização e escolha do trajeto a ser feito, é preciso propiciar ao usuário informações sobre o percurso realizado, de forma simplificar seu deslocamento.
Ter visual agradável	Um dos fatores de adesão ao sistema público de transporte é uma aparência agradável, pois é sempre desejada em veículos, inclusive é aspecto de valorização simbólica do transporte público
Ser fácil de circular no interior do veículo	A facilidade de deslocamento no interior do veículo é fundamental para que os passageiros embarquem e desembarquem do veículo com rapidez, segurança, e ainda viagem em pé sem atrapalhar o fluxo de usuários.
Ser sustentável	O veículo deve emitir o mínimo possível de gases de efeito estufa, utilizando energia de fontes renováveis sempre que possível.
Oferecer acessibilidade	O coletivo deve ser acessível a pessoas com deficiência ou dificuldade de locomoção, oferecendo conforto e segurança.

Fonte: Autora

A partir da descrição das necessidades é possível notar a importância de cada uma delas e que todas devem ser atendidas, para um bom desempenho do produto.

3.6.3 Requisitos dos usuários

Foi utilizado, o método de conversão de necessidades em requisitos de usuário sugerido por Back et al. (2013). A análise de cada necessidade listada na seção anterior, propiciou a definição dos requisitos de usuário, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 - Conversão das necessidades do usuário para requisitos do usuário

Necessidade do usuário	Requisito do usuário
Ser barato	Economia de custos
Ser confortável	Conforto
Ser seguro	Segurança
Oferecer informações relativas ao trajeto	Informações ao usuário
Ter visual agradável	Estética atrativa
Ser fácil de circular no interior do veículo	Interior de fácil movimentação
Ser sustentável	Ecologicamente compatível
Oferecer acessibilidade	Acessibilidade

Fonte: Autora

3.6.5 Requisitos do Projeto

Após o estabelecimento dos requisitos de usuário, é possível a obtenção dos requisitos de projeto, que servirão como orientações e critérios a serem adotados e contemplados para cumprir adequadamente com o objetivo geral do projeto. Cada requisito de usuário foi avaliado e transformado em um ou mais requisitos de projeto iniciais, de acordo com as necessidades e possibilidades, como descrito no quadro 7.

Os 8 requisitos de usuário listados anteriormente foram estendidos a 23 requisitos de projeto preliminares, e que, após analisados, foram agrupados por semelhanças, de modo a diminuir o número total, procedendo, assim, em 20 requisitos de projeto (quadro 8).

Quadro 7 - Requisitos preliminares de projeto

Requisito do usuário	Requisito de projeto
Economia de custos	Possuir mecânica com custos de manutenção e operação reduzidos
	Possuir um package geral otimizado
	Ter sistemas de reaproveitamento de energia
	Possuir otimização de peso total e resistência de componentes
Conforto	Disponer de assentos anatômicos que atendam a usuários dos percentis de 5 feminino a 95 masculino
	Ter sistema de climatização interna
	Possuir disposição de componentes internos otimizada
	Possuir barras de apoio e pega-mãos em quantidade suficiente e localização adequada
Segurança	Disponer de dispositivos de segurança passiva
	Disponer de dispositivos de segurança ativa
	Possuir sistema de monitoramento por câmeras e GPS
	Estar em conformidade com a legislação vigente para veículos sobre trilhos
Informações ao usuário	Disponibilizar informações ao usuário nos locais de parada
	Disponibilizar informações ao usuário no interior do veículo
Estética atrativa	Possuir formas, cores e texturas externas atrativas
	Possuir formas, cores e texturas internas atrativas
Interior de fácil movimentação	Possuir disposição de componentes internos otimizada
	Possuir um package geral otimizado
Ecologicamente compatível	Ter sistemas de reaproveitamento de energia
	Utilizar energias de fontes renováveis
Acessibilidade	Oferecer espaço para circulação de cadeiras de rodas
	Evitar o máximo possível a ocorrência de obstáculos durante o uso do sistema
	Propiciar avisos sonoros no veículo

Fonte: Autora

Quadro 8 - Requisitos de projeto

Nº	Requisito de projeto
1	Possuir mecânica com custos de manutenção e operação reduzidos
2	Possuir um package geral otimizado
3	Ter sistemas de reaproveitamento de energia
4	Possuir otimização de peso total e resistência de componentes
5	Dispor de assentos anatômicos que atendam a usuários dos percentis de 5 feminino a 95 masculino
6	Ter sistema de climatização interna
7	Possuir disposição de componentes internos otimizada
8	Possuir barras de apoio e <i>pega-mãos</i> em quantidade suficiente e localização adequada
9	Dispor de dispositivos de segurança passiva
10	Dispor de dispositivos de segurança ativa
11	Possuir sistema de monitoramento por câmeras e GPS
12	Estar em conformidade com a legislação vigente para veículos sobre trilhos
13	Disponibilizar informações ao usuário nos locais de parada
14	Disponibilizar informações ao usuário no interior do veículo
15	Possuir formas, cores e texturas externas atrativas
16	Possuir formas, cores e texturas internas atrativas
17	Utilizar energias de fontes renováveis
18	Oferecer espaço para circulação de cadeiras de rodas
19	Evitar o máximo possível a ocorrência de obstáculos durante o uso do sistema
20	Dispor de avisos sonoros no veículo

Fonte: Autora

3.6.6 QFD

Para a priorização dos requisitos de projeto foi empregada a matriz de Desdobramento da Função Qualidade (QFD), indicada por Back et al. (2013), com pequenas adaptações e variações para uma melhor adequação ao projeto. O QFD, por sua vez, trata-se de uma matriz de interrelação que busca traduzir as necessidades do projeto em especificações técnicas e mensuráveis. O valor conferido a cada grupo de requisitos de usuário é indicado no quadro 9 abaixo, variando entre 1 = Pouco importante, 2 = Importante, e 3 = Muito importante.

Quadro 9 - Valores atribuídos aos requisitos do usuário

Requisito do usuário	Valor atribuído
Economia de custos	2
Conforto	3
Segurança	3
Informações ao usuário	2
Estética atrativa	1
Interior de fácil movimentação	3
Ecologicamente compatível	3
Acessibilidade	3

Fonte: Autora

Além destas atribuições de valor para os requisitos do usuário, foram utilizados os requisitos de projeto listados no quadro 8, para a confecção da matriz de Desdobramento da Função Qualidade (tabela 6), em que estão arranjados os requisitos de usuário e de projeto, assim como o valor atribuído, e as relações de importância entre os requisitos, sendo 1 = baixa relação, 3 = média relação, e 5 = alta relação.

Tabela 6 - QFD

Requisitos de usuário	Requisitos de projeto																					Peso
	Peso	Possuir mecânica com custos de manutenção e operação reduzidos	Possuir um package geral otimizado	Ter sistemas de reaproveitamento de energia	Possuir otimização de peso total e resistência de componentes	Dispor de assentos anatômicos que atendam a usuários dos percentis de 5 feminino a 95 masculino	Ter sistema de climatização interna	Possuir disposição de componentes internos otimizada	Possuir barras de apoio e pega-mãos em quantidade suficiente e localização adequada	Dispor de dispositivos de segurança passiva	Dispor de dispositivos de segurança ativa	Possuir sistema de monitoramento por câmeras e GPS	Estar em conformidade com a legislação vigente para veículos sobre trilhos	Disponibilizar informações ao usuário nos locais de parada	Disponibilizar informações ao usuário nos interior do veículo	Possuir formas, cores e texturas externas atrativas	Possuir formas, cores e texturas internas atrativas	Utilizar energias de fontes renováveis	Oferecer espaço para circulação de cadeiras de rodas	Evitar o máximo possível a ocorrência de obstáculos durante o uso do sistema	Dispor de avisos sonoros no veículo	
Economia de custos	3	5	5	5	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	120
Conforto	5	1	5	1	1	5	5	5	5	3	3	1	5	3	3	3	3	1	3	5	3	320
Segurança	5	1	5	1	5	1	1	3	3	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1	3	3	260
Informações ao usuário	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	5	5	3	3	1	1	1	5	114
Estética atrativa	1	1	5	1	3	3	1	5	3	1	1	1	1	3	3	5	5	1	1	1	1	46
Interior de fácil movimentação	5	1	5	1	1	3	1	5	5	3	3	1	5	3	3	1	1	1	5	5	5	290
Ecologicamente compatível	5	1	1	5	5	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	1	1	5	1	1	1	180
Acessibilidade	5	1	5	1	1	5	1	5	5	1	1	1	5	3	3	1	1	1	5	5	5	280
Total:		44	128	64	86	84	52	122	104	72	72	58	122	76	76	52	52	58	82	102	104	

Fonte: Autora

Com base nos resultados numéricos do QFD, é possível classificar os requisitos de projeto por ordem de importância, visando o atendimento dos requisitos de usuário, de forma com que o projeto de produto atenda de forma correta os objetivos estabelecidos. Os requisitos de projeto estão listados em ordem de prioridade na tabela 7.

Tabela 7 - Priorização dos requisitos de projeto

Ordem	Requisito de projeto	Pontuação
1º	Possuir um package geral otimizado	148
2º	Possuir disposição de componentes internos otimizada	122
3º	Estar em conformidade com a legislação vigente para veículos sobre trilhos	122
4º	Disponer de avisos sonoros no veículo	104
6º	Possuir barras de apoio e <i>pega-mãos</i> em quantidade suficiente e localização adequada	104
5º	Evitar o máximo possível a ocorrência de obstáculos durante o uso do sistema	102
7º	Possuir otimização de peso total e resistência de componentes	86
8º	Disponer de assentos anatômicos que atendam a usuários dos percentis de 5 feminino a 95 masculino	84
9º	Oferecer espaço para circulação de cadeiras de rodas	82
10º	Disponibilizar informações ao usuário nos locais de parada	76
11º	Disponibilizar informações ao usuário no interior do veículo	76
12º	Disponer de dispositivos de segurança passiva	72
13º	Disponer de dispositivos de segurança ativa	72
14º	Ter sistemas de reaproveitamento de energia	64
15º	Possuir sistema de monitoramento por câmeras e GPS	64
16º	Utilizar energias de fontes renováveis	58
18º	Ter sistema de climatização interna	52
19º	Possuir formas, cores e texturas externas atrativas	52
20º	Possuir formas, cores e texturas internas atrativas	52
17º	Possuir mecânica com custos de manutenção e operação reduzidos	44

Fonte: Autora

3.7 OBJETIVOS FUNCIONAIS DO VEÍCULO

Segundo Macey e Wardle (2014), um dos maiores erros durante o projeto é não considerar os objetivos funcionais do seu conceito em uma profundidade suficiente e o bastante cedo na vida do projeto. Como em todo projeto, cada produto deve servir a uma proposta para seu cliente e fabricante. Os objetivos que atendem a estas propostas precisam ser pensados antes da geração de alternativas do veículo

Três áreas principais precisam ser consideradas ao definir os objetivos para o projeto: O usuário, o fabricante e o mercado ou ambiente. Estes irão conduzir a arquitetura básica do projeto (MACEY E WARDLE, 2014).

Os objetivos funcionais deste projeto baseam-se não apenas nos dados levantados a partir dos usuários, mas também na análise dos monotrilhos existentes no mercado e na capacidade produtiva dos principais fabricantes mundiais. Por se tratar de um dos projetos mais recentes no mundo, com implantação já iniciada e por estar inserido em um cenário sócio-político-econômico similar ao de Porto Alegre, o monotrilho da cidade de São Paulo possui diversos aspectos que se encaixam nos requisitos deste projeto e servirá como parâmetro no que diz respeito aos aspectos estruturais para a caracterização dos objetivos funcionais do veículo.

Para este projeto, será utilizado como embasamento tecnológico o sistema MONORAIL INOVIA 300 da Bombardier. Dessa forma, o veículo desenvolvido neste projeto contará com sistemas mecânicos e funcionais já preestabelecidos pela Bombardier, de forma que serão consideradas diversas configurações mecânicas para o layout do chassi, porém alguns arranjos estão sujeitos a alterações.

3.7.1 Atributos focados no usuário

Número de carros que compõem o trem: 6

Passageiros sentados: mín. 100 por trem

Passageiros em pé: mín 700 por trem

Assentos para obesos: 2 por trem

Assentos preferenciais: mín 2 por carro

Módulo para cadeirante: 2 por trem

Módulo para bicicletas: 2 por trem
Densidade de passageiros: 5 pass./m²
Comprimento do trem: 74 m
4 Portas por carro
Largura Total: 3,1 m
Distância entre o trilho e o chão: 0,45m
Distância entre eixos do carro: 9,12 m
Largura da porta: 1,6 m
Altura da porta: 2,1 m
Peso do trem vazio: 93.800 kg
Velocidade máxima de operação: 80km/h
Raio mínimo para curva horizontal: 46 m
Ar condicionado instalado no teto
Câmeras nos carros e gravação de imagens
Requisitos estético-simbólicos: Arrojado, elegante e amigável

3.7.2 Considerações do fabricante

Fabricante: Bombardier (sede Canadá)

Fábrica instalada em Hortolândia (São Paulo)

Tecnologia MONORAIL INOVIA 300 (Sob patente N. US7823512 B2)

Materiais:

Chassi – aço carbono e aço inoxidável,

Carroceria – alumínio,

Carcaça- compósito polimérico

Vidros – Laminados e temperados cor fumê

Propulsão – Motores de Tração AC, refrigerado à água

Sistema de Monotrilho Trem com tração elétrica e sustentação por pneus, que se desloca sobre uma viga de 69 centímetros de largura, com pneus laterais para guia e estabilização.

Vias e Estações em elevado – altura entre 12 e 15 m

Tipo de operação: UTO – UNATTENDED TRAIN OPERATION, com recursos para condução por operador nos carros das extremidades, se necessário.

3.7.3 Forças do Ambiente

Implantação: Porto Alegre (RS)

População da cidade: 1,4 milhões

Média mensal de passageiros de transporte público em 2015: 25.101.925

Responsável pelo transporte público: Prefeitura Municipal

3.8 SÍNTESE

Durante as etapas de Planejamento do Projeto e Projeto Informacional, as diferentes pesquisas e análises efetivas foram essenciais para a etapa de Desenvolvimento do Projeto, ao proporcionarem uma melhor compreensão de todo o contexto de mobilidade urbana e transporte público urbano no Brasil, principalmente em Porto Alegre, e de todas as variáveis envolvidas no projeto. Esta compreensão se deu a partir do levantamento e da análise de dados, referentes a similares nacionais e internacionais, mercado, usuários, oportunidades, limitações, legislação, dentre outros aspectos. A partir do uso de ferramentas metodológicas, foi possível extrair dessas pesquisas os principais atributos a serem desenvolvidos no projeto.

4. PROJETO CONCEITUAL

No projeto conceitual foram desenvolvidas possíveis soluções alternativas que atendam às especificações definidas e, após a seleção das alternativas finais, é realizado o detalhamento e a comunicação do projeto. No início desta fase, é fundamental ter como propósito a criação de diversas alternativas para o mesmo escopo. Dessa forma, como consequência da comparação e combinação de soluções, ao longo do processo de projeto, é selecionada a melhor e mais inovadora configuração para o projeto. Para obter esse objetivo, é preciso criatividade e, então, é recomendado o uso de métodos ou ferramentas que permitam obter, de forma dinâmica, um conjunto de soluções inovadoras (BACK et al 2013).

Após a definição da configuração final do produto, é importante que haja o detalhamento e a comunicação do projeto. No detalhamento são especificados os componentes técnicos, dimensões e análise estrutural do produto. Para a comunicação do projeto é elaborada a modelagem 3D do produto final, juntamente com a simulação da aplicação e modelo físico em escala reduzida.

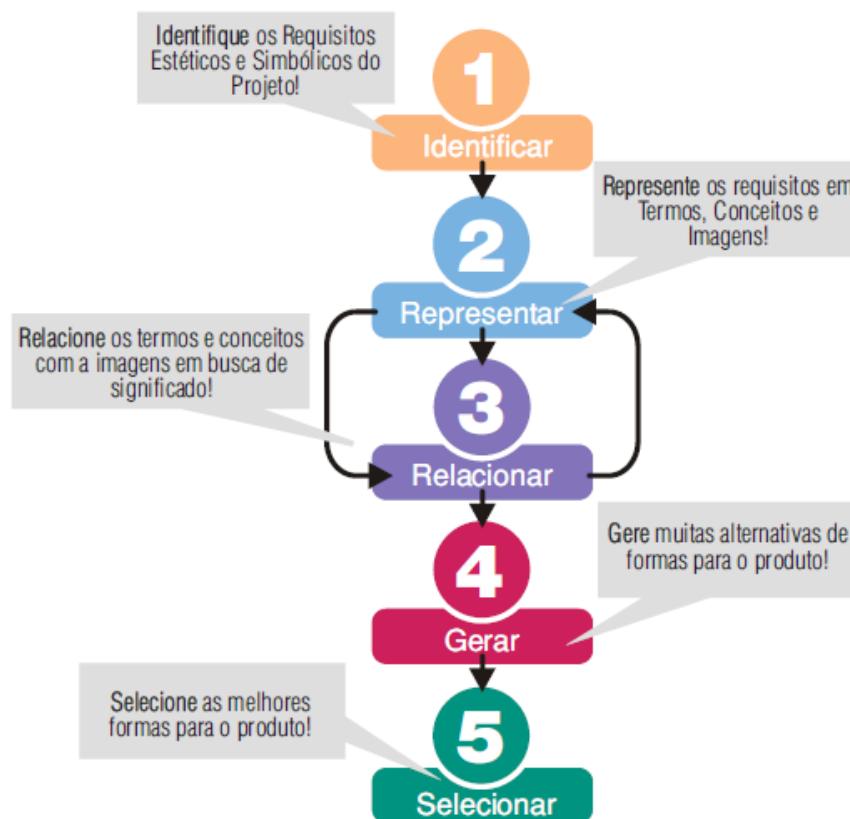
Neste trabalho, o projeto conceitual se desenvolveu embasado nos objetivos funcionais do veículo, definidos na etapa anterior, apoiados nos requisitos do projeto, priorizados pelo QFD e considera os requisitos levantados pelas normas NBR 14183 (Trem metropolitano – acomodação e capacidade de passageiros) e NBR 14021 (Transporte – Acessibilidade em trens urbanos e metropolitanos). Como ferramenta para reunir os requisitos e objetivos funcionais e auxiliar na geração de alternativas, será utilizada a metodologia de Macey e Wardle (2014) para a construção do package do veículo. Durante todo o projeto conceitual, é retomada a ferramenta de análise de similares, desta vez, notando itens mais específicos, de acordo com a demanda de cada parte a ser projetada. Já os aspectos estético-formais serão desenvolvidos na fase de painel visual, a partir da metodologia de Sapper (2015), que aborda a estrutura criativa do projeto.

4.1 Estrutura criativa

Sapper (2015) esclarece que o objetivo da aplicação da ferramenta de estrutura criativa é organizar e sistematizar o pensamento criativo e promover a transformação dos requisitos estético-simbólicos em atributos formais para o produto. Este método abrange 4

finalidades gerais: instigar o pensamento lateral por meio de analogias no decorrer de todas as fases; regular o processo de transposição dos requisitos estéticos e simbólicos de projeto em características formais do produto; sistematizar a aplicação de técnicas que estimulam o pensamento criativo; empregar o painel semântico como apoio para geração de formas. Esta ferramenta compreende 5 fases para sua implementação, como ilustra a figura 20.

Figura 20 - Esquema da estrutura criativa



Fonte: Sapper (2015)

Na fase “Identificar” são delimitados os requisitos estéticos e simbólicos do projeto a partir das informações coletadas e analisadas no projeto informacional. Nesta fase, são obtidos requisitos estéticos e simbólicos qualitativos.

A fase “representar” busca reunir termos, conceitos e imagens que descrevam os requisitos estéticos e simbólicos para o produto. Esse procedimento é muito relevante, uma vez que os requisitos estéticos e simbólicos são vistos, comumente, não mensuráveis.

O objetivo da fase “gerar” é a geração de formas para o produto. O painel de referências elaborado na fase anterior é utilizado como instrumento para auxiliar na geração de formas.

“Selecionar” é a fase em que são escolhidas as melhores alternativas geradas para o produto. Nesse contexto, as melhores alternativas são aquelas que cumprem os requisitos estéticos e simbólicos do projeto.

Na fase “Relacionar” os termos, conceitos e imagens são relacionados e organizados de modo a compor o painel de referenciais visuais.

Neste trabalho, as fases “gerar” e “selecionar” estão previamente incorporadas à metodologia do projeto e serão exploradas nos próximos capítulos. Todas as fases da aplicação desta ferramenta foram executadas pela autora, de forma individual.

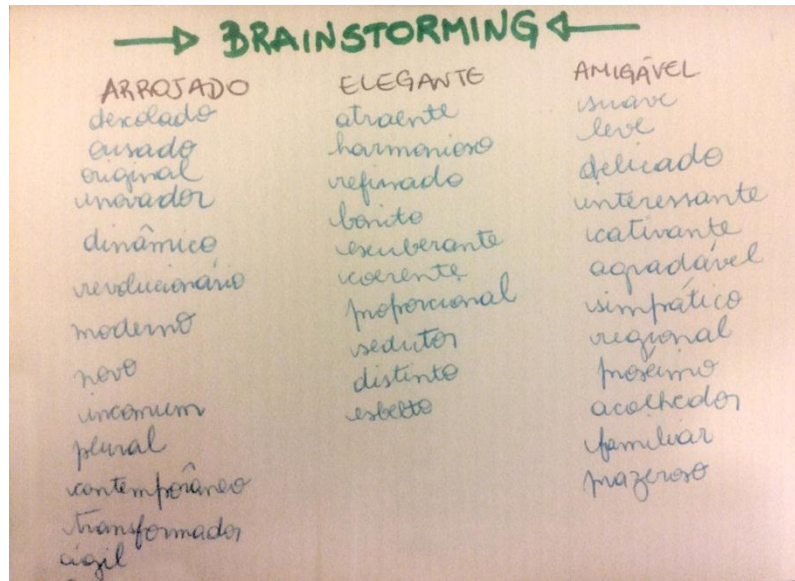
4.1.1 Identificar

De acordo com os dados coletados e analisados no projeto informacional, e a partir da contemplação dos resultados obtidos, foram elencados os seguintes requisitos estético-simbólicos: “Arrojado”, “elegante” e “amigável”. Estes requisitos foram selecionados a fim de conferir maior atratividade ao veículo de monotrilho, contribuindo para uma maior adesão ao transporte público por parte da população.

4.1.2 Representar

A partir da técnica de Brainstorming, a cada um dos requisitos estético-simbólicos foram associados termos análogos e para representá-los, como mostra a figura 21.

Figura 21 - Etapa de representação



Fonte: Autora

Dando prosseguimento à fase “Representar” foram realizadas analogias diretas a fim de gerar termos e conceitos que representam os requisitos estético-simbólicos. A cada um dos itens, foram associados tipos de formas e exemplos de objetos que transmitem os conceitos dos requisitos estético-simbólicos, como é observado na figura 22.

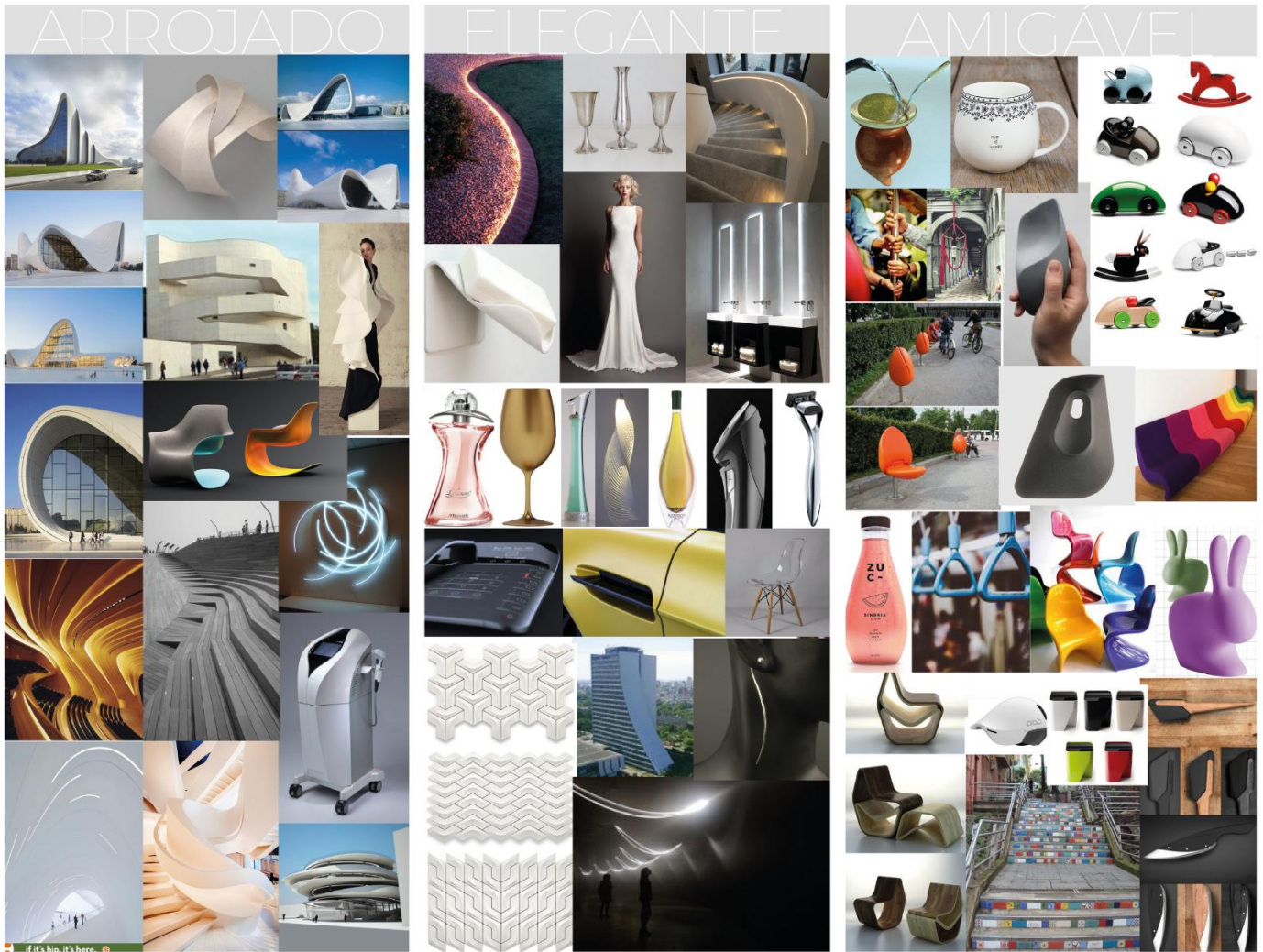
Figura 22 - Analogias diretas

<p>▷ ARROJADO</p> <p>descolado ousado original inovador dinâmico revolucionário moderno novo inconum plural contemporâneo transformador agil criativo futurista</p>	<p>FORMAS</p> <p>novas organicas contornos robustas climáticas fluidas momentos desconstruídas</p>	<p>OBJETOS</p> <p>arquitetura de Joao Hadid pistas led/neon pisas luminarias cadeiras</p>
<p>▷ ELEGANTE</p> <p>atraente harmonioso refinado bonito exuberante coerente proporcional exatidão distinto estilto</p>	<p>FORMAS</p> <p>concordantes fluidas proporcionais equilibradas "art déco" simétricas alinhadas ordenadas</p>	<p>OBJETOS</p> <p>vidros perfume pisas alta costura garrafas taças</p>
<p>▷ AMIGÁVEL</p> <p>cativante suave leve delicado interessante apagável simpático familiar regional próximo acolhedor máximo</p>	<p>FORMAS</p> <p>suaves concordantes arredondadas suaves contínuas gradientes harmoniosas colôridas</p>	<p>OBJETOS</p> <p>cadeira Pantor cama churrasco biquêdes xanecas utensílios domésticos</p>

Fonte: Autora

De acordo com os termos e conceitos relacionados ao projeto, foram coletadas na internet 54 imagens para expressá-los, que são conferidas na figura 23.

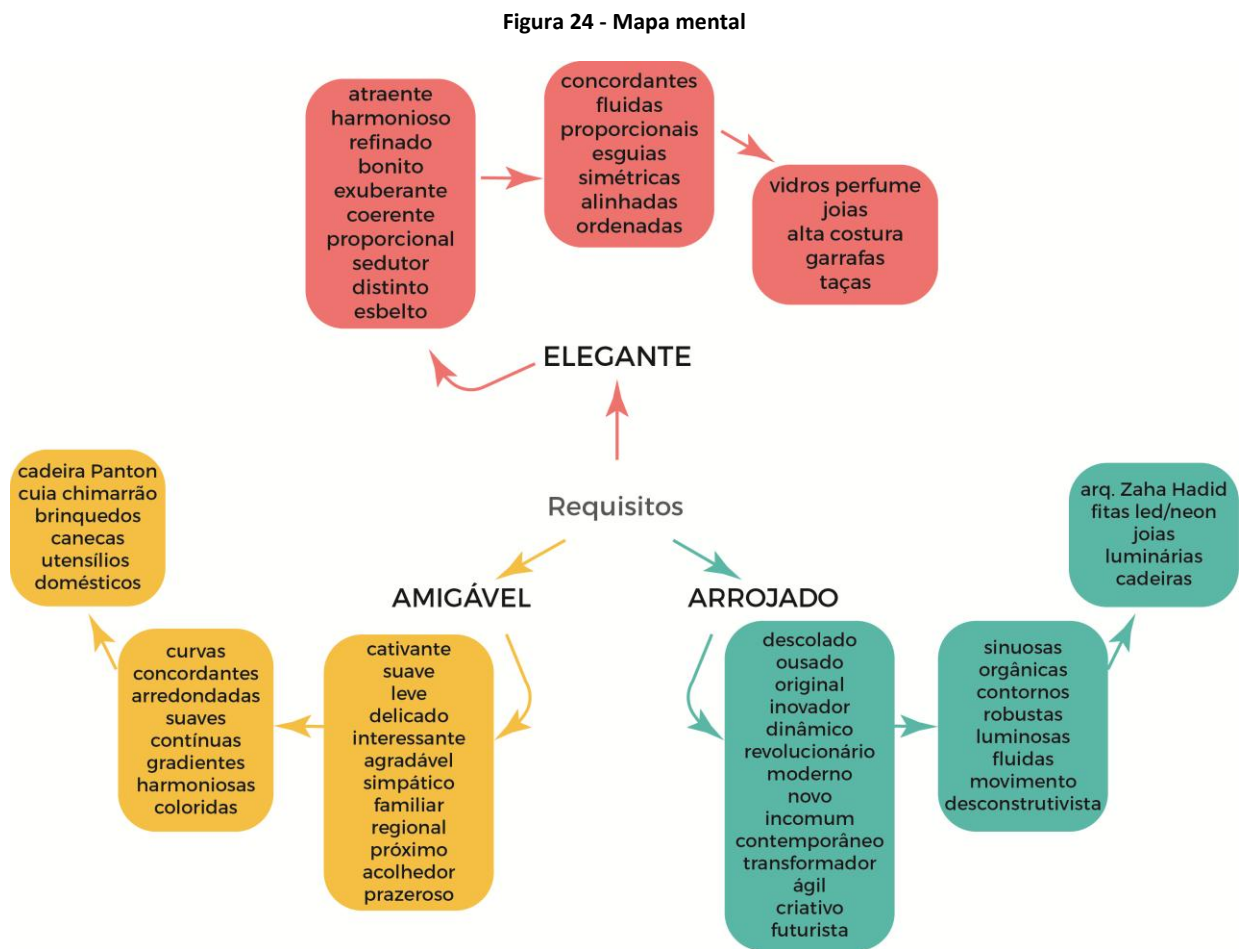
Figura 23 - Etapa "Identificar"



Fonte: Autora

4.1.3 Relacionar

A fim de apontar as semelhanças entre os termos, conceitos e imagens, foi aplicada a técnica de mapa mental, como mostra a figura 24.



Fonte: Autora

Para organizar as referências visuais, todas as imagens foram impressas, recortadas e manualmente dispostas, de modo a formar o Painel de Referências (figura 25). Dessa forma, são relacionados imagens, formas e conceitos que melhor representam os requisitos estético-simbólicos do produto a ser projetado. Este painel acompanhou a geração de alternativas, na intenção de cumprir o seu propósito de guiar o projeto e trazer inspiração criativa ao trabalho.

Figura 25 - Painel de referências visuais



Fonte: Autora

4.2 Geração e seleção de alternativas

A geração de alternativas para o veículo de monotrilho foi dividida em: package do chassi, package da configuração interna do salão de passageiros, assentos e exterior. Anteriormente à geração de alternativas, foram reunidas as dimensões dos principais elementos, para haver uma proporção padronizada nos sketches, não alterando, assim, os resultados para a seleção.

O package do veículo trata da configuração de seus componentes, da localização e das dimensões dos principais elementos como sistema de propulsão, passageiros e compartimento de carga. A geração de alternativas de package é um modo eficiente para a obtenção de um maior número de arranjos possíveis para um veículo, em delimitado período de tempo (MACEY e WARDLE, 2014).

Para realizar a geração de alternativas no projeto de veículo de monotrilho, foram necessárias algumas adaptações em relação à metodologia de Macey e Wardle (2014), uma vez que há diferenças expressivas entre o projeto de veículos leves e pesados, porém, o princípio do método se preserva. A presente geração de alternativas de package foi dividida em: chassi e configuração do salão de passageiros; já as demais alternativas de exterior do veículo e assentos estão vinculadas à seleção dos primeiros elementos do veículo, para que sejam priorizados os requisitos do projeto de monotrilho.

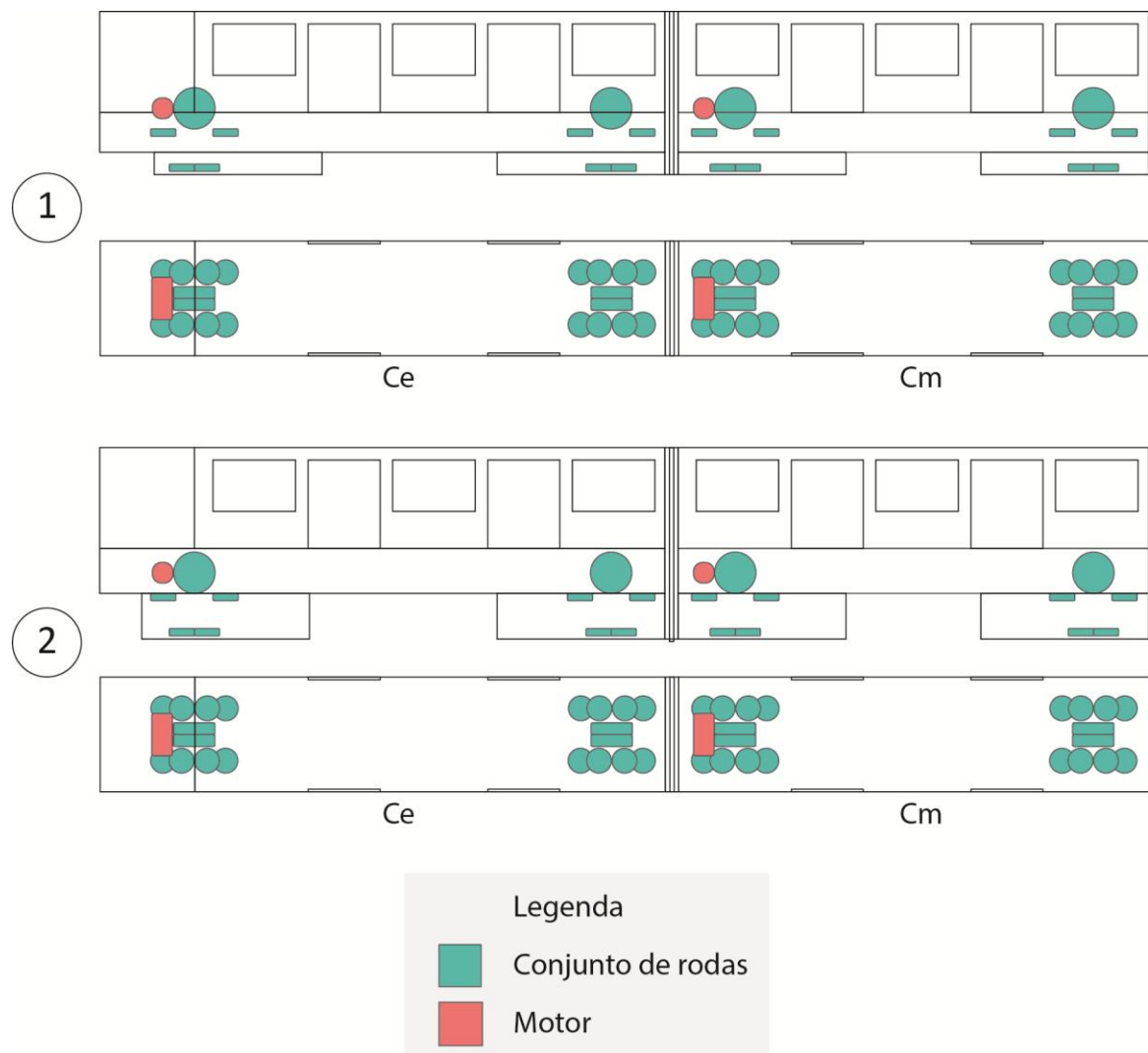
As etapas de ideação do package, análise de similares e desenvolvimento do package foram realizadas concomitantemente e de forma não linear. Em toda a geração de alternativas foram retomadas as análises de similares para direcionamento do trabalho, enquanto a ideação do package e o desenvolvimento andaram juntos, pois várias configurações de package foram sendo exploradas até a obtenção das alternativas aqui apresentadas.

Para fins de simplificação, foram representados na geração de alternativas, apenas o carro localizado nas extremidades (Ce) e o carro localizado no meio (Cm) do trem, prevendo-se que no trem há 2 carros de extremidade (2 x Ce) e 4 carros no meio (4 x Cm).

4.2.1 Chassi

Devido à limitação do escopo do projeto, às pré-definições mecânicas relativas à espécie do veículo e a tecnologia empregada pelo fabricante, foram geradas duas alternativas para o chassi do monotrilho. O package do chassi compreende a configuração e localização do truque, que é composto, dentre outros mecanismos, pelo conjunto de rodas e o motor, inseridos em cada um dos tipos de carro: carro localizado nas extremidades (Ce) e o carro localizado no meio (Cm) do trem (figura 26).

Figura 26 - Alternativas de chassi



Fonte: Autora

A alternativa 1 consiste na elevação dos conjuntos de roda para acima do nível do salão de passageiros. Implica em uma estética externa mais compacta, porém desfavorece a acomodação e circulação de passageiros nos carros.

Já a alternativa 2, que possui os conjuntos de rodas abaixo do nível do salão de passageiros, possui uma estética que resulta em uma carcaça de monotrilho maior, porém privilegia a circulação e acomodação de passageiros no interior dos carros.

4.2.1.1 Seleção de alternativa do chassi

Para dar prosseguimento à geração de alternativas dos demais elementos do monotrilho, é preciso, de antemão, selecionar a alternativa de chassi que melhor se adequa ao projeto, pois o desenvolvimento do trabalho depende do tipo de chassi do veículo.

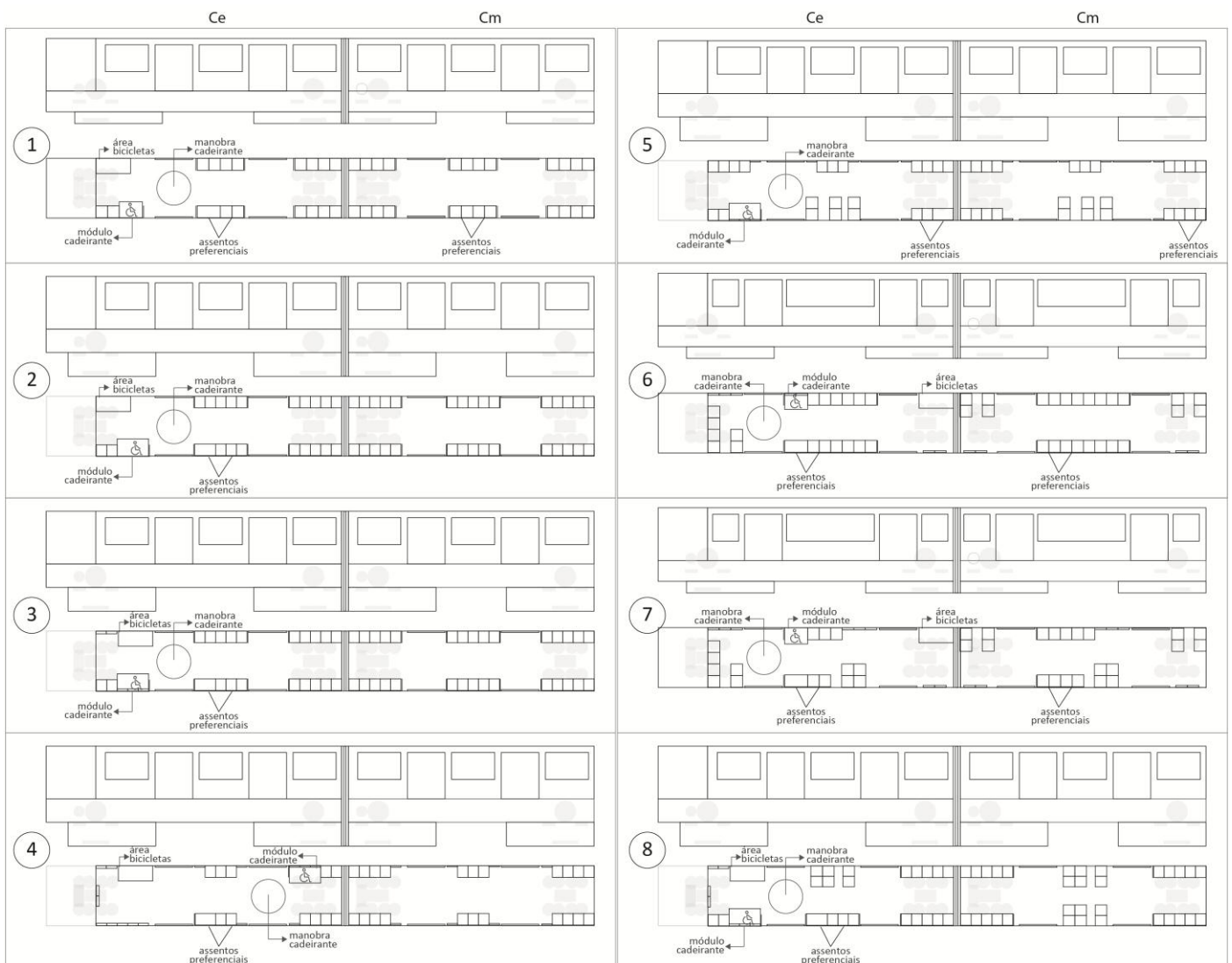
Para o projeto foi determinado o uso da alternativa de chassi Nº 2, em que se privilegia a acomodação e circulação de passageiros em detrimento da estética, uma vez que esta é a ordem de prioridade dos requisitos, resultante da aplicação da ferramenta QFD.

4.2.2 Configuração interna do salão de passageiros

Anteriormente ao início de geração de alternativas da configuração interna do salão de passageiros, foram modularizados todos os principais elementos internos dos carros, tais como: dimensões dos assentos, módulo de cadeirante, espaço para manobra de cadeira de rodas e módulo para bicicletas, assentos preferenciais e assento para obesos, além das dimensões principais (largura, comprimento e altura) dos carros. Dessa forma, todas as alternativas seguem os requisitos fundamentais de projeto e as normas NBR 14183 e NBR 14021 citadas na fundamentação teórica do presente trabalho.

Foram elaboradas 8 alternativas para a configuração interna do salão de passageiros, com variações de assentos rebatíveis e não rebatíveis, perpendiculares e paralelos ao trem, conforme elucida a figura 27.

Figura 27 - alternativas da configuração do salão de passageiros



Fonte: Autora

O uso dos bancos rebatíveis é previsto para ocasiões em que o veículo não esteja lotado, a exemplo do metrô de Paris, que adotou esta medida para acomodar um maior número de passageiros em pé em horários de pico (figura 28). Juntamente aos bancos rebatíveis, há uma placa que informa que os bancos não devem ser utilizados quando o metrô está lotado, para não atrapalhar o fluxo e a acomodação de pessoas em pé.

Figura 28 - Placa de indicação de uso dos bancos rebatíveis no metrô de Paris: "Em caso de lotação, não utilizar os bancos rebatíveis" - tradução livre



Fonte: Autora

4.2.2.1 Seleção de alternativa da configuração interna do salão de passageiros

Uma vez que todos os elementos do salão de passageiros estão dimensionados e modularizados, é possível definir com maior facilidade e clareza de informações qual alternativa melhor se adequa ao projeto, pois não há distinção entre as alternativas além da acomodação, circulação e capacidade de passageiros. Além disso, escolha prévia do chassi permite maior liberdade para a geração e seleção de alternativas, pois o chassi não passa a ser critério de escolha.

A NBR 14183, que trata de acomodação e circulação de passageiros, fornece a seguinte equação para determinar a capacidade nominal dos carros de trem metropolitano:

$$P = [(Au - As) \times D] + Ps$$

Em que:

- P é a capacidade nominal do carro, expressa em número de passageiros;
- Au é a área útil do salão, expressa em metros quadrados;
- As é a área total ocupada por passageiro sentados, expressa em metros quadrados;
- D é a densidade de passageiros em pé, expressa em número de passageiros por metro quadrado;
- Ps é a quantidade de lugares para passageiros sentados.

Esta equação foi aplicada a cada uma das alternativas para salão de passageiros, sendo considerado o uso de todos os bancos rebatíveis (situação N + R) ou todos os bancos rebatíveis rebatidos. Foi previsto a mesma densidade para todas as alternativas, de 5 passageiros por metro quadrado, que consiste em conforto mediano, segundo esta mesma norma. A aplicação da equação para cada alternativa é representada na tabela a seguir:

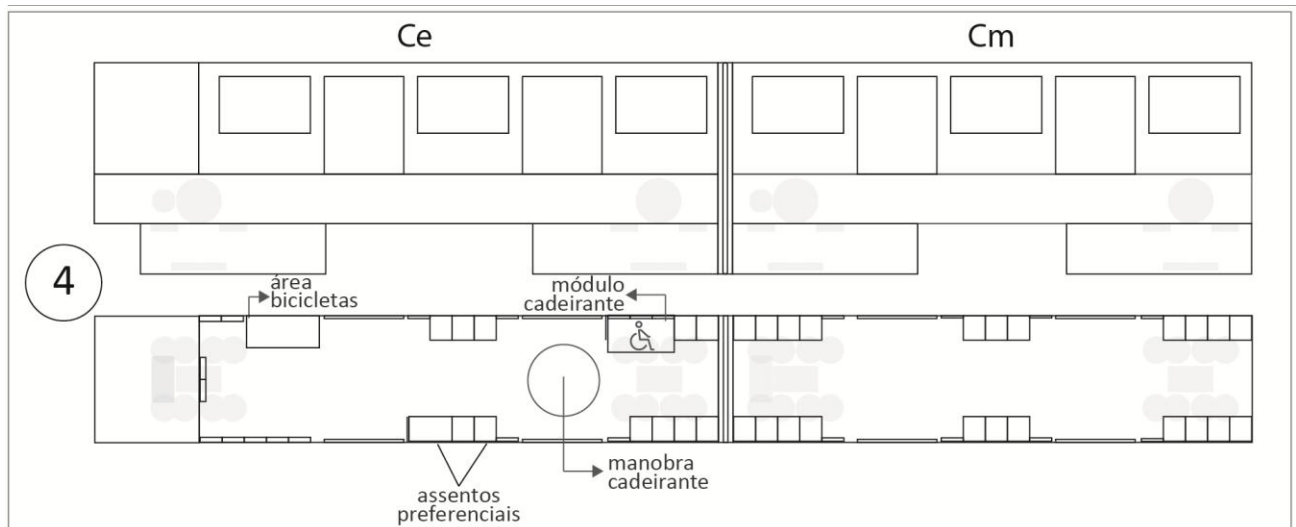
Tabela 8 - Aplicação da equação de capacidade nominal dos carros de trem metropolitano

Alternativa	Tipo de Banco	Pse	Psm	Ps	As	Au - As	P
1	N	17	24	130	45,5	152,5	892,5
2	N	21	30	162	49,61088	148,3891	903,9456
3	N	21	30	162	49,61088	147,8131	901,0656
	N+R	26	30	172	52,67328	145,3267	898,6336
4	N	12	22	112	34,29888	160,0147	912,0736
	N+R	28	30	176	53,89824	144,1018	896,5088
5	N	22	25	144	44,09856	151,5974	901,9872
	N+R	30	31	184	56,34816	141,6518	892,2592
6	N	19	24	134	46,9	149,372	880,86
	N+R	26	28	164	50,22336	147,7766	902,8832
7	N	16	21	116	40,6	154,8656	890,328
	N+R	24	28	160	48,9984	149,0016	905,008
8	N	22	32	172	52,67328	144,5203	894,6016
	N+R	29	32	186	56,96064	141,0394	891,1968

Fonte: Autora

A análise dos resultados da equação indica que a alternativa que melhor acomoda um maior número de passageiros no trem é a de número 4 (figura 29), em que possui uma capacidade máxima de 912 passageiros (no caso de lotação máxima e sem o uso de bancos rebatíveis) e de 896 passageiros no caso de todos os bancos rebatíveis ocupados. Esta configuração comporta de 112 a 176 passageiros sentados e de 720 a 800 passageiros em pé.

Figura 29 - Alternativa selecionada para salão de passageiros

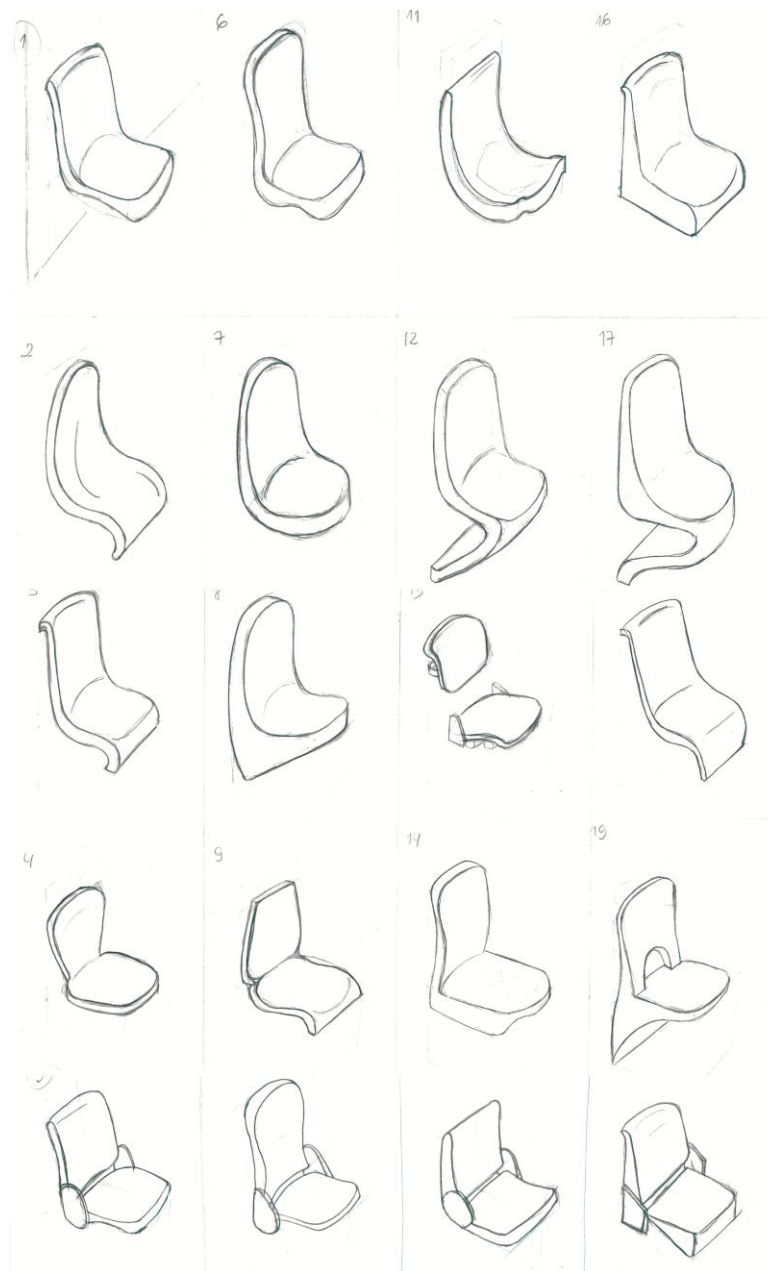


Fonte: Autora

4.2.3 Assentos

Foram geradas 20 alternativas para assentos do trem, variando entre opções para bancos rebatíveis e fixos, como podem ser observadas na figura 30. Procurou-se a diferenciação formal entre os tipos de bancos, para que a distinção entre os dois por parte do usuário seja feita de forma fácil e intuitiva, de modo que fique claro quais assentos podem ou não ser utilizados em horário de pico. Esta geração de alternativas foi guiada pelo painel de referências formais, a partir de um módulo com dimensões pré-estabelecidas para os assentos. A elaboração dos sketches ocorreu sem muitas restrições, além do dimensionamento prévio, uma vez que todos desenhos já estavam dimensionados, o processo de criação fluiu de forma mais livre. As alternativas variam entre assentos fixos e rebatíveis, não havendo, nesta fase, uma grande distinção entre eles, ou a preocupação com unidade visual entre os dois tipos, a fim de não restringir a criatividade, porém estes itens são revisados e aprimorados nas fases a seguir.

Figura 30 – Alternativas de assentos



Fonte: Autora

4.2.3.1 Seleção de alternativas de assentos

Devido ao maior número de soluções obtidas para o assento, foi realizada uma matriz para tomada de decisões, a partir de critérios de seleção baseados nos requisitos do projeto.

Esta ferramenta, segundo Pazmino (2015) busca filtrar quais alternativas são viáveis, através de um *checklist* em que é assinalado, para cada alternativa, se há o cumprimento ou não de determinados critérios. As alternativas escolhidas podem passar para uma avaliação

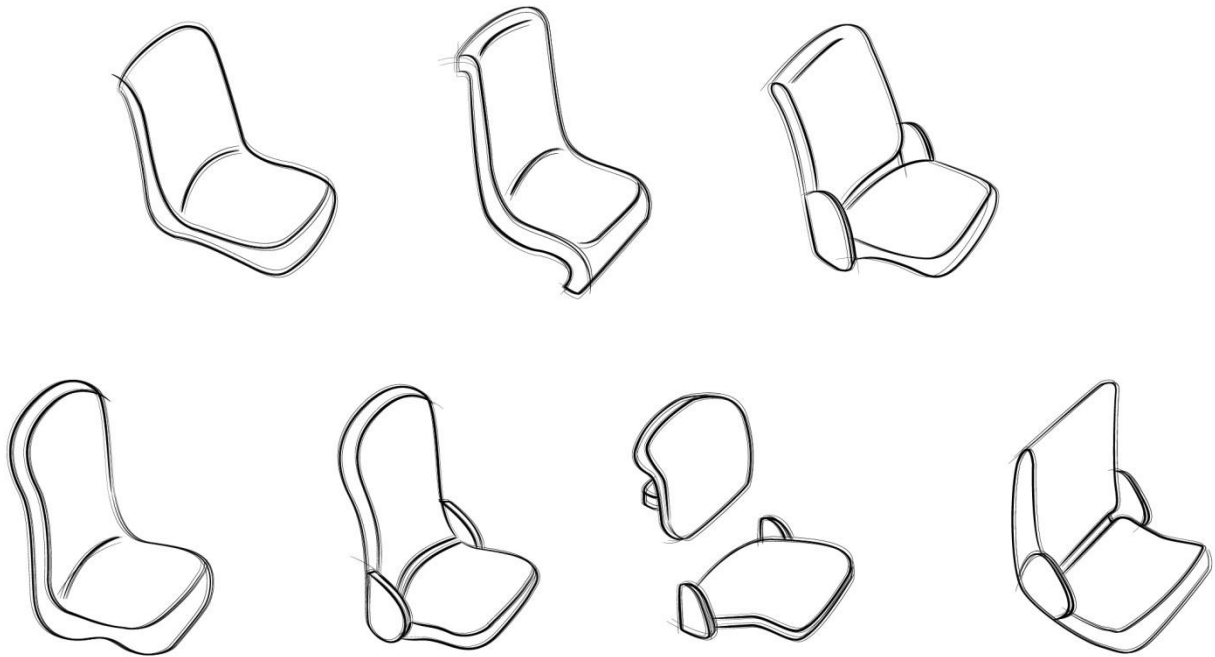
adicional mais criteriosa. O quadro 10 mostra o checklist que avalia quais alternativas atendem ou não aos critérios propostos.

Quadro 10 - Checklist com critérios de seleção de alternativas

ASPECTOS	CRITÉRIOS	ATENDE	NÃO ATENDE
Estéticos	Significado adequado	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17	2, 7, 12, 16, 18, 19, 20
	Forma x função	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16,	7, 11, 12, 17, 18, 19, 20
	Boa continuidade	1, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18,	2, 8, 9, 16, 19, 20
Configuração	Facilidade produtiva	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20	2, 11, 12, 19
	Facilidade de limpeza	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 20	4, 9, 12, 17, 19,
	Economia de material	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 15,	3, 8, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20
Ergonomia	Dimensões adequadas	1 - 20	-
	Espaço inferior para bagagem	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20	8, 12, 17
	Conforto aparente	1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	2, 3, 4, 11, 19, 20
	Livre movimento das pernas	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 15, 16	8, 11, 12, 14, 17, 18, 20
Flexibilidade	Fácil adaptação para assento para obesos	1, 3, 6, 8, 12, 14, 16, 17	2, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 18, 19, 20
Alternativas selecionadas	1, 3, 5, 6, 10, 13, 15		

Fonte: Autora

As alternativas que foram filtradas são as ilustradas na figura 31 e passarão para a matriz de Pugh (tabela 9) para a escolha final. Todas estas concepções cumprem com os principais critérios de decisão e estão aptas para uma seleção final, com base nos requisitos formais e estético-simbólicos. Dessa forma, serão selecionados 2 tipos de assentos: rebatível e fixo.

Figura 31 - Alternativas pré-selecionadas

Fonte: Autora

É possível notar que as alternativas filtradas pela matriz anterior possuem como característica em comum formas simples, arredondadas e enxutas, sem romper grandes padrões em relação a assentos já existentes. A escolha final dos assentos será, então, apoiada nos requisitos estético-formais do projeto (arrojado, elegante e amigável) e está exibida na tabela. Para a execução desta ferramenta de seleção, foi utilizada como parâmetro a cadeira Panton (figura 32), por cumprir com todos os requisitos estético-simbólicos do projeto e por encontrar-se no painel de referências visuais.








Figura 32 - Parâmetro para aplicação da Matriz de Pugh

Fonte: MOBLY

Para cada critério foram adotados os seguintes valores:

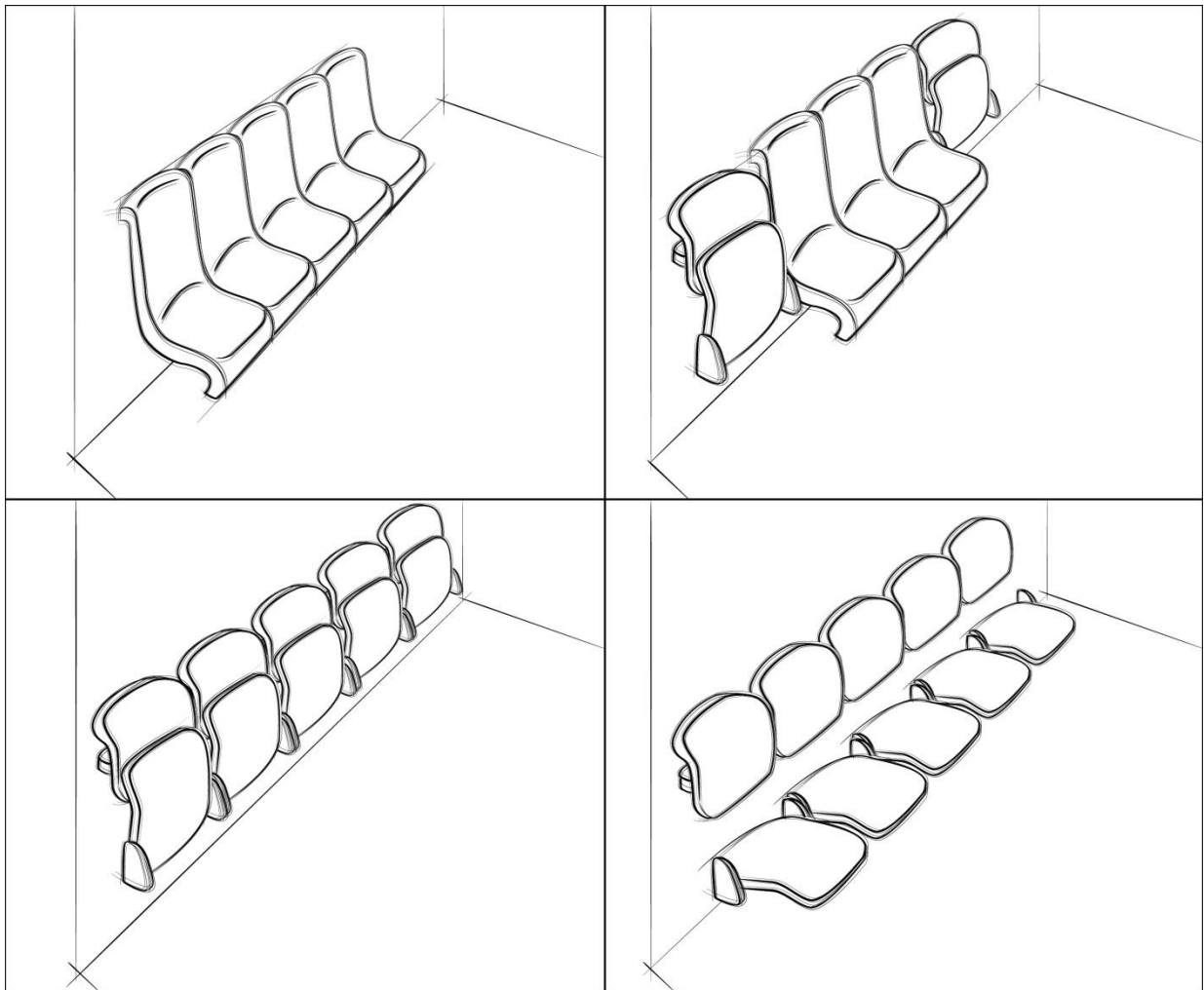
- Sinal positivo (+) se a alternativa cumpre melhor os requisitos em relação ao modelo de referência.
- Zero (0) se a alternativa cumpre igualmente os requisitos em relação ao modelo de referência.
- Sinal negativo (-) se a alternativa não alcança o cumprimento dos requisitos em relação ao modelo de referência.

Tabela 9 - Matriz de Pugh para escolha dos assentos

Requisito							
Arrojado	-	+	-	0	0	+	+
Elegante	0	+	-	+	+	+	0
Amigável	+	+	0	+	0	+	+
Total	0	3(+)	2(-)	2(+)	1(+)	3(+)	2(+)

Fonte: Autora

Na própria matriz estão assinaladas as concepções de assento que melhor desempenharam os requisitos de avaliação. Os assentos selecionados podem ser conferidos na figura 33, em que foram feitas simulações do posicionamento dos assentos de acordo com a configuração interna do salão de passageiros. Esta simulação foi feita para validar as escolhas, a partir da colocação dos assentos lado-a-lado, em perspectiva. A fim de conferir coerência visual, unidade visual entre os tipos de assentos é conferida na fase de refinamento e modelagem 3D.

Figura 33 - Sketches de simulação do posicionamento dos assentos

4.2.4 Exterior do veículo

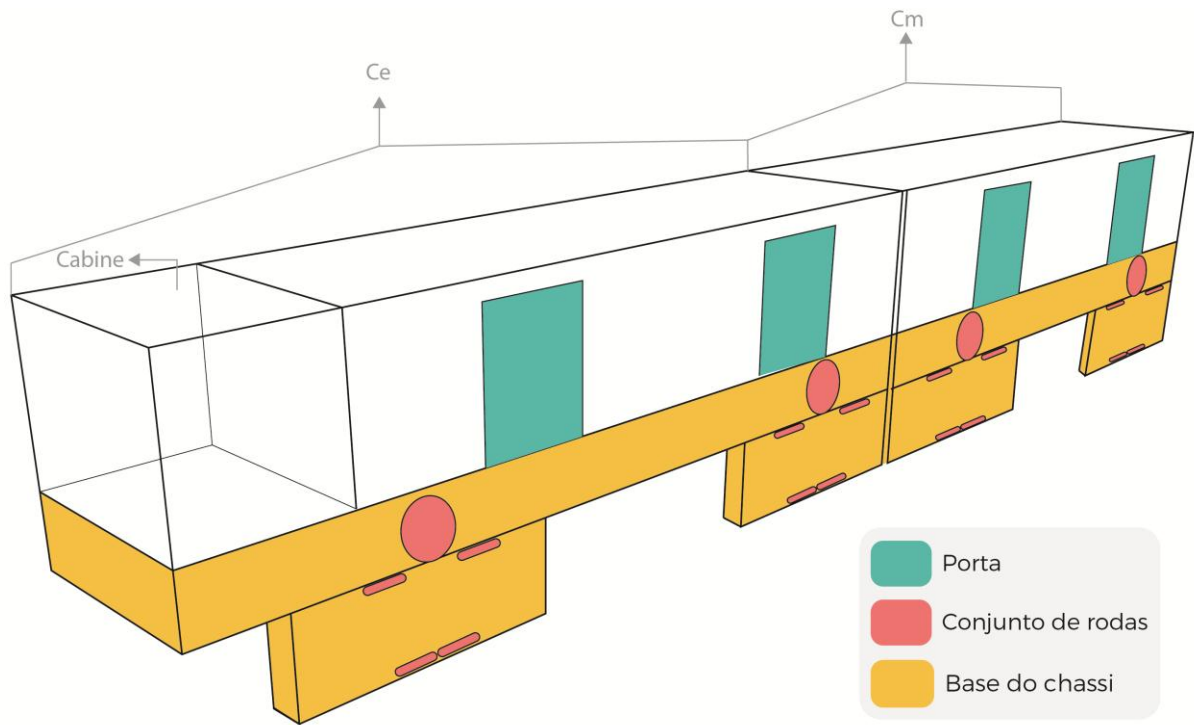
A etapa para geração de alternativas da carroceria do monotrilha foi a mais influenciada pelo painel de referências visuais. É fundamental para o processo criativo do designer que este esteja inserido em um ambiente adequado que incentive a criatividade. Para isto, o painel de referências visuais esteve presente fortemente nesta geração de alternativas, estando fixo ao posto de trabalho (figura 34).

Figura 34 - Ambiente de trabalho

Fonte: Autora

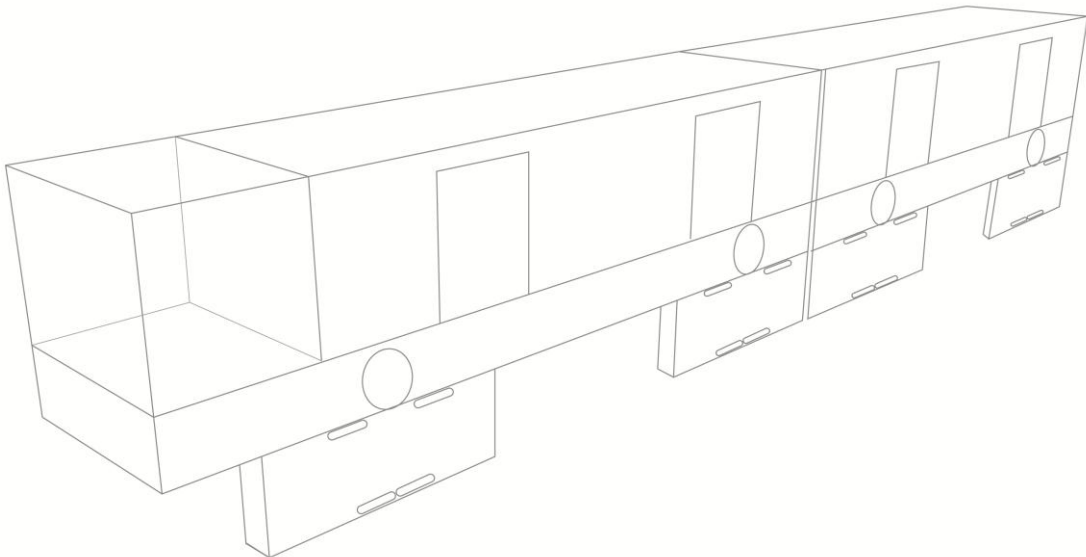
Para manter as proporções do trem, foi executado um módulo 3D (figura 35) com as dimensões externas dos carros e impresso para ser usado como gabarito (figura 36) para os sketches de geração de alternativas. Este módulo inclui um carro de extremidade (Ce), um carro do meio (Cm), base do chassi, conjuntos de rodas e portas.

Figura 35 - Módulo 3D



Fonte: Autora

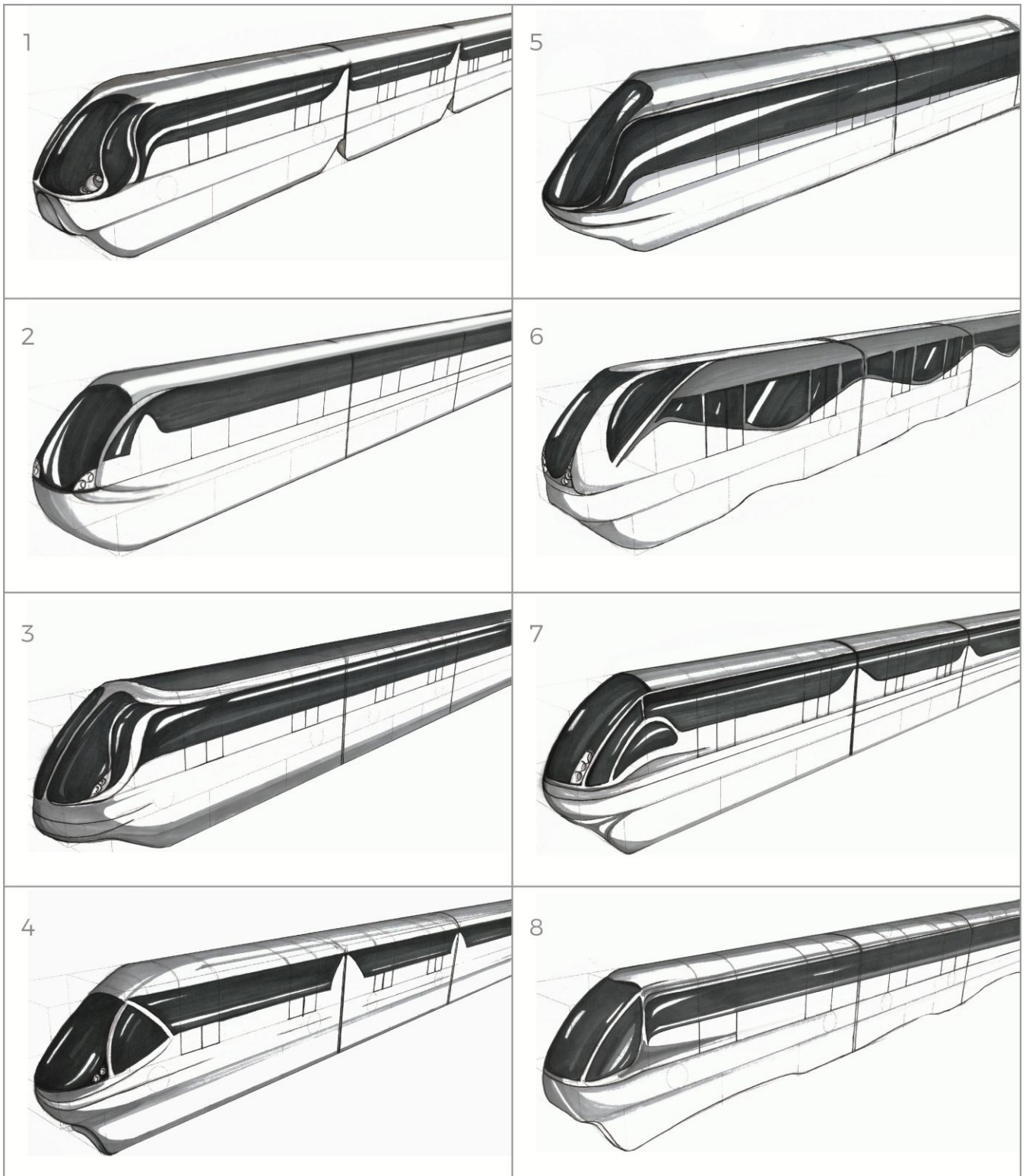
Figura 36 - Gabarito para geração de alternativas



Fonte: Autora

Dessa forma, foram, inicialmente, geradas 8 alternativas para o exterior do monotrilho, conforme figura 37.

Figura 37 - Alternativas para a carroceria do monotrilho



Fonte: Autora

A partir das 8 alternativas inicialmente geradas, foi possível explorar a composição geral do exterior do veículo, de acordo com as referências visuais que guiaram esta etapa. Apesar de não serem numerosas, as opções realizadas foram suficientes para guiar o

desenvolvimento da forma externa, de modo que, após a seleção de uma destas opções, a fase posterior de refinamento possibilita que sejam experimentadas e elaboradas soluções que se encaminham para o resultado final, a partir de protótipos em escala.

As soluções alcançadas e ilustradas na figura 37 partem dos mesmos conceitos estético-simbólicos, que são: arrojado, elegante e amigável. Dessa forma, possuem características comuns em todas as opções, tais como vidro escuro inteiriço, topo arredondado e base do chassi inteiriça (sem vãos entre os conjuntos de rodas).

A escolha do vidro inteiriço é justificada pelo aspecto arrojado e de modernidade que confere ao veículo. Esta configuração para vidro confere um aspecto de continuidade, fazendo parte de portas e janelas, ocupando um espaço considerável nas dimensões verticais e horizontais. Apesar de parecer que todo o veículo possui vãos sem colunas, onde os vidros estão localizados, a estrutura da carcaça se mantém internamente e os vidros são localizados no exterior do veículo.

O topo arredondado é uma solução para o espaço necessário à instalação dos equipamentos de ar condicionado. Prevalece a uniformidade do formato geral, de modo a fornecer aspectos modernos e amigáveis ao monotrilha, pela geometria arredondada.

Já a base inteiriça do chassi, em que os vãos entre conjuntos de roda são preenchidos, confere percepção de rapidez, aerodinâmica e elegância, uma vez que há uma maior fluidez formal do produto, sem interrupções bruscas de forma.

Definidos esses três principais elementos formais, foram exploradas variações para os demais componentes do veículo, como faróis, dianteira, junção entre carros e formato das vidraças, resultando nos 8 sketches apresentados na figura 37.

4.2.4.1 Seleção de alternativas do exterior do veículo

Para a seleção de alternativas também será utilizada a matriz de Pugh, utilizando como parâmetro um produto existente. As 8 alternativas foram avaliadas de acordo com os requisitos estético-simbólicos (arrojado, elegante e moderno). Cada critério é comparado à solução de referência, que, neste caso, se trata do monotrilha de São Paulo (figura 38), por ser, atualmente, o último monotrilha lançado e que mais atende aos requisitos citados, dentre os monotrilhas existentes.

Figura 38 - Monotrilho de São Paulo








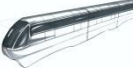
Fonte: Bombardier

Para cada critério foram adotados os seguintes valores:

- Sinal positivo (+) se a alternativa cumpre melhor os requisitos em relação ao modelo de referência.
- Zero (0) se a alternativa cumpre igualmente os requisitos em relação ao modelo de referência.
- Sinal negativo (-) se a alternativa não alcança o cumprimento dos requisitos em relação ao modelo de referência.

Por se tratarem de critérios subjetivos, e passíveis de discordância entre opiniões, foram consultadas 18 pessoas, sendo estas usuárias atuais ou usuárias em potencial de transporte público, em uma faixa etária de 17 a 64 anos, com diferentes perfis profissionais. Cada pessoa respondeu a seguinte pergunta para todas as alternativas: “Tu achas que, em comparação ao monotrilho de referência, esta alternativa é menos (-), igual (0) ou mais (+) nos quesitos: elegante, amigável e arrojado?”. Somadas todas as respostas, foi formada a matriz descrita na tabela 10. Essa matriz foi utilizada para a definição da forma preliminar do produto, uma vez que a solução selecionada ainda passará pelo processo de refinamento com auxílio de prototipagem em escala.

Tabela 10 - Matriz de Pugh para escolha da concepção externa

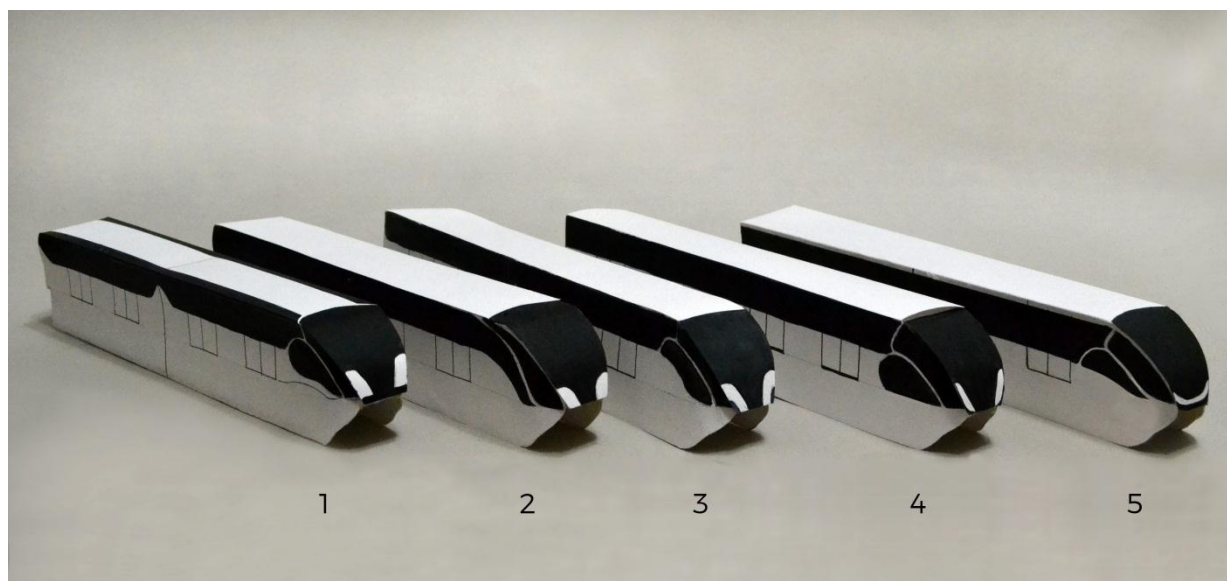
	1	2	3	4	5	6	7	8
								
Arrojado	+	-	+	-	0	-	+	0
Elegante	0	0	0	-	-	0	+	0
Amigável	+	0	+	0	+	+	+	0
TOTAL	2(+)	1(-)	2(+)	2(-)	0	0	3(+)	0

Fonte: Autora

O resultado da matriz de Pugh indica que a alternativa 7 é a que cumpre melhor os requisitos arrojado, elegante e amigável. Esta concepção se trata de um veículo com formas curvas suaves e simples. A dianteira possui uma curvatura leve, com faróis verticais e é afinada na extremidade, contribuindo para uma percepção de aerodinâmica e dinamicidade. Apresenta a área envidraçada inteiriça, como as demais, porém marca descontinuidade entre os carros. Já a base do chassi é inteiriça e reta, sem interrupções, evidenciando fluidez e uniformidade do volume geral do produto.

4.2.4.2 Refinamento formal do exterior do veículo

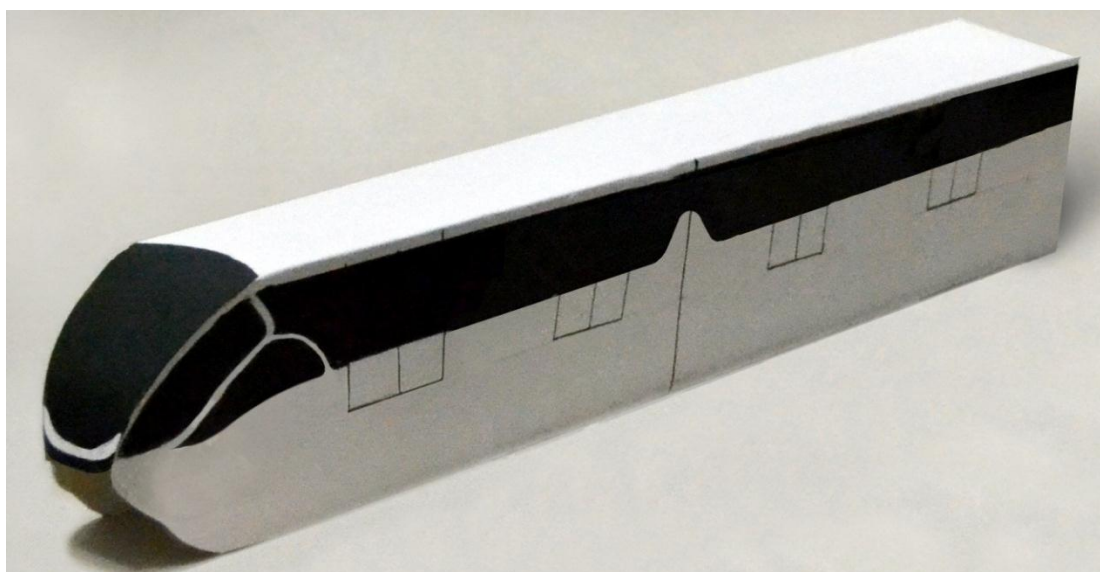
A partir da definição de alternativa pelo método da matriz de Pugh, foram feitos 5 modelos volumétricos, de baixa fidelidade, em papel, na técnica de *papercraft* em escala 1:100. A forma básica foi planificada e montada em papel. Após a montagem, em cada modelo foram trabalhados diferentes desenhos a partir da mesma ideia inicial. Assim, foi possível experimentar novas formas e configurações dos elementos, com base nos mesmos princípios formais da concepção escolhida, como pode ser observado na figura 39.

Figura 39 - Protótipos para refinamento

Fonte: Autora

4.2.4.3 Definição da solução final

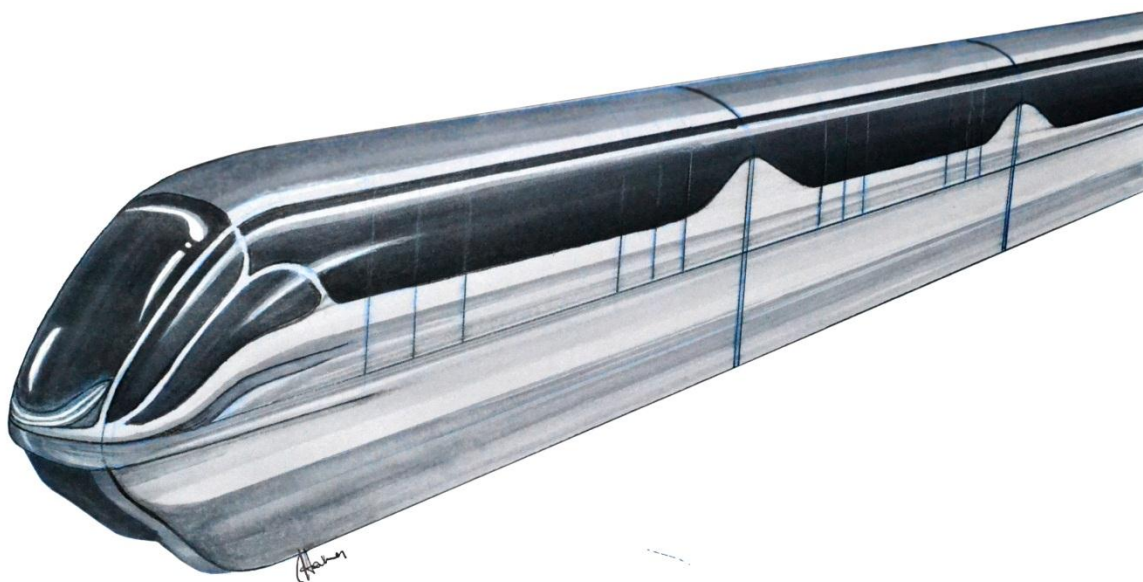
O processo de refinamento em protótipos em escala proporcionou uma evolução formal satisfatória, em que o modelo final é visto na figura 40. Foi mantida a área envidraçada inteira com chanfros entre os carros e a base do chassi reta. Já os recortes do vidro próximos à dianteira tiveram suas geometrias aprimoradas e os faróis tiveram a concepção alterada para um formado unificado, curvo e horizontal.

Figura 40 - resultado do refinamento

Fonte: Autora

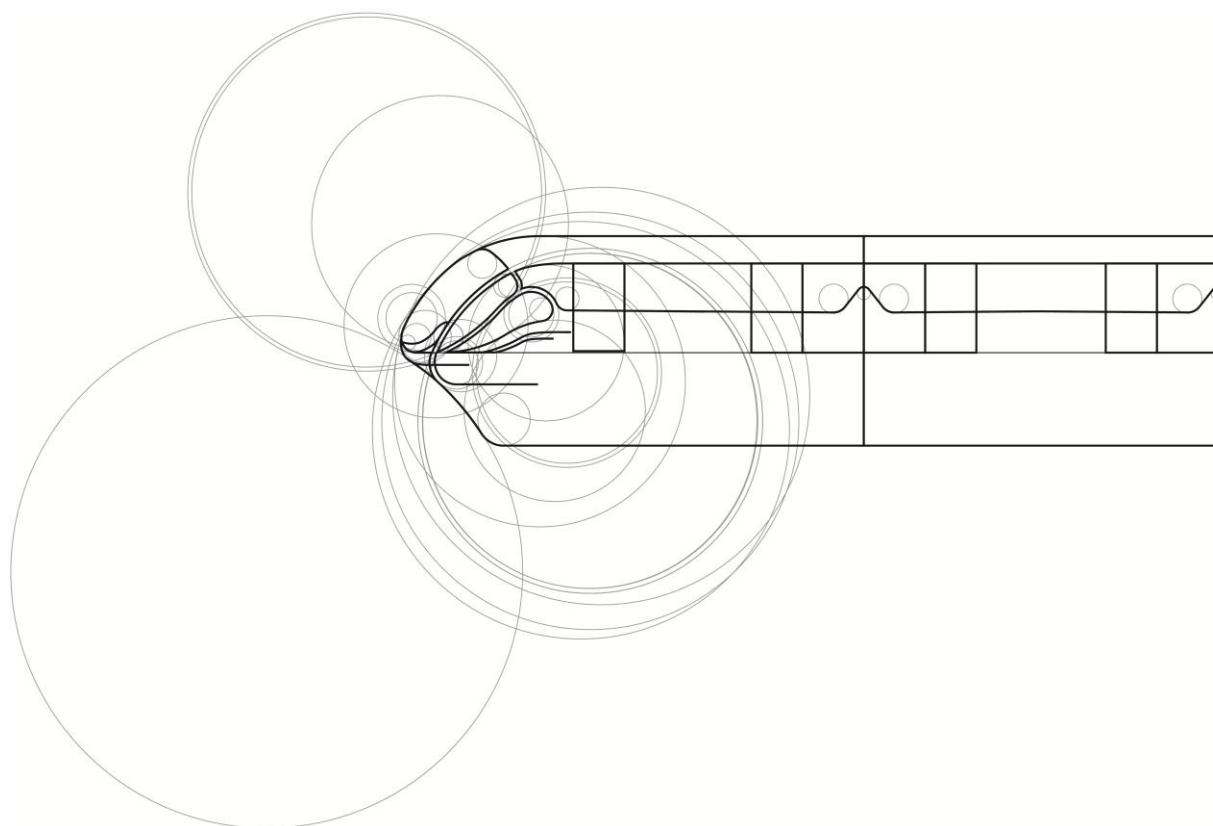
Como o protótipo em escala possui algumas limitações geométricas devido à técnica de *papercraft*, a solução final foi redesenhada e é expressa no sketch da figura 41.

Figura 41 - sketch concepção final



Fonte: Autora

Para conferir um maior apuro geométrico, foi realizado um estudo de formas a partir de retas e círculos concordantes (figura 42). A partir das curvas gestuais, fruto dos sketches manuais anteriores, foi obtido um desenho com uma definição formal mais coesa e precisa. Este processo serve como auxílio para um melhor entendimento da forma e, posteriormente, facilita a construção da modelagem 3D.

Figura 42 - Estudo geométrico sobre a alternativa escolhida

Fonte: Autora

4.3 Detalhamento e comunicação do projeto

Após a definição da concepção final do produto, o detalhamento e a comunicação do projeto são responsáveis pela apresentação do veículo desenvolvido, por meio da descrição da solução alcançada, bem como as especificações técnicas, características formais, simulação da aplicação no ambiente proposto e expressão volumétrica por meio de um modelo físico em escala reduzida.

4.3.1 Descrição da solução final

O produto resultante deste projeto se trata de um veículo de monotrilha direcionado a atender as necessidades dos usuários de transporte público, e propõe a colaborar para as questões atreladas à mobilidade urbana de Porto Alegre. Este modo de transporte coletivo urbano foi escolhido por atender às principais demandas de mobilidade da cidade, por ser um

sistema de alta capacidade, consolidado mundialmente e de alta confiabilidade. É capaz de transportar um número de passageiros próximo ao sistema metroviário, porém com uma implantação mais simplificada e com menores custos inerentes. Por circular sobre o trânsito, não há interferência com o tráfego rodoviário, resultando em pontualidade e ausência de acidentes com outros veículos ou pedestres.

O projeto prevê a fabricação do veículo executada pela experiente empresa Bombardier, que possui fábrica no Brasil e é responsável pela execução do monotrilho de São Paulo. Dessa forma, foi utilizada a tecnologia MONORAIL INOVIA 300, patenteada pela empresa, como base para o desenvolvimento do produto e definição dos principais componentes mecânicos.

O package final é resultado da combinação das soluções definidas para o chassi, salão de passageiros e a configuração externa. Para a descrição do modelo final, é admitida a representação dos 2 tipos de carros desenvolvidos: carro da extremidade e carro intermediário, sendo a composição composta por 2 carros de extremidade e 4 carros intermediários. Para o package final, foram readequados posicionamentos e dimensões, conforme limitações técnicas e normativas. Na apresentação do package, os elementos foram simplificados para melhor compreensão de suas localizações. A descrição mais detalhada dos componentes está contida no decorrer deste capítulo de detalhamento e comunicação.

A configuração final do veículo consiste em um monotrilho composto por 6 carros, com dimensões externas de 76 m de comprimento e 3,1 m de largura no total da composição. A capacidade nominal é de até 912 passageiros, a um nível de conforto médio, com densidade de 5 passageiros/m² (de acordo com a NBR 14183). Há local reservado para cadeirantes, assentos preferenciais, em cumprimento da NBR 14021, e local para transporte de bicicletas. O veículo possui assentos fixos e rebatíveis, sendo estes previstos para utilização quando não há alta lotação de passageiros. Os componentes técnicos foram definidos de acordo com o praticado pela tecnologia MONORAIL INOVIA 300 da Bombardier, portanto, disponíveis no mercado.

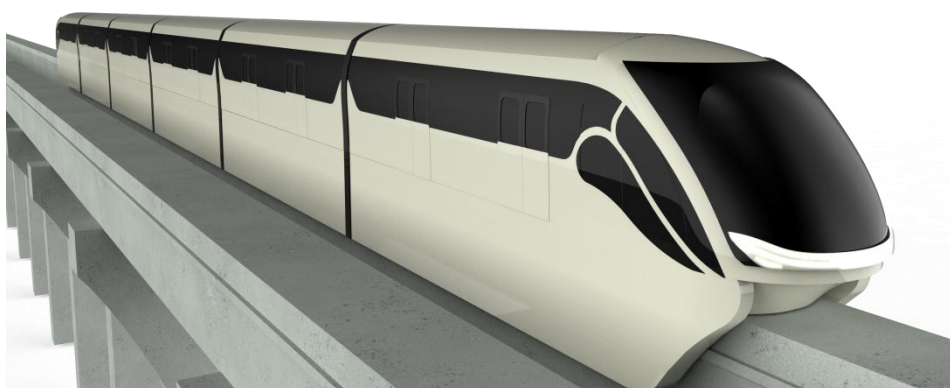
Para melhor descrever o veículo, buscou-se o maior detalhamento possível de componentes internos e externos, como é observado nos itens a seguir. Por fim, foram geradas vistas ortográficas com dimensões dos principais componentes e se encontram no apêndice 4. Devido à complexidade do projeto e ao alto número de componentes do veículo, não há o detalhamento de todos os itens do veículo.

4.3.1.2 Aparência externa

O exterior do veículo possui aspectos formais que acompanham os requisitos estético-simbólicos definidos a partir do projeto informacional, que são: arrojado, elegante e amigável. Isto foi possível devido ao emprego de formas suaves e harmônicas a partir de geometrias curvas e concordantes. A lateral do veículo é marcada por uma extensa área com envidraçamento externo. Para conferir continuidade à lateral, mesmo na região das portas, em que a área envidraçada é interrompida, optou-se por pintura de alto brilho em uma faixa equivalente às dimensões de altura do vidro.

A dianteira é caracterizada por seu formato arredondado e estreitamento nas extremidades, de modo a conferir percepção de rapidez e aerodinâmica. Os faróis também auxiliam na identidade do veículo, sendo estes agregados, formando uma única curva horizontal e com iluminação de LED, atribuindo, assim, aspecto moderno e arrojado. As figuras 43 e 44 elucidam a configuração externa do veículo a partir de modelagem 3D.

Figura 43 - Aparência externa do veículo



Fonte: Autora

Figura 44 - Detalhe frontal do veículo



Fonte: Autora

4.3.1.4 Salão de passageiros

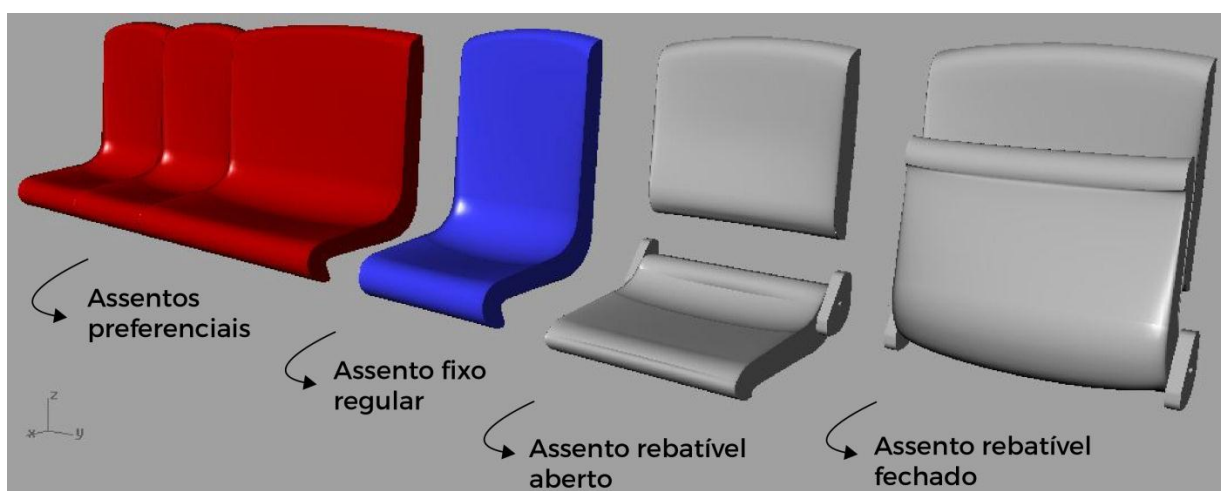
O salão de passageiros se diferencia de acordo com cada tipo de carro (de extremidade ou intermediário). A NBR 14021, que trata sobre acessibilidade, prevê que o assento para obeso e o local para cadeirante sejam dispostos no carro da extremidade. Já os assentos preferenciais devem existir em todos os carros. O módulo para bicicleta foi posicionado em um carro de extremidade para facilitar o fluxo de bicicletas na plataforma de embarque e desembarque. A relação entre estes itens do salão de passageiros e a quantidade de cada item, de acordo com tipo de carro, está expressa na tabela 11. A figura 45 mostra a configuração final para os diferentes tipos de assentos e a figura 46 ilustra graficamente a distribuição dos diferentes tipos de assento e módulos especiais ao longo dos carros de extremidade e intermediário.

Tabela 11 - Distribuição dos itens do salão de passageiros por carro

Itens do salão de passageiros	Carro extremidade (x2)	Carro intermediário (x4)	Total
Assentos fixos regulares	9	19	94
Assentos fixos preferenciais	2	3	16
Assentos fixos para obeso	1	0	2
Assentos rebatíveis	16	8	64
Módulo cadeirante	1	0	2
Módulo bicicleta	1	0	2

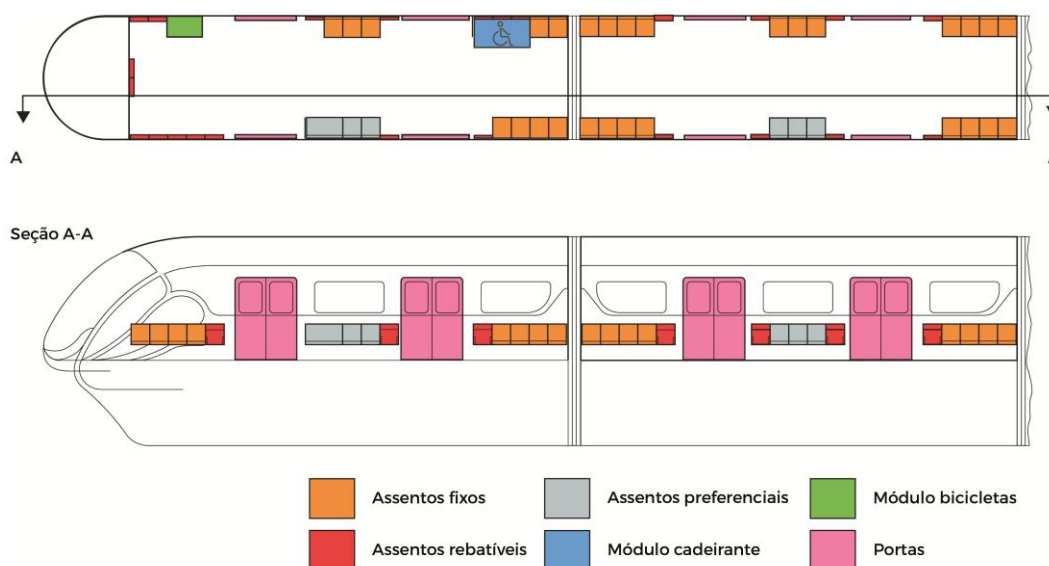
Fonte: Autora

Figura 45 - Tipos de assento



Fonte: Autora

Figura 46 – Package do salão de passageiros

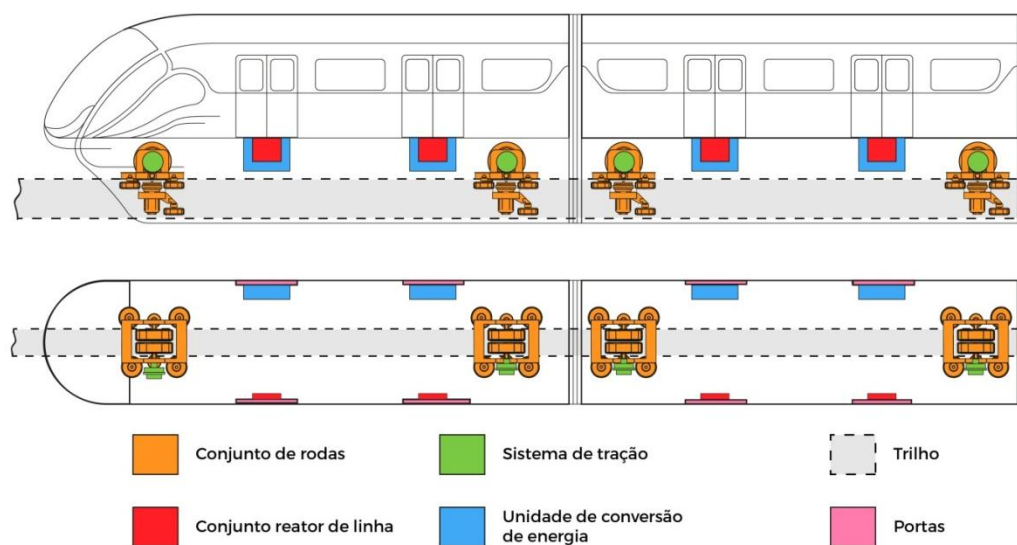


Fonte: Autora

4.3.1.1 Layout do sistema de propulsão

O sistema de propulsão do veículo conta com conjunto de rodas, sistema de tração (motor elétrico), conversor de energia e conjunto reator de linha. A localização destes componentes está ilustrada na figura 47. O posicionamento do sistema de propulsão abaixo do piso do salão de passageiros permitiu que a circulação e acomodação de passageiros no interior do veículo não sejam prejudicadas por essa volumetria. As principais características destes componentes estão descritas a diante, no item 4.3.2 - Características Técnicas.

Figura 47 – Layout do sistema de propulsão



Fonte: Autora

4.3.2 Características técnicas

Nesta seção são descritos os principais componentes mecânicos do sistema de propulsão, a configuração da carroceria e do chassi, bem como a especificação de materiais. Após o estabelecimento dessas características técnicas, é possível, então, realizar a análise estrutural do veículo, a partir do método por elementos finitos. Por se tratar de um projeto de design, que possui como escopo o desenvolvimento de soluções para salão de passageiros e carroceria de monotrilho, optou-se pela definição dos componentes mecânicos do veículo a partir das especificações do fabricante.

4.3.2.1 Sistema de propulsão

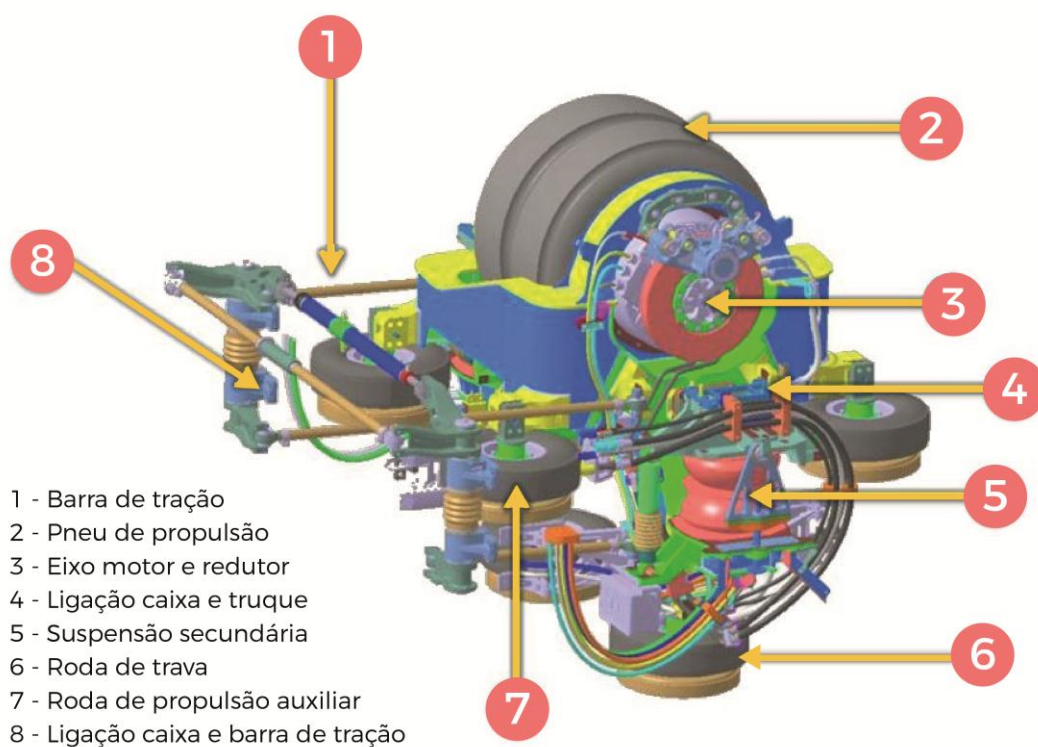
Cada carro que compõe a composição de monotrilho possui um sistema de propulsão completo e independente, contando com:

- 2 truques
- 2 sistemas de tração
- 2 unidades de conversão de energia
- 2 conjuntos de reatores de linha

Cada truque é constituído por 10 rodas: 2 rodas de propulsão principal, 4 rodas de propulsão auxiliar e 4 rodas de trava. Demais componentes como eixos, barras e ligações fazem parte do truque, realizando a conexão com demais peças do sistema, como ilustrado na figura 48. A estrutura do truque é produzida em Aço Carbono ASTM 572 classe 50, sendo a união das partes realizada por solda (BOMBARDIER, 2012).

Junto a cada truque está acoplado o sistema de tração elétrica (figura 49), que é constituído por motor de ímã permanente e moto-redutor planetário.

Figura 48 - Componentes do truque



Fonte: Bombardier (2012)- adaptado

Figura 49 - Sistema de tração



Fonte: Bombardier (2012)

A descrição a seguir faz parte da especificação do fabricante para o sistema de tração:

- **Motor de ímã permanente**

Tensão nominal: 365 Vca

Corrente nominal: 163 A

Potência em regime contínuo: 96 kW

Torque nominal: 1638 rpm

Frequência nominal: 109,2 Hz

Potência de pico em modo tração: 159 kW

Potência de pico em modo frenagem: 260 kW

- **Moto-redutor planetário**

Relação de redução: 7,435:1

- **Dimensão do conjunto de tração**

Massa: 488 kg

Diâmetro máximo: 560 mm

Largura máxima: 671 mm

Reator de linha é o componente responsável por otimizar a transmissão de energia externa até o sistema do veículo, evitando perdas energéticas e aumentando a estabilidade. Dessa forma, possui a função de limitar variações de energia e oscilações de tensão e conduzir a energia elétrica no sistema. Este veículo conta com 2 conjuntos de reatores de linha (figura 50) por carro e suas principais características são:

- Reatância indutiva: 1,2 mH
- Comprimento: 803 mm
- Altura: 605 mm
- Largura: 443 mm
- Massa: 66 kg (BOMBARDIER, 2012)

Figura 50 - Reatores de linha



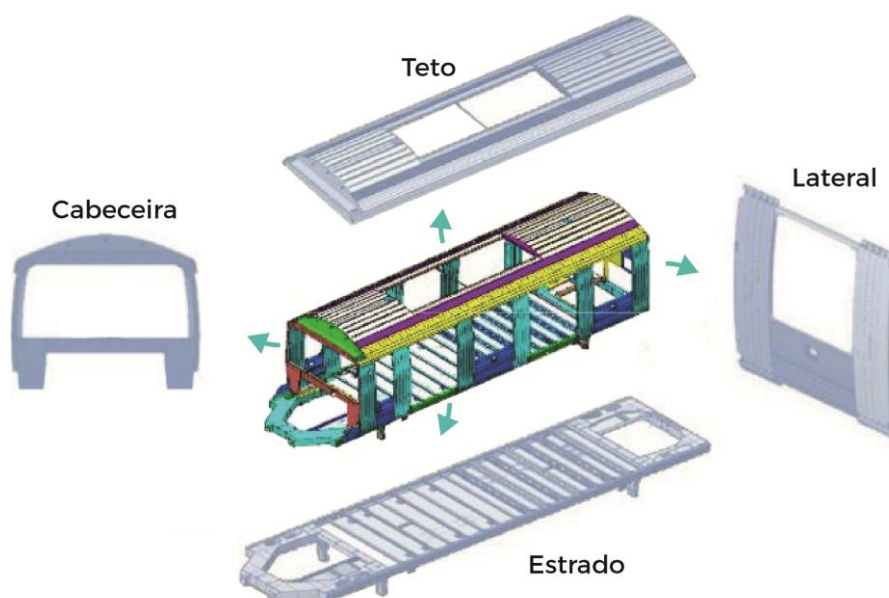
Fonte: Bombardier (2012)

Cada carro possui 2 unidades de conversão de energia (UCE), que são controlados de forma independente, com tensão e frequência variáveis. A UCE é responsável por transformar a energia elétrica, fornecida pelo sistema externo, em energia mecânica para o sistema de tração do veículo (BOMBARDIER, 2012).

4.3.2.2 Carroceria

Dividida em cabeceira, teto, paredes e estrado, a carroceria do monotrilho é localizada sobre o chassi e recebe carenagem polimérica. A figura 51 mostra um exemplo de carroceria produzida pela fabricante, adotada neste projeto, e a indicação de suas respectivas partes.

Figura 51 - Carroceria do monotrilho



Fonte: Bombardier (2012) – adaptado

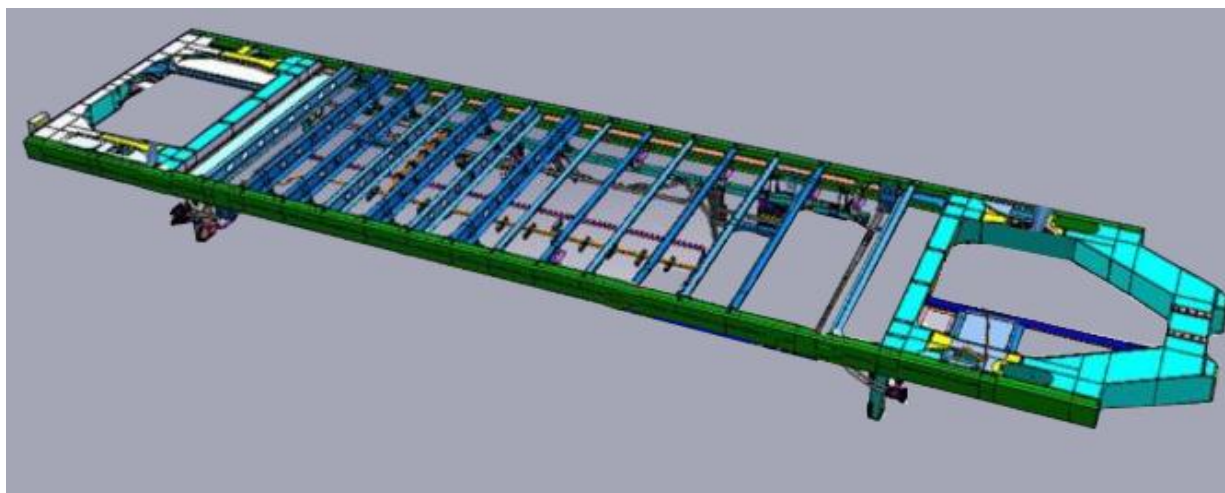
4.3.2.3 Chassi

O chassi empregado é do tipo longarina, aplicação típica em veículos pesados e composições ferroviárias. Este tipo de chassi é formado por duas vigas paralelas ligadas por barras, com a finalidade de estruturar e estabilizar o veículo.

Por se tratar de um veículo já consolidado no mercado mundial e com especificações já personalizadas e validadas pela fabricante, é possível utilizar neste projeto um produto já existente, sem que seja necessário um projeto específico e detalhado de um chassi para o veículo

projetado. Na imagem 52 consta uma representação do chassi empregado pela fabricante Bombardier.

Figura 52 - Chassi do tipo longarina



Fonte: Bombardier (2012) - adaptado

4.3.2.4 Materiais

Os materiais foram definidos segundo a disponibilidade no mercado e familiarização dos processos de fabricação pela matriz produtiva do fabricante. As especificações dos materiais selecionados estão dispostas no quadro 11.

Quadro 11 – Materiais empregados

Componentes	Materiais
Estrado – parte superior (carroceria)	Aço carbono ASTM A572 Classe 50 Algoma ASTM A514 Classe S
Estrado – parte inferior (carroceria)	Aço inoxidável ASTM A666-03 ¼ dureza
Teto, parede lateral e cabeceira	Alumínio ASTM B209 e ASTM B221
Truque	Aço Carbono ASTM 572 classe 50
Chassi	Aço carbono ASTM A572 Classe 50 Aço inoxidável ASTM A666-03 ¼ dureza
Vidraças	Vidro laminado e temperado, com Insulfim semirreflexivo – cor preta
Carenagem	Compósito polimérico

4.3.3 Simulação

Para melhor compreender e representar a concepção final do produto, a partir da modelagem 3D elaborada software Rhinoceros 5, foram efetuados renderings e modelos físicos em escala para verificação do projeto.

4.3.3.1 Renderings

As imagens obtidas a partir da renderização do modelo 3D no software Keyshot representam a solução final proposta neste projeto. Foram geradas imagens externas e internas do monotrilho com simulação dos materiais definidos e inserido no ambiente, como mostram as figuras 53, 54, 55, 56, 57, 58 e 59.

Figura 53 - Rendering final do produto



Fonte: Autora

Figura 54 - Rendering final do veículo



Fonte: Autora

Figura 55 - Salão de passageiros



Fonte: Autora

Figura 56 - Assentos preferenciais



Fonte: Autora

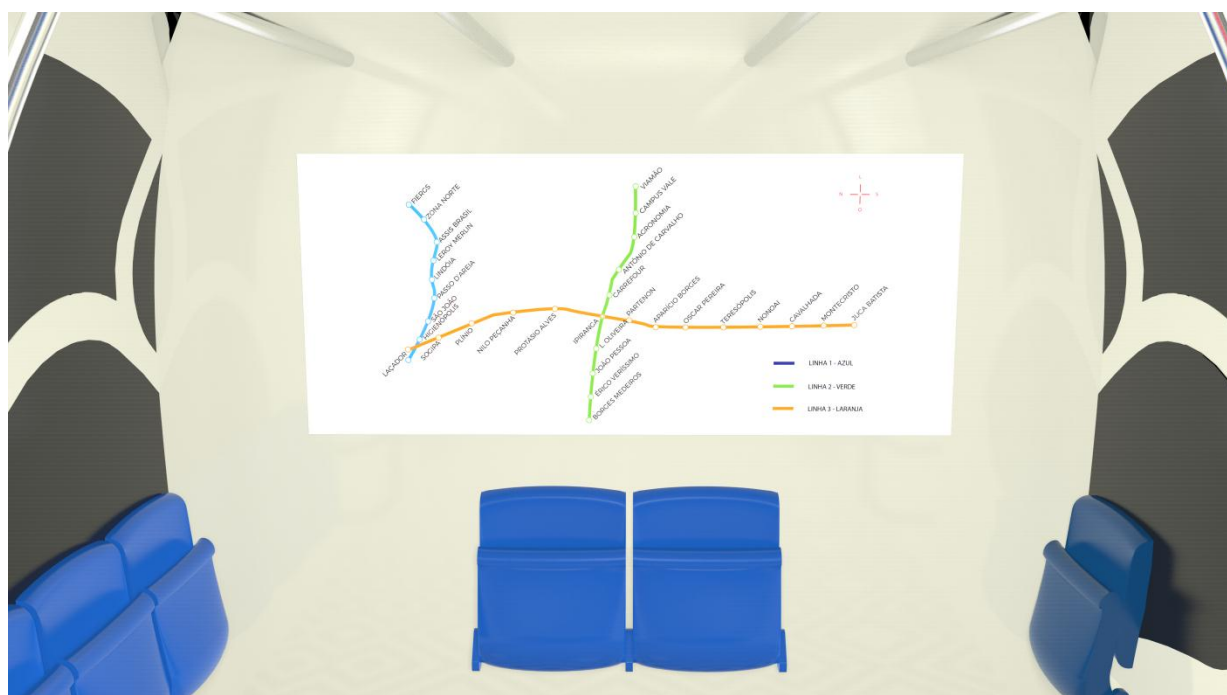
Figura 57 - Passagem entre carros

Fonte: Autora

Figura 58 - Módulo cadeirante

Fonte: Autora

Figura 59 - Mapa de linhas



Fonte: Autora

4.3.3.2 Trajetos propostos

Para implantação do sistema de transporte público urbano por monotrilho na cidade de Porto Alegre foram propostos 3 trajetos de linhas troncais que cruzam a cidade e possuem conexão com a região metropolitana São estes:

- Linha 1 (Azul): Farrapos/IPA – FIERGS (12 km de extensão)
- Linha 2 (Amarela): Av. Ipiranga/Av. Borges de Medeiros – Av. Bento Gonçalves (14 km de extensão)
- Linha 3 (Vermelha): Av. Sertório/Av. Ceará – Av. Eduardo Prado/Av. Juca Batista (18 km de extensão)

É importante salientar que para a avaliação e definição de novas linhas e rotas de transporte público são necessários estudos mais profundos sobre a mobilidade urbana da cidade e suas variáveis. Esta é uma sugestão para possíveis estudos, tendo em vista que este sistema de transporte de massa é eficiente em vias troncais, por sua alta capacidade de locomoção de passageiros. Para um aproveitamento deste sistema, é preciso haver

uma ideal integração a linhas de ônibus e lotação, remodeladas neste um novo sistema multimodal de transporte público.

4.3.3.3 Modelo físico em escala

Foram produzidos 2 modelos em escala: um modelo da concepção externa da composição completa, sobre trilhos, em escala 1:100 e um modelo de um carro individual em corte, na escala 1:50 para verificação do interior do veículo.

Os modelos foram executados a partir da técnica de impressão 3D, no equipamento Makerbot localizado no VID, na Escola de Engenharia da UFRGS e em impressora própria, da marca Wanhao, modelo Duplicator 4. O material do filamento de impressão utilizado é o PLA. Após a impressão das peças, foi realizado acabamento e pintura manual.

O protótipo da composição completa em escala 1:100 pode ser conferido nas figuras 60 e 61. O modelo foi inserido em um cenário com trilhos e vigas, localizados no canteiro central de uma avenida hipotética. Para fins de comparação dimensional, foram adicionadas miniaturas de carros na mesma escala do modelo.

Figura 60 - Modelo volumétrico da vista externa do veículo.



Fonte: Autora

Figura 61 - Modelo volumétrico da vista externa do veículo (detalhe frontal)



Fonte: Autora

O protótipo da vista interna de um dos carros, em escala 1:50 é visto na figura 61. Foi executado um nível de detalhamento suficiente para serem visualizados os principais elementos internos, como assentos, portas, janelas, placas com indicação das estações e padronagem do piso. Foram posicionadas miniaturas de figura humana na mesma escala do modelo a fim de propiciar uma melhor compreensão sobre o veículo em uso.

Figura 62 – vista interna de um carro intermediário



Fonte: Autora

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar o modo com que as pessoas se locomovem diariamente na cidade envolve refletir sobre a sociedade integralmente, de forma que comportamentos, paradigmas sociais, e aspectos políticos, econômicos e ambientais se relacionam de forma intrínseca. Assim, é possível ter um melhor panorama sobre o assunto e começar a entender por que mobilidade urbana acaba se tornando um problema capcioso que parece cada vez mais distante de ser resolvido. Propor um projeto como parte de uma solução maior requer ampliar a visão e considerar pontos de vista de diferentes áreas do conhecimento.

Como citado no início do trabalho, a capacidade de locomoção das pessoas de uma cidade deriva das características do sistema de transporte de passageiros, é um aspecto fundamental na definição da qualidade de vida de uma sociedade e, conseqüentemente, do seu nível de desenvolvimento social e econômico. Isso se traduz, neste projeto, como uma grande responsabilidade, por projetar um produto com impacto na rotina de milhões de pessoas. Apesar de não ignorar os componentes mecânicos e estruturais, estes não foram o foco do escopo do projeto. As principais motivações para este trabalho partiram da vontade de ampliar o entendimento sobre transporte público e sugerir uma contribuição de produto, principalmente no que diz respeito à interface passageiro-veículo.

O projeto do veículo de monotrilha se desenvolveu de forma extensa e complexa, composto por variáveis diferentes e conectadas. Dessa forma, foi fundamental seguir uma metodologia estruturada, adaptada a veículos, e seguir um cronograma pré-estabelecido. Definir os objetivos funcionais do veículo como conclusão do projeto informacional foi decisivo para o desenvolvimento do projeto conceitual, uma vez que bem delineados componentes e dimensões, o trabalho fluiu de forma mais coerente e consistente. Somado a isso, partir de pré definições do fabricante auxiliou no embasamento do projeto e confirmação viabilidade de execução do produto.

Dada à complexidade do projeto e à numerosa quantidade de componentes, o nível de detalhamento técnico permite observar os principais elementos do veículo e suas dimensões, de modo a conferir a funcionalidade durante as viagens e a viabilidade produtiva do veículo. Para haver o detalhamento técnico necessário para avaliar o produto como pronto para ser produzido, seria preciso explorar estudos multidisciplinares e envolver profissionais de diferentes áreas além do Design. Mesmo assim, o produto se mostra viável sob aspectos técnicos, pois não houve

mudanças estruturais ou mecânicas em relação aos veículos já fabricados no mercado nacional e internacional.

Projetar um veículo de monotrilho implica na visualização de inúmeros projetos complementares à implantação deste sistema na cidade. O desenvolvimento do veículo é apenas um, dentre tantos elementos necessários, para executar o sistema como um todo. Projeto de sinalização interna e externa, projeto arquitetônico das estações e projeto de remodelagem de um sistema de transporte público multimodal são apenas algumas, das múltiplas oportunidades de estudo para concretizar o propósito do presente projeto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES DE PASSAGEIROS SOBRE TRILHOS. Balanço do setor Metroferroviário 2014/2015. Brasília: ANPTrilhos, 2015. Disponível em: http://anptrilhos.org.br/wp-content/uploads/2015/04/Imprensa-Balanco_ANPTrilhos.pdf
- BRASIL. Lei nº 12587, de 03 de janeiro de 2012. **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília, Câmara Municipal de Porto Alegre (Org.). **Porto Alegre: uma visão de futuro**. Porto Alegre: Gráfica Rjr, 2009.
- BACK, Nelson et al. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2013.
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Blucher, 2011.
- BOMBARDIER (Org.). **Sistema monotrilho**: São Paulo: Metrô de São Paulo, 2012
- Bombardier Transportation GmbH. **MONORAIL BOGIE HAVING IMPROVED ROLL BEHAVIOR**. USA nº US 7823512 B2, 28 abr. 2008, 02 nov. 2010. .
- FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. **Transporte público urbano**. São Carlos: Rima Editora, 2004.
- GEHL, Jan. **Cidades para Pessoas**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.
- KNEIB, Erika Cristine. **Mobilidade urbana e qualidade de vida: do panorama geral ao caso de Goiânia**. Revista UFG. Ano XII, no 12, 2012.
- LARICA, Neville Jordan. **Design de transportes: Arte em função da mobilidade**. Rio de Janeiro: 2ab/puc-rio, 2003.
- MACEY, Stuart; WARDLE, Geoff. **H-Point: The fundamentals of car design & packaging**. California: Design Studio Press, 2014.
- MAGAGNIN, Renata Cardoso; SILVA, Antônio Néilson Rodrigues da. A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana. **Transportes**, São Paulo, v., n. 1, p.25-35, jun. 2008.
- MARCHI, Cíntia. **Com um carro para cada duas pessoas, Porto Alegre estuda alternativas para mobilidade**. 2016. Disponível em: <http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/Transito/2016/9/597374,-Porto-Alegre-estuda-alternativas-para-mobilidade>>. Acesso em: 18 set. 2016.

Ministério das Cidades (2006). **Curso Gestão Integrada da Mobilidade Urbana**. Módulo I: Política Nacional de Mobilidade Urbana. Ministério das Cidades, Programa Nacional de Capacitação das Cidades, Brasília, Março, 2006. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/CursoSemob/modulos.html>

Ministério das Cidades - Departamento Nacional de Trânsito. **Frota de Veículos 2016**. 2016. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/261-frota-2016>>. Acesso em: 08 out. 2016.

MONTEIRO, C. M.; LADEIRA, M. C. M. **Porto Alegre: avaliação do sistema viário principal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 15., 2006, Goiânia. Anais... São Paulo: ANTP, 2006. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/estudos/pesquisa/antp_15congr/pdf/TU-031.pdf>. Acesso em: 26 set. 2016.

NEUMEIER, Marty. **A Empresa Orientada pelo Design: Como Construir uma Cultura de Inovação Permanente**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

OLIVEIRA, Uarlem José de Faria. **PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS DO TIPO MONOTRILHO NA REGIÃO METROPOLITANA DE VITÓRIA**. 2009. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

PAZMINO, Ana Verônica. **Como se cria: 40 métodos para design de produtos**. São Paulo: Blucher, 2015.

PEDERSEN, Kim. **Monorails: Trains of future now arriving**. Fremont: Four Colour Print Group, 2015.

PORTO ALEGRE. EPTC. (Org.). **O sistema**. 2016. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=152>. Acesso em: 28 set. 2016.

SAPPER, Stella Lisboa. **A transposição dos requisitos estéticos e simbólicos de projeto em atributos formais do produto**. 2015. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Ufrgs, Porto Alegre, 2015.

SOUZA, Natália Marcon de. **TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO: ÔNIBUS NA CIDADE DE PORTO ALEGRE E OS DIVERSOS FATORES QUE CONTRIBUEM PARA SUA INEFICIÊNCIA**. 2012.

80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

THORNE, Martha (Ed.). **Modern trains and splendid stations: Architecture, design and rail travel for the twenty century.** Chigago: Merrel, 2002.

TRENSURB. **Porto Alegre: 243 anos de história e 30 anos de parceria.** 2015. Disponível em: <<http://www.trensurb.gov.br/blog/porto-alegre-243-anos-de-historia-e-30-anos-de-parceria/>>. Acesso em: 08 out. 2016.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **A cidade, o transporte e o trânsito.** São Paulo: Prolivros, 2005.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Cronogramas de Projeto

#	Tarefa	AGOSTO				SETEMBRO				OUTUBRO				NOVEMBRO				DEZ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TCC I																		
1	CONTEXTUALIZAÇÃO																	
1.1	OBJETIVOS																	
1.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA																	
1.2.1	Cenário																	
1.2.2	Transporte público urbano																	
1.2.3	Fatores de qualidade usuário																	
1.2.4	Fatores normativos																	
	Metodologia																	
	Painel intermediário																	
2	PROJETO INFORMACIONAL																	
2.1	PROBLEMA DE PROJETO																	
2.2	IDENTIFICAÇÃO DOS USUÁRIOS																	
2.2.3	Necessidades dos usuários																	
2.2.3	Requisitos dos usuários																	
2.2.4	Requisitos Projeto (QFD)																	
2.2.5	Objetivos funcionais do veículo																	
	Painel Final																	

#	Tarefa	ABRIL				MAIO				JUNHO				JULHO	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TCC II															
4	PROJETO CONCEITUAL														
4.1	Painel visual														
4.2	GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS														
4.2.1	Análise de Similares														
I	Ideação Package chassi														
4.2.2	Ideação Package config. interna														
4.2.3	Desenvolvimento package (corpo)														
4.3	SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS														
4.3.1	Refinamento														
4.3.2	Prototipagem teste														
4.3.3	Refinamento														
4.4	PACKAGE FINAL														
4.4.1	Modelagem 3D														
4.4.2	Detalhamento														
4.4.3	Modelo Físico em escala														
4.4.4	Entrega final														

Apêndice 2 – Questionário aplicado aos usuários

Mobilidade Urbana - Porto Alegre

Este questionário busca o levantamento de informações para identificação das necessidades dos usuários de transporte público, com objetivo de coletar dados essenciais para TCC do curso de Design de Produto - UFRGS.

Para começar, algumas informações básicas:

*Obrigatório

1. Qual tua faixa etária? *

Marcar apenas uma oval.

- Menor de 16 anos
- 17 a 22 anos
- 23 a 30 anos
- 31 a 40 anos
- 41 a 50 anos
- 51 a 60 anos
- Mais de 60 anos
- Outro:

2. Com qual gênero tu te identificas? *

Marcar apenas uma oval.

- Feminino
- Masculino
- Outro:

3. Utilizas transporte público como principal forma de locomoção na cidade de Porto Alegre? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim Ir para a pergunta 4.
- Não Ir para a pergunta 8.

Usuário de transporte público

Já que tu utilizas o transporte público, podes contribuir com tuas experiências?

4. Qual a frequência que tu andas de ônibus em Porto Alegre? *

Marcar apenas uma oval.

- 6 a 7 dias por semana
- 3 a 5 dias por semana
- Menos de 3 vezes por semana

5. Quais os principais vantagens neste tipo de transporte? *

.....

.....

.....

.....

6. Quais as principais desvantagens percebidas? *

.....

.....

.....

.....

7. Tens sugestões sobre o que poderia melhorar no sistema de transporte público na cidade? *

.....

.....

.....

.....

Ir para a pergunta 11.

Não usuário de transporte público

Tua contribuição é importante

8. Qual meio de transporte tu mais utilizas para te deslocar na cidade? *

Marcar apenas uma oval.

- A pé
- Bicicleta
- Motocicleta
- Carro
- Transporte coletivo privado

9. Por que tu não utilizas transporte público em Porto Alegre?

.....

.....

.....

10. O que é necessário no sistema público de transporte para que tu sejas adepto(a) frequente?

.....

.....

.....

.....

Ir para a pergunta 11.

Fatores da qualidade para usuários

Qual o grau de importância que tu atribuis a cada um dos seguintes fatores em relação ao serviço de transporte público?

11. ACESSIBILIDADE *

Relacionada ao grau de facilidade de acesso ao local de embarque no transporte coletivo, de sair do local de desembarque e chegar ao destino final.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito importante

12. FREQUÊNCIA DE ATENDIMENTO *

Expressa a relação do intervalo de tempo entre a passagem dos coletivos e a espera no local de parada.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito importante

13. TEMPO DE VIAGEM *

Representa o tempo em que o usuário gasta no interior dos veículos. Segue uma relação entre a velocidade média de transporte e a distância percorrida.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito importante

14. LOTAÇÃO *

Corresponde à quantidade de passageiros no interior do veículo.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito importante

Algo mais?

Tens algo importante a dizer sobre o tema que não estava no questionário? Aqui está a oportunidade!

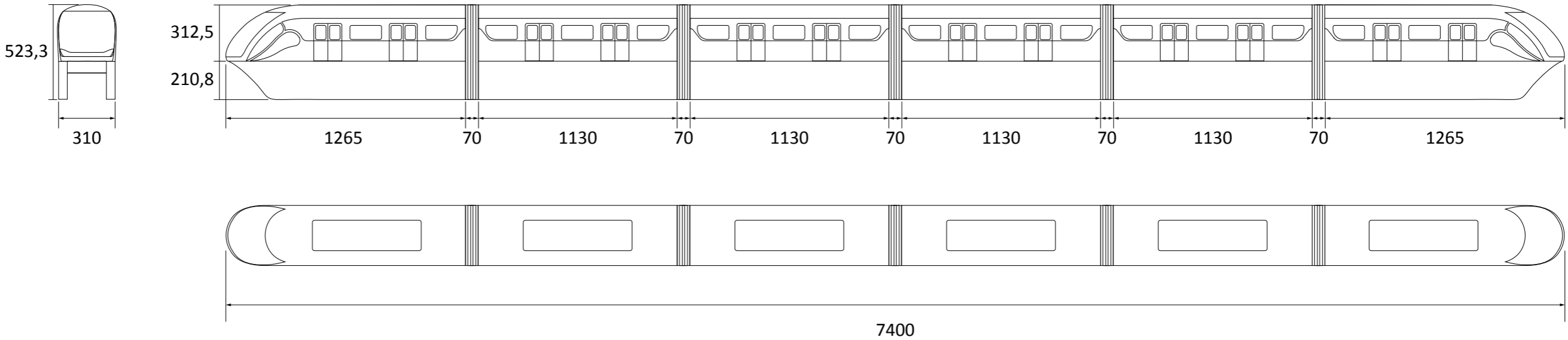
21. Espaço livre para considerações

Tens algo a mais para partilhar sobre o sistema/veículos de transporte público de Porto Alegre? Este espaço é livre para que tu possas partilhar ideias, sugestões, reclamações, etc



Apêndice 4 – Vistas ortográficas

VISTAS ORTOGRÁFICAS
MONOTRILHO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ASSUNTO: PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE - DETALHAMENTO TÉCNICO

NOME: CRISTIANE HAHNER

CURSO: DESIGN DE PRODUTO

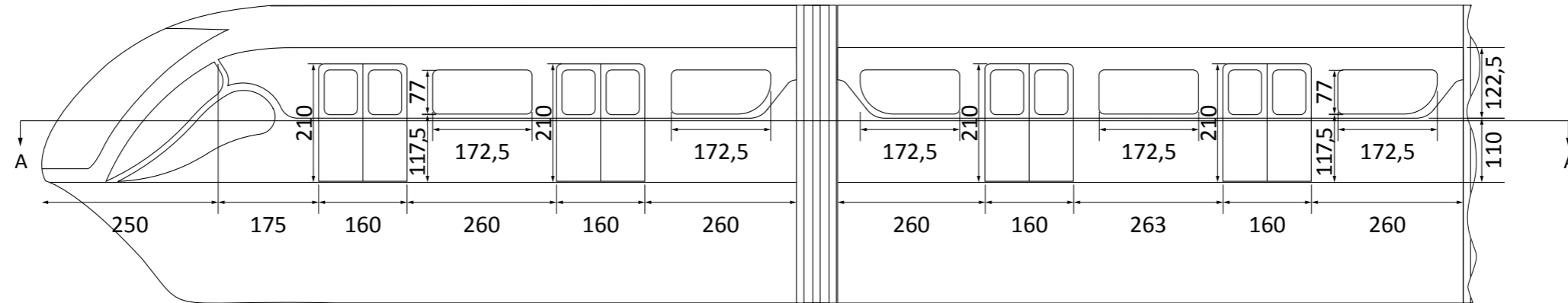
UNIDADE: CENTÍMETROS

ESCALA: 1:250

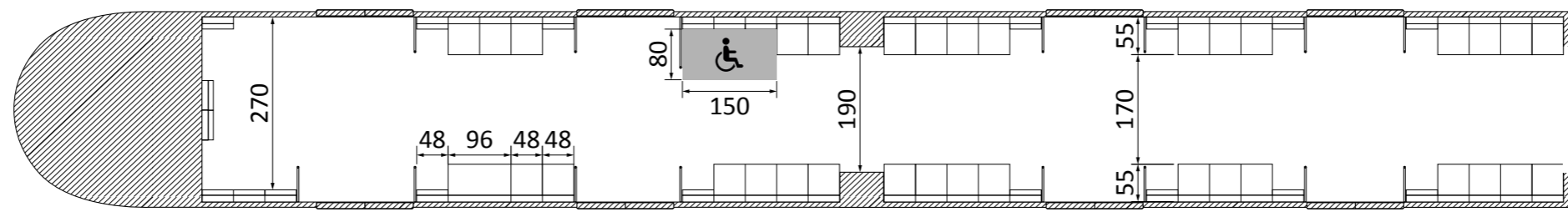
PRANCHA

1/6

CORTES
MONOTRILHO



CORTE A-A



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ASSUNTO: PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE - DETALHAMENTO TÉCNICO

NOME: CRISTIANE HAHNER

CURSO: DESIGN DE PRODUTO

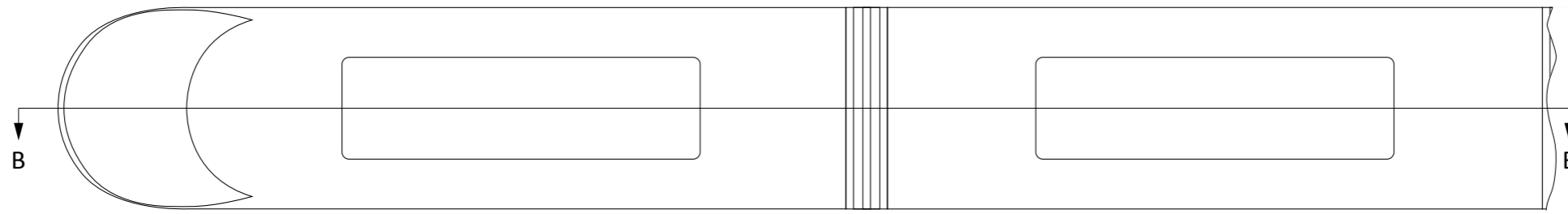
UNIDADE: CENTÍMETROS

ESCALA: 1:250

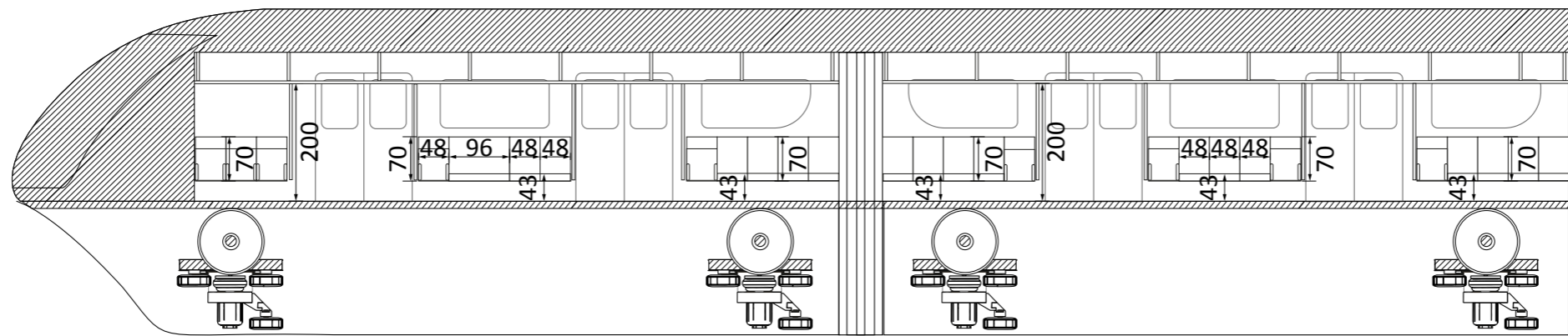
PRANCHA

2/6

CORTES
MONOTRILHO



CORTE B-B



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ASSUNTO: PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE - DETALHAMENTO TÉCNICO

NOME: CRISTIANE HAHNER

CURSO: DESIGN DE PRODUTO

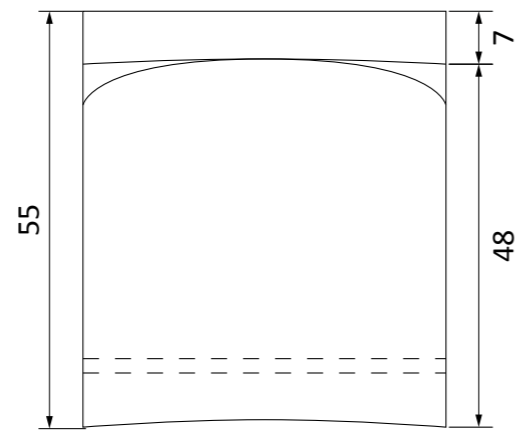
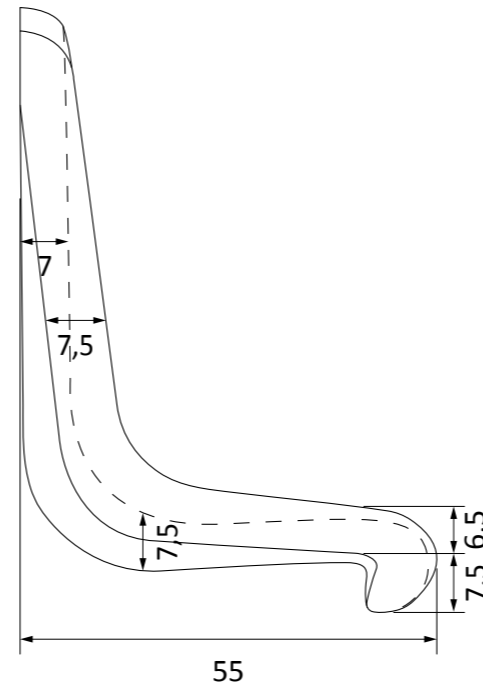
UNIDADE: CENTÍMETROS

ESCALA: 1:100

PRANCHA

3/6

VISTAS ORTOGRÁFICAS
ASSENTO FIXO REGULAR



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ASSUNTO: PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE - DETALHAMENTO TÉCNICO

NOME: CRISTIANE HAHNER

CURSO: DESIGN DE PRODUTO

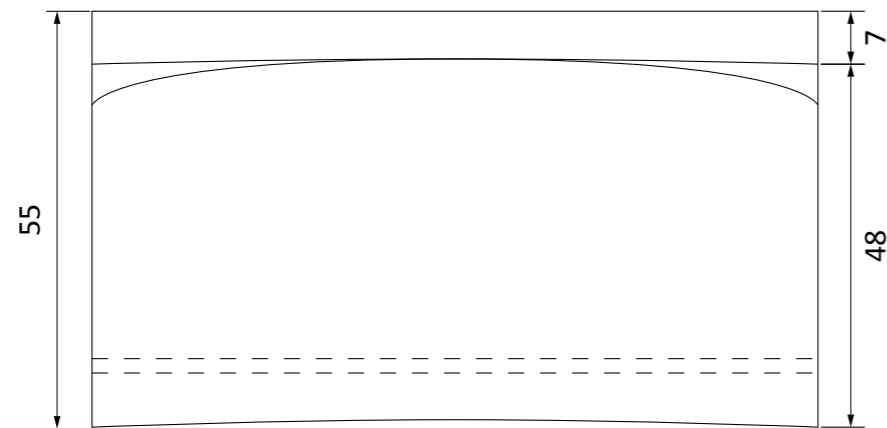
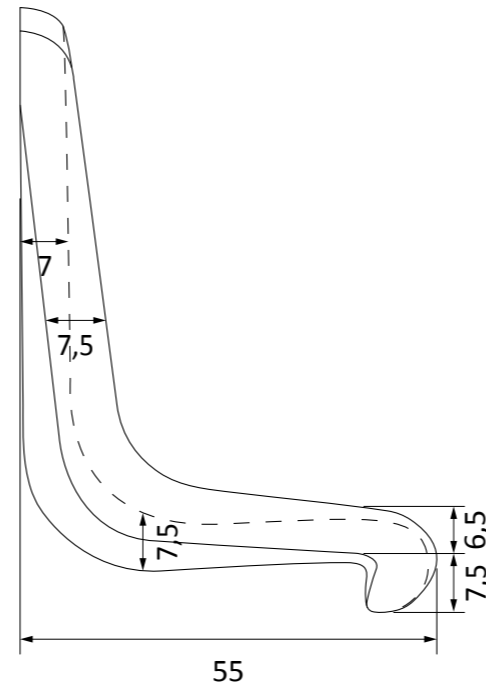
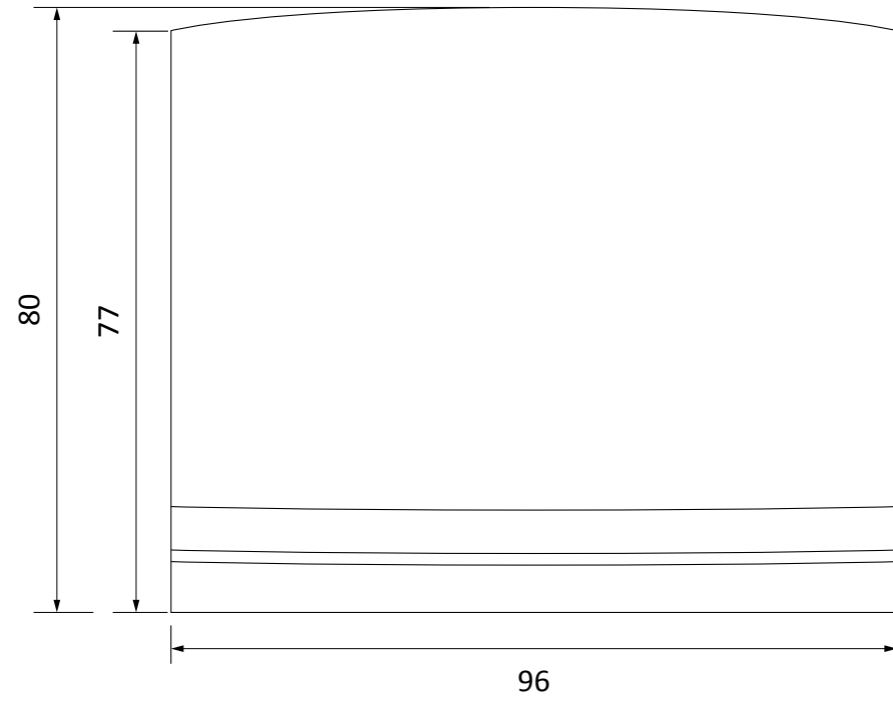
UNIDADE: CENTÍMETROS

ESCALA: 1:10

PRANCHA

4/6

VISTAS ORTOGRÁFICAS
ASSENTO FIXO PARA OBESO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ASSUNTO: PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE - DETALHAMENTO TÉCNICO

NOME: CRISTIANE HAHNER

CURSO: DESIGN DE PRODUTO

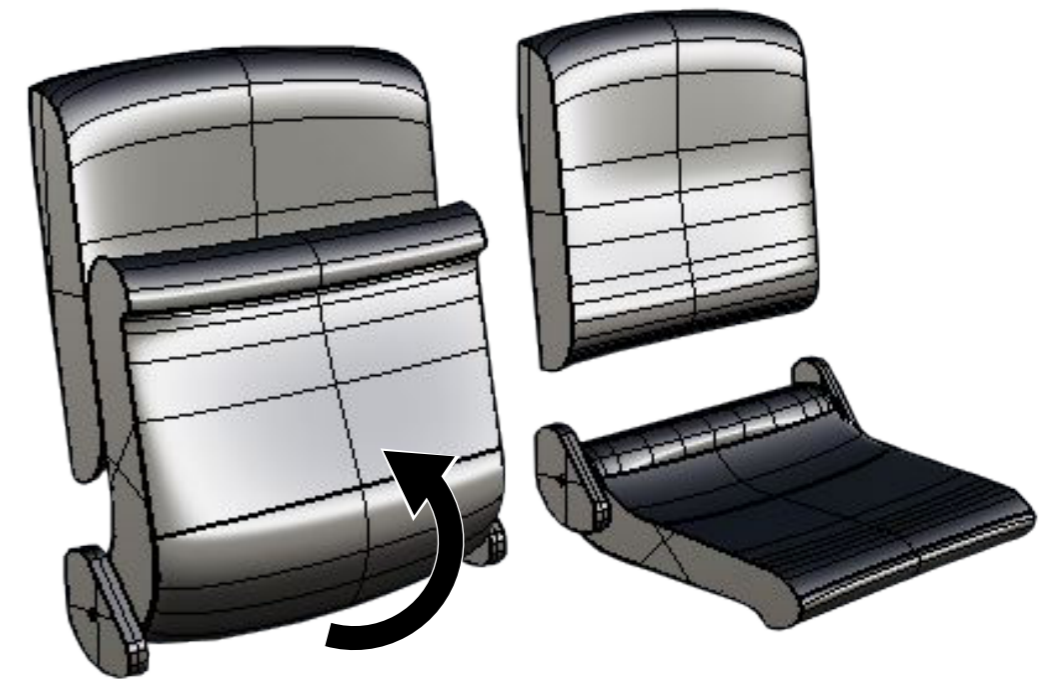
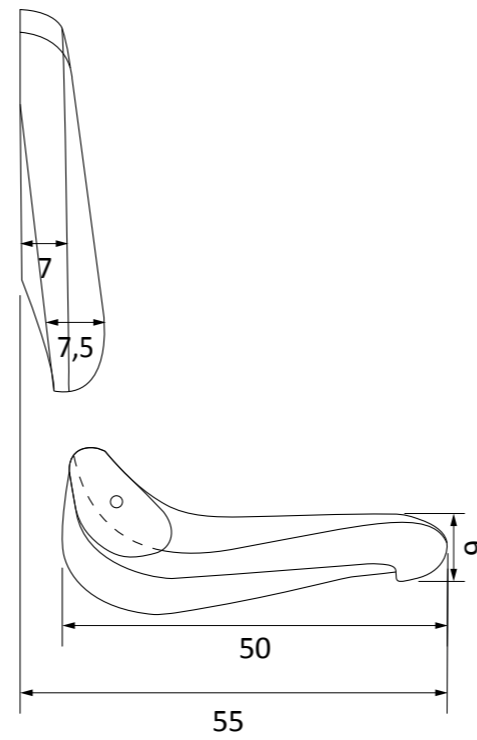
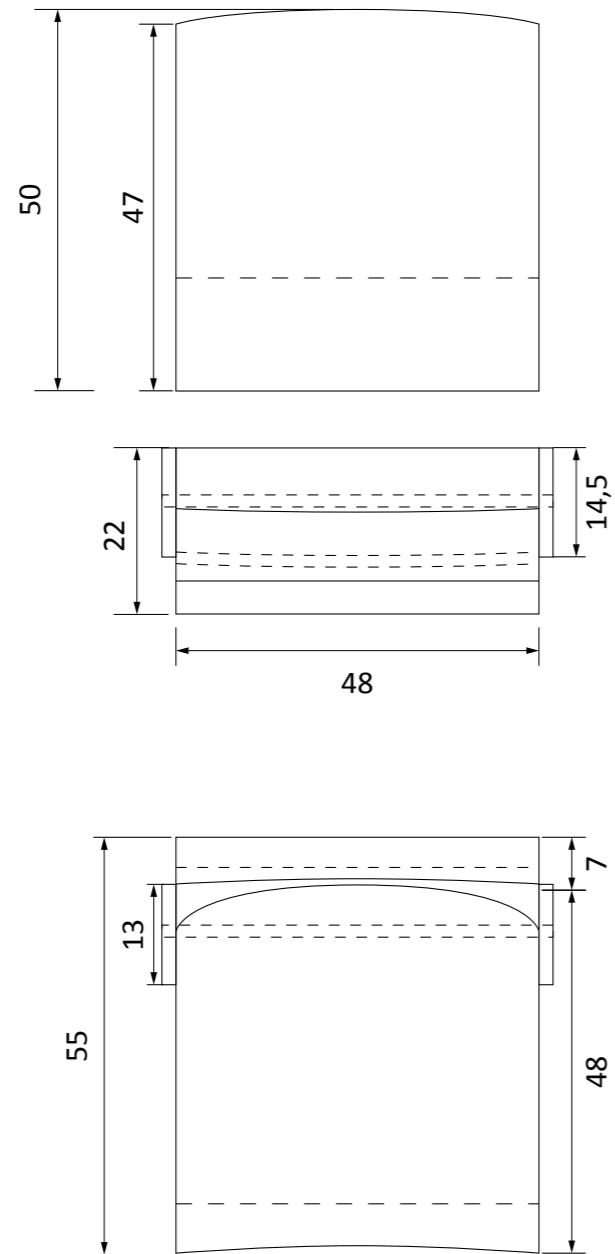
UNIDADE: CENTÍMETROS

ESCALA: 1:10

PRANCHA

5/6

VISTAS ORTOGRÁFICAS
ASSENTO REBATÍVEL



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ASSUNTO: PROJETO DE VEÍCULO DE MONOTRILHO PARA PORTO ALEGRE - DETALHAMENTO TÉCNICO

NOME: CRISTIANE HAHNER

CURSO: DESIGN DE PRODUTO

UNIDADE: CENTÍMETROS

ESCALA: 1:10

PRANCHA

6/6