

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROJETO E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

**PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA MELHORIA NO PROCESSO DE
MONTAGEM DE JANELA DE ÔNIBUS URBANO**

por

Lucas Zavistanovicz

**Dissertação para obtenção do título
de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação**

Passo Fundo, setembro de 2013.

Proposta de diretrizes para melhoria no processo de montagem de janela de ônibus urbano

por

Lucas Zavistanovicz

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de:

Mestre em Projeto e Processos de Fabricação

Área de Concentração: Engenharia Mecânica – Projeto de Máquinas e Equipamentos

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Agenor Dias de Meira Júnior - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, FEAR/UPF

Prof. Dr. Nilson Luiz Maziero, Professor - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, FEAR/UPF

Prof. Dr. Osiris Canciglieri Júnior, Professor Adjunto – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUC-PR

Prof. Dr. Charles Leonardo Israel
Coordenador do ppgPPF

Passo Fundo, 19 de setembro de 2013

AGRADECIMENTOS

Gostaria de registrar meus sinceros agradecimentos àqueles que tiveram participação fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Márcio Walber, pela orientação e grande apoio para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Charles Leonardo Israel, Coordenador do Mestrado Profissional em Projeto e Processos de Fabricação.

Aos Professores do Instituto Federal Sul Rio Grandense (Ifsul), Campus Passo Fundo - RS, pelas sugestões e troca constante de idéias.

À banca examinadora deste trabalho composta pelos professores Dr. Nilson Luis Maziero, Dr. Agenor Dias de Meira Júnior, Prof. Dr. Osiris Canciglieri Júnior pelas considerações, discussões e sugestões.

À empresa Comil Ônibus S.A de Erechim – RS, a qual me abriu as portas para que fosse possível a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Leonel e Mariluci, pela preocupação com relação ao andamento do trabalho e pelo constante apoio.

À minha namorada Adriane, por estar sempre ao meu lado e me apoiar nas decisões mais importantes.

E a uma força maior que me inspirou nos momentos em que encontrei dificuldades.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a análise do processo de montagem das janelas de ônibus urbano e a partir daí, então, a apresentação de uma proposta de diretrizes para melhoria no processo de montagem de janela de ônibus urbano. O processo atual de montagem das janelas do ônibus urbano caracteriza-se por ser manual, sendo que os funcionários necessitam realizar esforço excessivo para a execução dessa tarefa e, como consequência disso, tem-se elevada rotatividade de funcionários no setor, absenteísmo, tempos de produção elevados e risco de danos aos componentes da janela. Para a contemplação do presente trabalho, realizou-se estudo das principais normas técnicas e resoluções que tratam da fabricação e montagem de componentes de janela de ônibus urbano, das metodologias projetuais mais difundidas na atualidade, dos conceitos do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) e principalmente do acompanhamento do processo de montagem das janelas de ônibus urbano. Sendo assim então, a partir da escolha da metodologia projetual adequada, seguiu-se com a aplicação detalhada dessa, sendo que a mesma apontou para a fabricação de um dispositivo que permite que a aba da borracha de vedação seja dobrada com facilidade, permitindo o fácil encaixe da janela na estrutura do ônibus urbano. Demonstrou-se também a grande utilidade dos conceitos do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly), sendo que o mesmo permite uma otimização de todo o processo produtivo, como redução do número de peças, utilização de peças com várias funções simultâneas entre outras vantagens. O dispositivo proposto foi modelado com o auxílio do Solid Works 2010, sendo demonstrado, através de desenhos e da análise dos portadores da função principal, que o mesmo é uma solução útil e simples e que desempenha a função para a qual foi projetado.

Palavras-chave: Janelas; Metodologias de Projeto; Montagem; Ônibus urbano; Perfil de borracha.

ABSTRACT

This work mainly aims at the analysis of the assembly process of the windows urban bus and from there, then the presentation of a proposal of guidelines for improving the assembly process of urban bus window. The current process of mounting the windows of city bus is characterized by being manual, and employees need to perform excessive effort to perform this task, and as a result, there is high employee turnover in the industry, absenteeism, time high production and risk of damage to the components of the window. In the contemplation of the present work , a study was conducted of key technical standards and resolutions dealing with the manufacture and assembly of components of urban bus window, methodologies projetuais more widespread today, the concepts of DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) and especially the monitoring of the assembly process of urban bus windows. So then , from the projective appropriate choice of methodology , followed by applying this detailed being pointed out that the same manufacturing a device which allows the flap to be folded gasket with ease , allowing easy fitting window in the structure of urban bus.It was also demonstrated the usefulness of the concepts of DFMA (Design for Manufacturing and Assembly), and that it allows an optimization of the entire production process, such as reducing the number of parts, use of parts with different functions simultaneously among other advantages. The proposed device was modeled with the aid of Solid Works 2010, and demonstrated, through drawings and analysis of carriers of the main function , that it is a simple and useful solution that performs the function for which it was designed .

Keywords: Windows; Methodologies Project; Assembly; City Bus; Recast.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa do trabalho	2
1.2	Metodologia de pesquisa.....	2
1.3	Objetivo Geral	2
1.3.1	Objetivos específicos	2
1.4	Estrutura do trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Metodologias projetuais	4
2.1.1	Metodologia projetual proposta por Mike Baxter	6
2.1.2	Metodologia projetual proposta por Nelson Back.....	7
2.1.3	Metodologia projetual proposta por Pahl e Beitz	10
2.2	Ônibus urbano	34
2.2.1	Ônibus urbano básico	34
2.2.2	Ônibus padron	35
2.2.3	Ônibus articulado.....	35
2.3	Legislação	36
2.3.1	Resolução Contran nº 316	36
2.4	Projeto, Manufatura e Montagem (DFMA)	39
2.5	Engenharia simultânea	41
3	DESENVOLVIMENTO PARA MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM	43
3.1	Componentes de janela de ônibus urbano.....	43
3.2	Tipos de janela de ônibus urbano.....	45
3.3	Fabricação dos componentes da janela do ônibus urbano	46
3.4	Processo de montagem da janela de ônibus urbano	51
3.5	Esclarecimento do problema e elaboração da lista de requisitos	54
3.6	Procedimento de abstração.....	55
3.7	Elaboração da função global e estrutura de funções	57

3.9	Concretização em variantes de concepção	65
3.10	Avaliação das variantes V1 e V2	68
3.11	Anteprojeto.....	71
3.11.1	Identificação dos requisitos determinantes da configuração	71
3.11.2	Portadores da função principal	72
3.11.3	Esboço da configuração dos portadores da função principal	72
3.11.4	Seleção de projetos de desenhos mais adequados	75
3.11.5	Esboço dos demais portadores da função principal.....	75
3.11.6	Busca de soluções para as funções auxiliares.....	77
3.11.7	Detalhamento do projeto e modelagem do dispositivo	78
3.11.8	Avaliação do anteprojeto	82
3.12	Análise sob a ótica do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly).....	84
3.13	Resultados e discussões	86
4	CONCLUSÕES	90
	PROPOSTAS DE CONTINUIDADE.....	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
	APÊNDICE A	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos PDP em Engenharia de Produção, Marketing e Design	5
Figura 2 - Processo de desenvolvimento de produtos industriais.....	8
Figura 3 - Fases do projeto	12
Figura 4 - Etapas para a elaboração da lista de requisitos	14
Figura 5 - Linha mestra com características principais	15
Figura 6 - Etapas de trabalho para a fase de concepção	16
Figura 7 - Representação da função global do sistema	17
Figura 8 - Função global para uma máquina de torque	18
Figura 9 - Subfunções para uma máquina de torque	19
Figura 10 - Subfunções para uma máquina de ensaios.....	20
Figura 11 - Combinação de soluções.....	20
Figura 12 - Matriz para verificação de compatibilidade.....	22
Figura 13 - Determinação dos fatores de ponderação	24
Figura 14 - Escala de valores.....	24
Figura 15 - Lista de avaliação completa.....	25
Figura 16 - Etapas de trabalho principais no anteprojeto	26
Figura 17 - Fase do anteprojeto iniciando pela continuação do desenvolvimento de versões anteriores	28
Figura 18 - Lista de verificação	29
Figura 19 - Lista de verificação para avaliação do anteprojeto.....	31
Figura 20 - Fases de detalhamento	33
Figura 21 - Ônibus urbano básico	34
Figura 22 - Ônibus padron.....	35
Figura 23 - Ônibus articulado.....	36
Figura 24 - Janela de ônibus urbano	43
Figura 25 - Componentes denominados perfil	44
Figura 26 - Componentes da janela	44
Figura 27 - Perfil de borracha e vidro temperado.....	45
Figura 28 - Configurações de janela para ônibus urbano	46
Figura 29 - Dobra do perfil de alumínio.....	47
Figura 30 - Soldagem do perfil de alumínio.....	47

Figura 31 - Entalhe no perfil da janela	48
Figura 32 - Acabamento do perfil da janela	48
Figura 33 - Preparação dos vidros	49
Figura 34 - Montagem do perfil de borracha.....	49
Figura 35 - Ajuste das janelas de correr	50
Figura 36 - Preparação final do conjunto	50
Figura 37 - Preparação das laterais.....	50
Figura 38 - Envolvimento do cordão no perfil de borracha	51
Figura 39 - Aplicação de lubrificante	52
Figura 40 - Janela sendo posicionada para montagem	52
Figura 41 - Funcionário puxando o cordão	52
Figura 42 - Pancadas com martelo de borracha.....	53
Figura 43 - Estrutura de função	57
Figura 44 - Subfunções principais	58
Figura 45 - Estrutura de função	58
Figura 46 - Subfunção selecionada.....	60
Figura 47 - Escolha das soluções.....	64
Figura 48 - Vista lateral do esboço da Variante V1	66
Figura 49 - Vista frontal do esboço da Variante V1	66
Figura 50 - Variante V2.....	67
Figura 51 - Árvore de objetivos.....	69
Figura 52 - Esquema de avaliação para atribuição de valores aos parâmetros objetivos.....	70
Figura 53 - Lista de avaliação para as variantes V1 e V2	70
Figura 54 - Esboço 1 do portador da função principal	73
Figura 55 - Esboço 2 do portador da função principal	73
Figura 56 - Posição inicial	74
Figura 57 - Simulação de dobra da aba da borracha.....	74
Figura 58 - Esboço portador da função principal	75
Figura 59- Esboço completo do projeto de forma	76
Figura 60 - Esboço para portador da função auxiliar	77
Figura 61 - Principais etapas de modelagem.....	79
Figura 62 - Montagem do Dispositivo.....	80

Figura 63 - Simulação do funcionamento do dispositivo	81
Figura 64 - Dispositivo e estrutura do ônibus urbano	82
Figura 65 - Avaliação do anteprojeto	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas para montagem da janela	51
Tabela 2 - Tempos de montagem para janela de ônibus urbano	54
Tabela 3 - Linha mestra com lista de requisitos	55
Tabela 4 - Resultado do processo de abstração	56
Tabela 5 - Avaliação das subfunções	59
Tabela 6 - Função global para gabarito de montagem da janela	62
Tabela 7 - Portadores da função principal	76

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, existem várias empresas no Brasil fabricantes de carrocerias de ônibus, tais como a empresa Comil, situada no município de Erechim – RS, região do Alto Uruguai, a empresa Marcopolo, a qual está instalada no município de Caxias do Sul – RS, dentre outras. Ambas produzem ônibus da Linha Urbana, Rodoviária e Micro, realizando ainda a montagem de acordo com a necessidade de seus clientes, sendo que tais produtos são vendidos também para o exterior.

O Brasil vem se destacando na produção de ônibus e caminhões. Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores Anfavea (2011), a produção de ônibus no ano de 2011 alcançou a marca de 47.565 unidades produzidas no ano, ao passo que em 2010 foram produzidas 40.530 unidades, sendo que a grande maioria do que foi produzido (41.583) são de veículos urbanos, sendo os outros (5.982) rodoviários. Já a EMTU (2012), afirma que o Brasil é o maior mercado mundial de ônibus, sendo que produz cerca de 50 mil unidades ao ano e também se destaca entre os maiores exportadores mundiais de ônibus.

No entanto, devido aos inúmeros processos de fabricação e parâmetros envolvidos na montagem de um ônibus, muitos desses processos se caracterizam por ser de forma um tanto artesanal, ou seja, não existem equipamentos ou dispositivos específicos ou automatizados para a montagem de certos tipos de conjuntos ou peças, um exemplo disso é a montagem das janelas dos ônibus da linha urbana.

Dessa forma, as empresas sempre estão na busca de novas soluções, realizando pesquisas e desenvolvendo projetos que minimizem esses problemas. No entanto, na maioria das vezes, tais projetos têm como fator limitante os custos, sendo que inúmeras vezes se consome tempo em soluções que não demonstram resultados expressivos.

Na análise desses processos que envolvem a fabricação e a montagem de ônibus e seus componentes, observou-se que inúmeros processos são ainda de forma artesanal, influenciando diretamente na produtividade e nas questões operacionais. No entanto, a presente dissertação abordará apenas um problema entre os inúmeros existentes, sendo esse o processo de fabricação e montagem das janelas de ônibus urbano.

1.1 Justificativa do trabalho

A motivação do presente trabalho deu-se principalmente pelo fato de que o processo de montagem das janelas do ônibus da linha urbana é realizado com dificuldade, ou seja, caracteriza-se por ser totalmente manual, pois para tal é necessário que os funcionários exerçam esforço em excesso para encaixar a janela na estrutura do ônibus. Ainda assim são necessários três funcionários para realizar a montagem de cada janela, sendo que há elevada rotatividade nesse setor, bem como tempos de montagem excessivos e riscos de danos aos componentes da janela, sendo que para a montagem, utiliza-se martelo de borracha e outras ferramentas, as quais podem danificar os vidros, ou deformar os componentes da janela.

1.2 Metodologia de pesquisa

Para a realização de uma pesquisa científica, existem inúmeras metodologias que podem ser empregadas, sendo que isso depende principalmente da abordagem a ser realizada. No caso em questão, foi realizada a análise do processo atual de montagem das janelas de ônibus urbano, com posterior coleta de dados, sendo após aplicados métodos para o desenvolvimento de produtos e análise das mudanças que podem ser realizadas no processo atual a partir da utilização de metodologias de projeto específicas.

1.3 Objetivo Geral

- Propor diretrizes para a melhoria no processo de montagem de janela de ônibus urbano.

1.3.1 Objetivos específicos

- Identificar as Metodologias Projetuais mais difundidas na atualidade.
- Aplicar metodologia projetual específica e de maneira adequada.
- Verificar as normas e resoluções que tratam da montagem e fabricação de ônibus urbano e seus componentes.
- Analisar o processo de montagem de janelas de ônibus urbano.
- Propor novas diretrizes para a montagem das janelas de ônibus urbano.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos. Após a introdução, segue um capítulo com a revisão bibliográfica, abordando as Metodologias Projetuais existentes e mais difundidas atualmente no desenvolvimento de novos produtos, bem como a legislação vigente que trata de aspectos relativos à fabricação e montagem de ônibus e seus componentes. Além disso, é realizada uma abordagem quanto aos modelos de ônibus urbano existentes no mercado, apresentação dos principais componentes da janela de um ônibus urbano, modelos de janela e a apresentação do processo de fabricação das peças que compõem a janela e o procedimento de montagem.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para a contemplação do presente trabalho, bem como toda a parte de desenvolvimento, momento onde a metodologia projetual selecionada é aplicada sistematicamente em busca de soluções para o atendimento da função global. Também nesse capítulo discute-se a solução encontrada, levando em consideração os pontos fortes e pontos fracos, sendo que para os pontos fracos são propostas melhorias. Destaca-se ainda no capítulo três a modelagem do dispositivo em software específico e o detalhamento da solução, além da avaliação do anteprojeto, momento em que se avalia o projeto concebido do ponto de vista técnico e econômico.

O capítulo quatro apresenta as conclusões do trabalho, sendo que essas levam em consideração o atendimento aos objetivos gerais e específicos, além de propostas para continuidade do trabalho e possíveis melhorias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o intuito de resgatar o que diversos pesquisadores já desenvolveram e que pode fundamentar o desenvolvimento desta dissertação, a seguir são apresentadas informações relevantes.

2.1 Metodologias projetuais

Nos últimos anos inúmeras metodologias projetuais surgiram devido a sua importância para a implementação de sistemas inteligentes de projeto auxiliado por computador (*Intelligent Computer Aided Design System*). Ao lado dessas, pode-se reconhecer metodologias já clássicas, formadas sem considerações acerca de sua implementação em ambientes computacionais. Finalmente há metodologias de Projeto Conceitual, que são propostas de adaptações de algumas metodologias clássicas para sua transferência para sistemas computacionais (ALMEIDA, 2000).

Segundo Pahl et al. (2005), entende-se por Metodologia Projetual um procedimento planejado com indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos, sendo que resultaram de conhecimentos na área de ciência de projeto, bem como da psicologia cognitiva e também das experiências com diferentes aplicações.

A atividade projetual necessita do uso de métodos sistemáticos, os quais traçam objetivos de forma clara, concisa, específica e verificável para a resolução de um determinado problema, os quais devem ser revistos periodicamente (BAXTER, 2003).

Para Pahl et al. (2005), o projeto metódico possibilita a racionalização eficaz do processo de projeto e produção. Nos projetos novos os procedimentos coordenados e progressivos, inclusive nos níveis mais abstratos, possibilitam a geração de documentação reaproveitável das soluções. De acordo com os autores, uma Metodologia Projetual deverá:

- Possibilitar um procedimento orientado por problemas, sendo que poderá ser aplicada em qualquer atividade de projeto, independentemente da especialidade;
- Incentivar invenções e conhecimentos;
- Ser compatível com conceitos, métodos e conhecimento de outras disciplinas.
- Não gerar soluções somente por acaso;

- Permitir fácil transferência das soluções de tarefas semelhantes;
- Ser apropriada para ser utilizada no computador;
- Ser possível de ser ensinada e aprendida;
- Facilitar o planejamento e o controle do trabalho;
- Ser orientação e diretriz para os gerentes de projeto de equipes de desenvolvimento. (PAHL ET AL., 2005)

Alguns modelos referenciais são oferecidos por áreas que tem como objeto de estudo o processo de desenvolvimento de produtos (PDP), sendo que diversos autores apresentam ainda muitos modelos de referência, advindos das áreas de Marketing, Engenharia de Produção e Design, conforme Figura 1.

Clark e Fujimoto (1991)	krishnan e Ulrich (2001)	Pahl e Beitz (2005)	Kaminski (2000)	Crawford (2000)	Kotler (1998)	Bonsiepe (1984)
Conceito	Desenvolvimento do Conceito	Especificação de Projeto	Especificação da Necessidade	Identificação de Oportunidades	Geração de idéias	Problematização
Planejamento do Produto	Projeto da Cadeia de Suprimentos	Concepção de Projeto	Estudo de Viabilidade	Geração de Conceito	Triagem de Idéias	Análise
Engenharia do Produto	Desenvolvimento do Produto	Projeto Preliminar	Projeto Básico	Avaliação de Projeto	Desenvolvimento e Teste	Definição do Problema
Projeto do Processo	Teste e Validação de Desempenho	Projeto Detalhado	Projeto Executivo	Desenvolvimento Técnico	Estratégia de Marketing	Anteprojeto
Produção Piloto	Lançamento		Planejamento Produção	Lançamento	Análise Comercial	Avaliação
			Execução		Desenvolvimento	Realização
					Teste de Mercado	Análise Final
					Comercialização	

Figura 1 - Modelos PDP em Engenharia de Produção, Marketing e Design

Porém quando se analisa em detalhes cada um dessas metodologias, verifica-se a tendência de algumas delas se direcionarem a outros caminhos, como, por exemplo, metodologias com foco em design, onde se utiliza muito a criatividade. Em outras metodologias verifica-se maior foco na questão de custos e mercado, enquanto que algumas são indicadas exclusivamente para o projeto de sistemas técnicos mecânicos como é o caso do método proposto por Pahl et al. (2005). A seguir serão abordadas as metodologias projetuais de maior utilização.

2.1.1 Metodologia projetual proposta por Mike Baxter

Para Baxter (1998), é necessário que seja gerado o maior número de conceitos possível para que se possa fazer a seleção do conceito mais adequado para o projeto. Após o levantamento de todas as informações pertinentes, o conceito é gerado, sendo o mesmo feito a fim de reduzir o problema do projeto conceitual aos seus elementos básicos valendo-se de métodos para avaliar diferentes características, possibilitando com isso um grande número de alternativas possíveis.

Segundo Baxter (1998), é observado ainda a interação do produto com o usuário, ou seja, é observado como o usuário interage com o produto, sendo que a ergonomia e a antropometria são levadas em consideração na análise dessa tarefa como parâmetros que norteiam esta etapa do projeto de desenvolvimento do produto. São apresentadas ainda diversas ferramentas que auxiliam na geração de conceitos, sendo que uma etapa envolve a análise das funções do produto. Na análise da função do produto, é estabelecida a sua função principal a partir de questões sobre como executar a tarefa, sendo que, através das respostas obtidas, pode-se iniciar a geração do conceito.

Também é utilizada nessa metodologia a análise do ciclo de vida do produto, considerando-se todo o processo envolvido, desde a entrada da matéria prima até o seu retorno à fábrica, ou seja, o ciclo fechado (MELLO, 2011). Após a avaliação das funções do produto, é realizada uma discussão a respeito da morfologia e semiótica do produto, utilizando-se para isso imagens a partir de painel iconográfico, sendo que tais imagens devem traduzir como o produto deve ser interpretado pelo público alvo (MELLO, 2011).

Baxter (1998) esclarece que se segue para a última etapa com a reunião dos conceitos mais adequados ao projeto, sendo esses gerados a partir das ferramentas descritas anteriormente. Em seguida, reúne-se os melhores conceitos, faz-se uma análise comparativa relacionando pontos fortes e pontos fracos e com isso as informações são mescladas. Destaca-se também que outra ferramenta utilizada para a elaboração do conceito é a análise de valor, focando a percepção do valor tanto por parte da empresa, como por parte do usuário que adquire o produto. Importante salientar também que a análise de valor é importante, pois serve também para avaliar aspectos relevantes da logística.

Baxter (1998) aborda questões que tratam do planejamento, da gestão e do negócio da empresa, sendo que o autor destaca também a questão de design, integrando-o como um

elemento do sistema de gestão organizacional. Se comparado a outras metodologias projetuais, o projeto se inicia apenas na fase da definição das tarefas, possibilitando com isso um retorno maior para o investimento realizado, o que traz maiores contribuições para o processo.

De acordo com Mello (2011), o método proposto por Baxter destaca alguns pontos que são importantes para o sucesso ou fracasso do produto no mercado e que estão relacionados com o desenvolvimento do produto:

- Orientação pelo mercado;
- Elaboração de estudos de viabilidade e especificação;
- Qualidade de desenvolvimento.

Destaca-se ainda que o método proposto por Baxter é fechado, pois não indica ações que envolvam ergonomia e venda, levando em consideração ainda que o projeto conceitual e o projeto detalhado são pouco explorados (MELLO, 2011).

2.1.2 Metodologia projetual proposta por Nelson Back

Todo projeto de engenharia se trata de uma atividade que é orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente aquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura (BACK ET AL., 2008).

O estudo de projeto de produtos vem sendo amplamente utilizado nas indústrias, as quais estão inseridas com muito sucesso no mercado de trabalho, que está cada vez mais competitivo. Sendo assim então, o produto é projetado a partir de modelos que evoluem gradativamente até a forma final. Exemplo disso é um modelo o qual por ser mais completo e detalhado, substitui outro mais simples e abstrato até a viabilização física do objeto projetado (PINZON, 2009).

Segundo Pinzon (2009), o projeto de um componente ou um sistema mecânico apresenta em cada caso características próprias. No entanto, na medida em que o projeto tem início, ocorre uma série de eventos, sendo que tais obedecem a uma ordem, formando com isso um modelo, o qual será sempre comum em todos os projetos desenvolvidos.

De acordo com Back et al. (2008), as fases pelas quais passa o projeto de produtos podem ser estabelecidas de diferentes formas, com maior ou menor grau de detalhes. Considerando o modelo desenvolvido pelo autor, tem-se as seguintes fases:

- Planejamento do Projeto – Projeto Informacional – Projeto Conceitual – Projeto Preliminar – Projeto Detalhado – Preparação da Produção – Lançamento – Validação.

O Modelo Proposto por Back et al. (2008) para o desenvolvimento de produtos industriais pode ser visualizado na Figura 2.

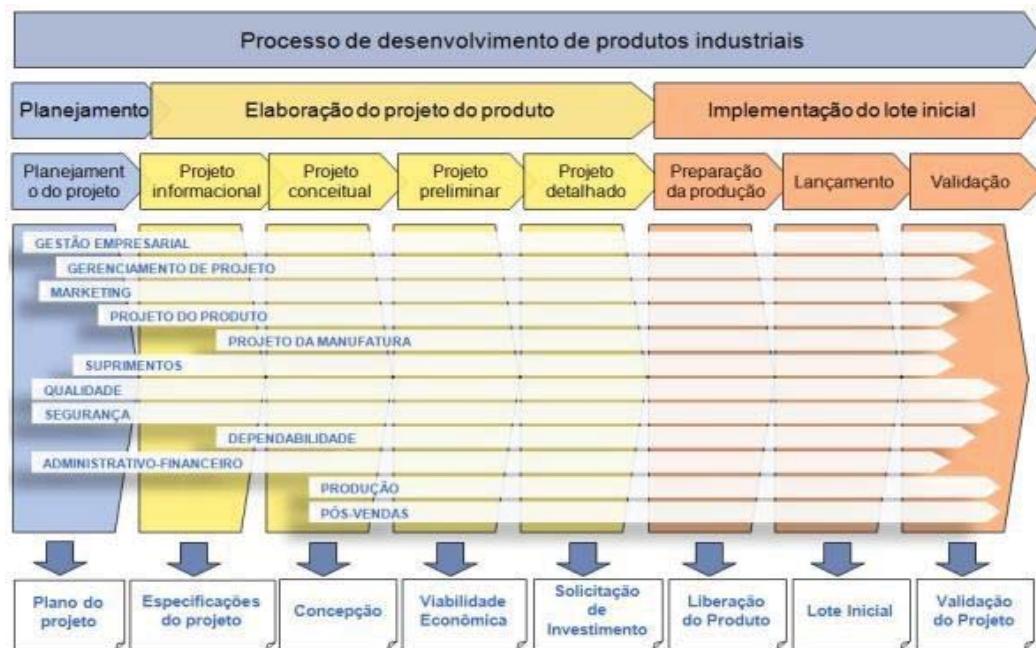


Figura 2 - Processo de desenvolvimento de produtos industriais
Fonte: Back et al., 2008, p.205

Os princípios metodológicos projetuais, segundo Back et al. (2008), apoiam-se nos princípios da engenharia simultânea e no gerenciamento de projetos, sendo este dividido em três macrofases: planejamento do projeto, elaboração do projeto do produto e implementação do lote piloto. As macrofases decompõem-se em oito fases, sendo que, ao final de cada fase, o resultado é sempre avaliado, permitindo que sejam detectados possíveis erros e, se necessário, possa-se corrigi-los e enfim dar seguimento para a próxima fase. Cabe ressaltar que as fases são importantes pelo fato de que muitas vezes é necessário analisar se deve-se dar seguimento ao projeto ou abandoná-lo.

Segundo Paula (2011), a primeira fase de projeto de Back é o **planejamento do projeto**. Dependendo das estratégias de negócio da empresa, ocorre a abertura de um novo projeto, sendo que o planejamento de marketing é iniciado e aprovado. A declaração do escopo de projeto é elaborada com informações relevantes, tais como a justificativa e restrições, projeto, objetivos do projeto, característica do produto que será desenvolvido,

decomposição do projeto e avaliação dos riscos para áreas envolvidas na organização. Como resultado disso, tem-se o plano de projeto, o qual será orientador para as demais fases do processo de desenvolvimento.

A segunda fase é o **projeto informacional**, onde são definidas as especificações de projeto do produto. Na primeira atividade dessa fase, ocorre a identificação das necessidades e dos requisitos dos clientes. A partir desses requisitos, são elaborados os requisitos de projeto do novo produto, considerando as características funcionais, ergonômicas, de segurança, de modularidade, estéticos e legais (PAULA, 2011). Findada essa fase, é realizada uma avaliação econômico-financeira e o plano do projeto é atualizado como requisito para a próxima fase.

Na próxima fase é preciso estabelecer a estrutura funcional do produto, portanto essa fase é denominada de **projeto conceitual**. Nessa fase, é definida a função global e as subfunções ou funções elementares do produto. Através de uma análise comparativa das especificações do projeto, do custo meta, riscos de desenvolvimento, das metas de qualidade, de segurança, entre outras, consegue-se conceber o novo produto. Nessa fase também se pode definir os possíveis processos de fabricação, prazos com fornecedores para desenvolvimento do projeto preliminar e detalhado das subfunções especificadas na estrutura funcional.

A fase de **projeto preliminar** é uma fase em que deve ser tomada uma decisão final sobre um determinado conceito para o projeto, ou seja, é nesse momento que se estabelece qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção para o projeto.

Para Paula (2011), nessa fase deve-se conhecer dimensões, formas, posição, material, segurança, ergonomia e manufatura, além dos componentes a serem utilizados e dos processos de fabricação envolvidos para que o produto atenda às necessidades do mercado. Logo em seguida, inicia-se o desenvolvimento do plano de fabricação, o teste de protótipo e a definição da estrutura preliminar do produto.

Na fase de **projeto detalhado** geralmente o protótipo é testado e aprovado, são realizadas as especificações finais do produto e o detalhamento do plano de manufatura. Também pode ser um momento para abandono do projeto.

Já na **preparação para a produção**, os recursos necessários para a fabricação são obtidos, ou seja, envolve atividades como liberação de ferramental, compra, recebimento, teste e preparação de máquinas e dispositivos, bem como ferramentas para implementação da linha de produção. Após a produção do primeiro lote, o mesmo é avaliado e são realizados testes para certificação e homologação do produto.

A fase de **lançamento do produto** inicia-se com a produção do lote inicial, que atenderá às primeiras solicitações dos clientes. A produção começa a ser acompanhada para verificar os padrões de qualidade e se o produto está conforme definido no escopo do projeto (PAULA, 2011). Na última fase, de **validação do produto**, o projeto é encerrado, sendo realizada a avaliação da satisfação do cliente, o monitoramento do desempenho do produto, entre outras informações relevantes as quais permitem a validação final.

2.1.3 Metodologia projetual proposta por Pahl e Beitz

A metodologia projetual proposta por Pahl et al. (2005) reflete a linha de pesquisa básica alemã na área de projeto de produtos, sendo o processo do projeto dividido em quatro etapas principais: Classificação das necessidades, Projeto conceitual, Projeto preliminar e Projeto detalhado.

Segundo Mello (2011), a metodologia proposta por Pahl et al. (2005), propõe bases para se desenvolver um sistema de projeto auxiliado por computador, aplicado à fase de projeto conceitual. Devido a isso, há uma enorme necessidade da criatividade por parte do projetista, concluindo assim que há grande influência dessa capacidade criadora ao final do projeto.

Os produtos ou sistemas técnicos não operam isoladamente, sendo que, em geral, fazem parte de um sistema superior e, para cumprir sua função, o sistema frequentemente envolve pessoas que o influenciam por meio de suas atuações de operação, correção e monitoramento. Então, durante tais intervenções, experimentam sinais que os conduzem a novas ações e com isso auxiliam e possibilitam efeitos da finalidade do sistema técnico (PAHL ET AL., 2005).

Assim, é necessário dois tipos de conhecimento por parte do projetista, sendo um deles o conhecimento das soluções técnicas e o outro o conhecimento do processo de projeto. Dessa forma, durante a concepção, o projetista utiliza toda a sua capacidade intelectual e diversificações de conhecimentos, abrindo mão constantemente de sua experiência pessoal e criativa (MELLO, 2011).

Na metodologia proposta por Pahl et al. (2005), a abordagem torna-se bem mais técnica, ou seja, são vinculadas diretamente às características do projeto de produtos na Engenharia, sendo que chama muita a atenção o fato de a fase de concepção do projeto ser detalhada, com representação dos fluxos de projeto.

Porém, por outro lado, há questões um tanto desfavoráveis, assim como em outros métodos, sendo que para a metodologia de Pahl et al. (2005) não ocorre a abordagem do mercado, nem leva em consideração as questões ligadas à gestão e às estratégias, ou seja, é um método um tanto “fechado” (ALMEIDA, 2000).

Para Pahl et al. (2005), a situação existente no início do planejamento de um produto envolve muitos aspectos que precisam ser esclarecidos, sendo que isso é feito na fase Análise da Situação. As duas primeiras subfases, Identificação da Fase do Ciclo de Vida e Elaboração da Matriz Produto-mercado, referem-se ao portfólio de produtos da empresa. São subfases importantes para reconhecer a posição atual dos produtos oferecidos pela empresa ao mercado e possibilitar o balanceamento dos ciclos de vida. A subfase seguinte, Identificação da Própria Competência, consiste na busca das razões para a posição atual, por meio do levantamento das forças e fraquezas da empresa. As duas atividades finais desta fase focalizam a captação do estado atual da tecnologia e a prospecção das possibilidades de desenvolvimento futuro.

A fase subsequente, Formulação de Estratégias de Busca, tem a finalidade de identificar oportunidades estratégicas, coerentes com os objetivos da empresa, considerando as informações obtidas na fase anterior e a dinâmica do mercado, como o surgimento e desaparecimento de demandas e tendências. O resultado final esperado desta fase é a definição de um campo de procura, no qual será focada a busca de ideias para novos produtos (ALMEIDA, 2000).

Para Pahl et al. (2005), cada etapa é constituída por uma lista de atividades e objetivos, os quais deverão ser atingidos, quando então o processo é findado com a documentação do produto e a respectiva solução.

O detalhamento dessas ações é muito importante, pois permite um acompanhamento mais adequado no andamento do projeto, assim colaborando para que nenhuma atividade fique de lado (MELLO, 2011).

Na Figura 3, visualiza-se as principais etapas da metodologia projetual proposta por Pahl et al. (2005), sendo que em resumo as fases são: definição da tarefa, concepção, Projeto preliminar e Projeto detalhado.

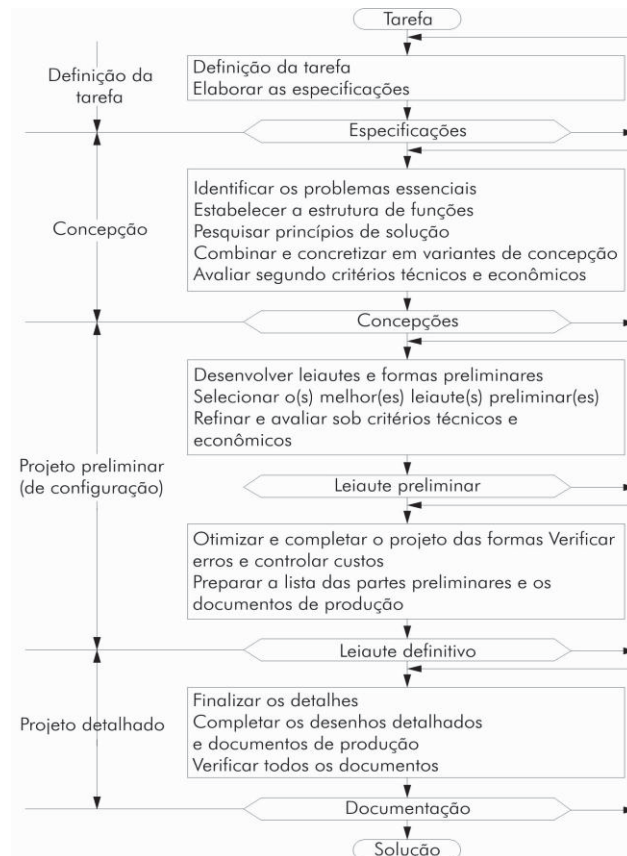


Figura 3 - Fases do projeto
 Fonte: Phal et al., 2005, p.90

De acordo com Mello (2011), o fluxograma apresenta idas e vindas, sendo realimentado constantemente entre as ações. O processo é dinâmico e está em constante construção, porém tal método não leva em conta os assuntos relativos ao mercado, venda de produtos e outros aspectos relacionados à área comercial.

Assim, as quatro fases do modelo refletem a linha de pesquisa básica alemã na área de projeto de produtos.

Cabe ressaltar que essas fases possuem subdivisões, com as respectivas tomadas de decisões entre cada uma das etapas. Nessa metodologia, é necessária a avaliação de cada uma das etapas antes de passar à fase seguinte, ou seja, é uma maneira encontrada de garantir que não se está levando adiante erros cometidos em fases iniciais.

Cada etapa tem uma saída e uma entrada, resultante da realimentação entre elas, o que permite o avanço no processo até a conclusão do produto final. A seguir são apresentadas as principais etapas da Metodologia Projetual, segundo Pahl et al. (2005).

2.1.3.1 Definição da tarefa

A definição da tarefa reúne o maior número de informações possíveis, as quais serão úteis na elaboração da lista de requisitos básicos classificados como obrigatórios e desejáveis. Aqui é o momento em que se pretende definir a função requerida bem como as grandezas de entrada e saída e as perturbações externas ao problema que resultarão na elaboração detalhada das especificações de projeto.

Para Pahl et al. (2005), a base dos trabalhos de desenvolvimento e de projeto é a formulação da tarefa tal como é passada pela área comercial ou por outras áreas responsáveis para a área técnica. Independentemente de a tarefa ser proveniente de uma proposta originada por um planejamento de produto, ou de um pedido concreto de um cliente, é necessário esclarecer essa mesma tarefa em seus detalhes antes de se iniciar um desenvolvimento de produção.

O esclarecimento da formulação da tarefa destina-se à coleta de informações sobre os requisitos colocados ao produto, bem como sobre as condicionantes existentes e sua relevância. O resultado disso é a definição informativa numa lista de requisitos (PAHL et al., 2005).

Enfim, a fase de definição da tarefa é fixar as funções requeridas, as grandezas de entrada e saída, bem como todas as perturbações externas ao problema.

2.1.3.2 Elaboração da lista de requisitos

Para Pahl et al. (2005), a lista de requisitos é realizada em dois estágios, sendo que no primeiro estágio são definidos e documentados os requisitos óbvios. Já no segundo estágio, sempre que necessário, tais requisitos são complementados, ou melhor, detalhados, com o auxílio de métodos apropriados.

Na formulação da lista de requisitos, os objetivos e as condicionantes sob os quais os requisitos devem ser satisfeitos precisam ser destacados claramente. Sendo assim, então, os requisitos assim determinados podem então ser desdobrados em necessidades e vontades. (PAHL ET AL., 2005).

Para Pahl et al. (2005), os requisitos devem ser especificados por indicações numéricas. Se isso não for possível, é preciso que sejam formuladas disposições verbais o mais claro possível. Referências a importantes influências, intenções ou processos de

fabricação também podem ser incluídas na lista de requisitos. Portanto, a lista de requisitos é um índice interno de todas as necessidades e expectativas na linguagem dos setores que irão executar o projeto. Na Figura 4, é possível observar as principais etapas a serem seguidas a fim de elaborar a lista de requisitos.

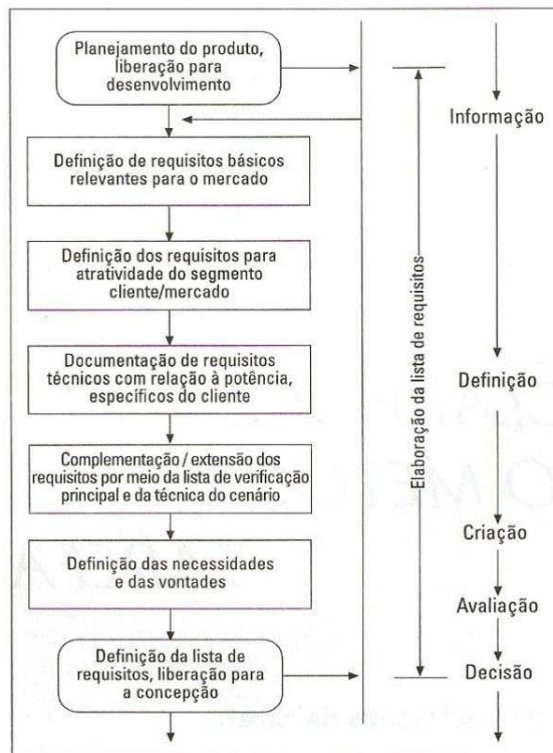


Figura 4 - Etapas para a elaboração da lista de requisitos
Fonte: Phal et al., 2005, p.102

Portanto, para o departamento de desenvolvimento ou projeto, é importante conhecer o cliente e o respectivo segmento de mercado. A base da lista de requisitos é representada pelo pedido firmado com o cliente e os atributos e performances do produto nele acordados. Além disso, pelo aspecto legal, deve-se levar em conta o cumprimento das leis e das normas, bem como a aplicação de diretrizes. (PAHL ET AL., 2005).

Segundo Pahl et al. (2005), a elaboração da lista de requisitos segue as seguintes recomendações:

1. Colecionar requisitos:

- Examinar o pedido do cliente ou a documentação da empresa quanto a requisitos técnicos.

- Com base na linha mestra (Figura 5), com a lista das características principais, definir ou complementar requisitos com indicações quantitativas e qualitativas.
 - Com o auxílio da técnica do cenário, considerar todas as situações durante o ciclo de vida do produto e derivar os requisitos resultantes.
 - Especificar melhor por meio dos seguintes questionamentos:
 - Qual finalidade a solução precisa?
 - Quais atributos ela precisa ter?
 - Quais atributos ela não deve ter?
 - Praticar a aquisição de informações adicionais.
 - Destacar claramente as necessidades e vontades.
 - Classificar as vontades como de alta, média e baixa relevância.
2. Ordenar os requisitos de forma clara:
- Antepor a tarefa principal e os dados característicos principais.
 - Desdobrar por subsistemas identificáveis (também pré-sistemas, pós-sistemas, ou sistemas confinantes), grupos de funções, subconjuntos construtivos ou características principais da linha mestra.
3. Elaborar a lista de requisitos em impressos e enviar aos setores envolvidos, portadores de licença, gerência, etc.
4. Examinar as objeções e suplementações e incorporar à lista de requisitos.

Característica principal	Exemplos
Geometria	Tamanho, altura, largura, comprimento, diâmetro, demanda de espaço, quantidade, disposição, conexão, supressão e ampliação
Cinemática	Tipo de movimento, direção do movimento, velocidade, aceleração
Forças	Magnitude da força, direção da força, frequência da força, peso, carregamento, deformação, rigidez, propriedades elásticas, estabilidade, ressonância
Energia	Potência, eficiência, perdas por atrito, ventilação, variáveis de estado, como pressão, temperatura, humidade, aquecimento, resfriamento, energia de abastecimento, armazenamento, capacidade, conversão de energia
Matéria	Propriedades físicas e químicas do produto de entrada e saída, material auxiliar, substâncias prescritas (lei de alimentos e semelhantes), fluxo de material e transporte
Sinal	Sinais de entrada e saída, tipo de mostrador, aparelhos para produção e monitoramento, forma do sinal
Segurança	Princípios de segurança diretos, sistemas protetores, segurança industrial, segurança no trabalho, segurança ambiental
Ergonomia	Relação homem-máquina: operação, tipos de operação, disposição clara, iluminação, desenho
Produção	Limitações do local da produção, máxima medida fabricável, processo produtivo preferido, meios de produção, qualidade possível e tolerâncias
Controle de qualidade	Possibilidades de teste e medição, prescrições especiais (TÜV, ASME, DIN, ISO, especificações AD)
Montagem	Prescrições especiais de montagem, montagem, embutimento, montagem do canteiro de obras, bases de equipamentos
Transporte	Limitações através de guinchos, bitola ferroviária, vias de transporte por tamanho e peso, tipo e restrições do transporte
Operação	Baixo ruído, taxa de desgaste, aplicação e domínio de utilização, condições de uso (atmosfera sulfurosa, trópicos)
Manutenção	Livre de revisão ou número e intervalo de tempo entre revisões, inspeção, troca, conserto, pintura, lavagem
Reciclagem	Reaproveitamento, reprocessamento, disposição final, armazenamento
Custos	Máximos custos de fabricação, custo de ferramentas, investimento, amortização
Prazo	Fim do desenvolvimento, plano em rede para etapas intermediárias, prazo de entrega

Figura 5 - Linha mestra com características principais

Fonte: Phal et al., 2005, p.105

Dessa forma, se a tarefa estiver suficientemente esclarecida e os participantes concordarem que as exigências técnicas e econômicas poderão ser atendidas, o projeto poderá iniciar após a definição da lista de requisitos e a liberação para a concepção.

2.1.3.3 Concepção

Segundo Pahl et al. (2005), o projeto conceitual exige a aplicação do conhecimento e da inteligência sendo que esta deve ser sistematizada, visando à aplicação do computador, para que seja possível a integração com as demais fases do projeto do produto, bem como a integração do processo global de projeto com as demais fases de produção de um produto.

A fase de projeto conceitual deve ser sistematizada, organizada e sequenciada, sendo assim é possível libertá-la da exigência da genialidade humana, possibilitando com isso a utilização de sistema computacional integrado.

Na Figura 6, são apresentadas as etapas de trabalho para a fase de concepção, após serem esclarecidos os problemas através da lista de requisitos.



Figura 6 - Etapas de trabalho para a fase de concepção
Fonte: Phal et al., 2005, p.112

Visto que os problemas essenciais são identificados, que as estruturas funcionais encontram-se estabelecidas e dispondo dos princípios de soluções apropriados, o caminho de uma solução básica é traçado através da elaboração de uma solução conceitual. Tendo o problema central formulado, é possível indicar uma solução global. O detalhamento da função global corresponde ao passo de estabelecimento da estrutura de funções (PAHL ET AL., 2005).

Deve-se descrever de forma sucinta a função global do sistema, sendo esta feita a partir das especificações de projeto obtidas. Na função global, tem-se a declaração da função do sistema, sem qualquer detalhe que trate diretamente de soluções ou como tais soluções serão obtidas.

Para Pahl et al. (2005), uma função pode ser entendida como uma relação entre entrada e saída do sistema técnico com o propósito de realizar uma determinada tarefa. Para Back (2008), a função global é definida como sendo uma relação entre causa e efeito das grandezas de entrada e saída.

Sendo assim, nessa etapa é preciso estabelecer relações entre os sistemas, ou seja, é preciso especificar as interfaces com sistemas técnicos, interface com o meio ambiente e com o usuário. Na Figura 7, pode ser observado um exemplo clássico para a função global, destacando-se claramente as entradas e saídas do sistema (PAHL ET AL., 2005).



Figura 7 - Representação da função global do sistema
Fonte: Pahl et al., 2005, p.120

Dessa forma, identificada a função global do sistema, é necessário o desdobramento da função global em subfunções, sendo que muitos pesquisadores denominam de funções elementares do sistema. Cabe ressaltar que, dependendo da complexidade da tarefa a ser solucionada, a função global resultante também será mais ou menos complexa.

Sendo assim, então, entende-se por complexidade o grau de transparência das relações entre entrada e saída, a multiestratificação dos processos físicos necessários, bem como o número final de subconjuntos e peças avulsas envolvidas (PAHL ET AL., 2005). Em inúmeros casos, a função global pode ser imediatamente desdobrada em subfunções

reconhecíveis, às quais corresponderão a subtarefas dentro da tarefa global. Nesse caso, a relação das subfunções na função global frequentemente está sujeita a um regime forçado, uma vez que determinadas subfunções necessitam estar satisfeitas antes que outras possam ser apropriadamente ativadas.

Segundo Pahl et al. (2005), uma função global pode ser desdobrada em subfunções de menor complexidade. A interligação das subfunções resulta na estrutura de funções, a qual representa a função global do sistema. Na interligação das funções, formula-se por meio de funções específicas da tarefa, sendo o objetivo principal dessa etapa:

- A simplificação do desdobramento das funções global para a subsequente busca de soluções;
- A interligação destas subfunções numa estrutura de função simples e não ambígua.

Pahl et al. (2005) ressaltam também que em casos de projetos inovadores, nos quais as subfunções são geralmente desconhecidas, bem como as suas interligações, a busca e a constituição de uma estrutura de funções otimizada fazem parte de subetapas mais importantes da etapa de concepção. No caso de projetos adaptativos, a estrutura da construção com os seus subconjuntos e elementos específicos é amplamente conhecida. Sendo assim, a estrutura de funções pode ser elaborada por meio de análise do produto cujo desenvolvimento se pretende continuar, sendo que tal estrutura pode ser alterada de acordo com os requisitos especiais da lista de requisitos, por variação, acréscimo ou eliminação de subfunções específicas e alterações das interligações.

Cabe ressaltar ainda que em sistemas técnicos não há funções mais importantes e menos importantes, todas as funções são importantes, pelo fato de serem todas necessárias, funções que não são necessárias ou são supérfluas devem ser eliminadas (PAHL ET AL., 2005). Na Figura 8, visualiza-se a função global para uma máquina de ensaio e, na Figura 9, as subfunções.

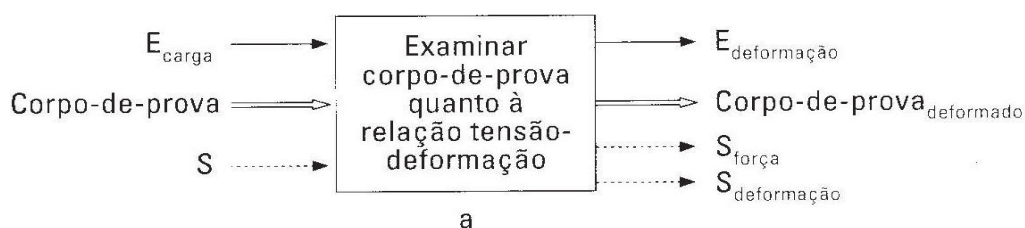


Figura 8 - Função global para uma máquina de torque
Fonte: Pahl et al., 2005. P.120

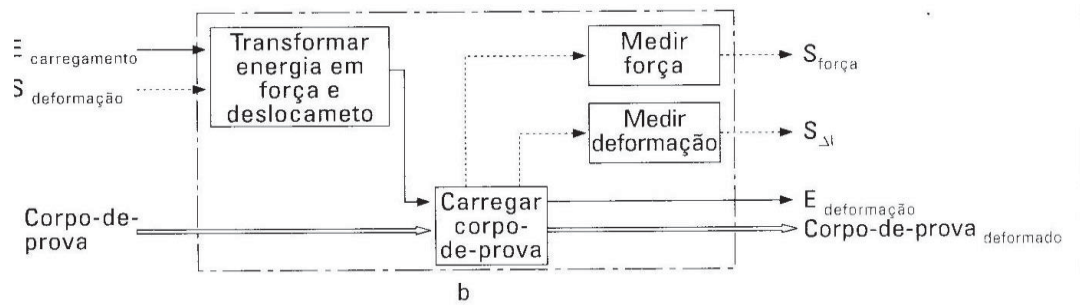


Figura 9 - Subfunções para uma máquina de torque
 Fonte: Phal et al., 2005, p.120

Especificadas as subfunções, é preciso que sejam encontrados princípios de funcionamento que posteriormente serão combinados na estrutura de funcionamento, a qual, suficientemente materializada, tornará identificável a solução básica (princípio de solução). Então, para atender à função, o princípio de funcionamento inclui o necessário efeito físico, bem como as suas características geométricas e materiais.

Em muitas tarefas não é necessária a busca de um novo efeito físico, pois a problemática está no encorporamento e com frequência fica complicado separar mentalmente o efeito físico das características geométricas e materiais, por isso, geralmente, busca-se por princípios de funcionamento que incluam o efeito físico e as necessárias características geométricas e materiais. (PAHL ET AL., 2005). Tais ideias preliminares sobre o tipo de encorporamento da estrutura de funcionamento normalmente são representadas por um esboço do princípio ou, no caso de representarem a solução básica pela estrutura da construção, por um esboço manual aproximado em escala.

Enfim, essa etapa deverá conduzir à busca de variantes de soluções. Um campo de soluções pode ser formado por variação tanto dos efeitos físicos, como também das características geométricas e materiais. Para atendimento de uma subfunção, podem estar ativos diversos efeitos físicos em um ou mais portadores da função. (PAHL ET AL., 2005). Na Figura 10, é possível identificar as possíveis soluções para o problema.

Solução Subfunção	1	2	3	4	5
A Gerar movimento de rolamento e deslizamento	Manivela	Mecanismo senoidal	Mecanismo da manivela - balancim	Chapa inclinada	Mecanismo de rolos
B Gerar força normal	Mola	Braço de alavanca	Princípio Sirex Petim giratório	Circuito hidráulico do pulso	Circuito hidráulico do pulso
C Aplicar força normal	Guia plana	Cápsulas esféricas	Correia elástica	Cilindro hidráulico	
D Medir força normal	Extensômetro na trajetória da força	Registro da força com sensor ôhmico	Registro da força com sensor indutivo	Registro da força com sensor capacitivo	
E Medir o atrito	Extensômetro + braço de alavanca no elemento a ser medido	Registro da força com extensômetro incorporado + braço de alavanca	Registro da força por meio da armadura transversal induzida	Extensômetro direto no eixo	Sensor de torque
F Medir temperatura	Condutor resistivo (Ot 100 etc.)	Resistência NTC	Resistência PTC	Elemento térmico	

Figura 10 - Subfunções para uma máquina de ensaios
Fonte: Phal et al., 2005, p.125

Dessa forma, a busca por princípios de funcionamento estende-se além dos métodos propostos, ou seja, muitas vezes é preciso análise de sistemas naturais e familiares, pesquisas bibliográficas, bem como método intuitivo. Importante ressaltar que para uma subfunção geralmente surgem inúmeras soluções, sendo então necessária a organização de tais informações, a fim de facilitar a busca de soluções. A Figura 11 demonstra um modelo básico do esquema organizador.

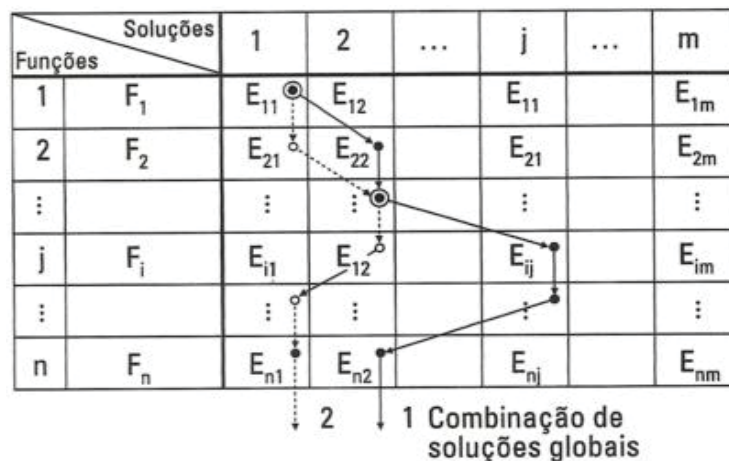


Figura 11 - Combinação de soluções
Fonte: Phal et al., 2005, p.73

Para Pahl et al. (2005), a busca de princípios de funcionamento para subfunções pode ser dada pelas seguintes recomendações:

- Dar prioridade às funções principais, as quais são determinantes na função global e para as quais ainda não há um princípio de solução.
- Derivar critérios classificadores e as correspondentes características de inter-relações perceptíveis do fluxo de energia ou sinal.
- No caso do princípio de funcionamento ser desconhecido, obtê-lo do efeito físico, critério classificador, por exemplo, tipo de energia. No caso do efeito físico estar definido, buscar e variar características geométricas e materiais (geometria de funcionamento, movimento de funcionamento, material).
- Anotar e analisar soluções, mesmo as obtidas intuitivamente e, sobretudo, quais os critérios classificadores que são determinantes para os princípios de funcionamento, em seguida desmembrar estes princípios por novos parâmetros, eventualmente restringindo ou generalizando.
- Registrar propriedades importantes e já reconhecidas dos princípios de funcionamento.

Para satisfazer a função global, é preciso que soluções globais sejam elaboradas a partir dos princípios de trabalho. Para realizar tais escolhas, utiliza-se um método classificador, onde na primeira coluna são inseridas as subfunções a serem satisfeitas e nas linhas correspondentes os princípios de funcionamento encontrados.

Ao utilizar esse esquema, ao menos um princípio de solução terá que ser escolhido para cada subfunção, sendo que essas subsoluções são interligadas em uma função global. O grande problema desse método combinatório é a decisão sobre quais soluções são compatíveis entre si e totalmente isentas de colisões, ou seja, soluções efetivamente combináveis. Dessa forma, o campo de soluções teóricas necessita ser restringido em um campo de soluções realizáveis na prática (PAHL ET AL., 2005). Na figura 12, é possível identificar o método de combinação, o qual gera as subsoluções.

Mudar energia		Motor elétrico	Bobina	Espiral bimetálica em água quente	Pistão hidráulico oscilante	...
		1	2	3	4	...
Mecanismo de quatro articulações	A	Quando A é capaz de girar	Movimento lento	Sim	Ligação auxiliar por alavancas apenas no movimento lento do pistão	...
Transmissão de engrenagem paralela	B	Sim	Baixa rotação somente com elementos extra (roda livre, etc). Difícil especialmente para inversão do sentido rotação	Dependendo do ângulo de giro são suficientes segmentos de engrenagens	Movimento oscilante com cremalheira só com movimento lento do pistão	...
Transmissão de cruz de malta	C	Sim no acionamento cruz de malta normal considerar solavanco	Veja B2	Sim Quando o ângulo de giro for pequeno, alavanca com bloco deslizante	Alavanca com bloco deslizante, somente com movimento lento do pistão	...
Transmissão por rodas de atrito	D	Sim	Veja B2	Grandes forças por causa do torque em movimento lento, posicionamento impreciso	Veja D3	...
...

Muito difícil (com grande esforço) de ser satisfeita (não prosseguir com seu desenvolvimento)
 Somente possível de ser satisfeita sob determinadas condições (reservar)

Figura 12 - Matriz para verificação de compatibilidade
 Fonte: Pahl et al., 2005, p.74

Para Pahl et al. (2005), a identificação de subsoluções compatíveis é facilitada quando:

- As subfunções são dispostas de acordo com a sequência em que ocorrem na estrutura da função eventualmente separadas por fluxo de energia, material ou informação.
- Os princípios de solução são convenientemente ordenados com a ajuda de parâmetros de colunas adicionais, por exemplo, o tipo de energia.
- Os princípios de solução não são indicados apenas por palavras, sendo também indicados por esboços conceituais.
- As propriedades e características mais importantes dos princípios de solução também foram registrados.

Em suma, somente se combina o que for compatível, bem como as soluções que satisfaçam as exigências da lista de requisitos e das quais se espera um volume de trabalho aceitável. Vale lembrar que a verificação da compatibilidade também é facilitada pela elaboração de esquemas ordenadores, ou seja, se duas subfunções a serem interligadas, como, por exemplo, “transformar energia” e “variari componente da energia mecânica”, forem

inseridas entre os títulos das colunas e os títulos das linhas de uma matriz, e registrando as suas características em células apropriadas, a compatibilidade das subsoluções poderá ser verificada com maior facilidade, ou seja, faz com que o exame não fique apenas restrito na mente do projetista.

De acordo com Pahl et al. (2005), a combinação pode ainda ser realizada com o auxílio de métodos matemáticos, sendo que esse método não está restrito apenas para sistemas técnicos, podendo ser utilizado no desenvolvimento de sistemas gerenciais e em outras áreas.

Sendo assim, então, com a continuação do desenvolvimento do produto, as variantes de solução apontadas necessitam ser mais concretas antes da solução final, na qual serão aplicados critérios de avaliação mais detalhados e na medida do possível quantificáveis. Essa avaliação geralmente envolve a atribuição de valores técnicos, ecológicos, econômicos e de segurança. Geralmente quando se trata de sistemas técnicos, a análise de valor e a avaliação técnica e econômica é baseada em Kesselring e na diretriz da VDI 2225 (PHAL ET AL., 2005).

Para formular critérios de avaliação, torna-se necessário identificar a sua importância relativa (peso) para o valor global da solução, para que critérios irrelevantes possam ser eliminados antes de iniciar a avaliação propriamente dita. Sendo assim, os critérios de avaliação extraídos a partir da lista de requisitos são denominados de fatores de ponderação ou peso, que serão levados em conta na avaliação. Um fator de ponderação é um número real e positivo, o qual expressa a contribuição relativa de um critério de avaliação (PHAL ET AL., 2005)

Então, na análise de valores pondera-se com fatores entre 0 e 1 ou 0 e 100, destacando que a soma dos fatores de todos os critérios de avaliação deve ser igual a 1 ou 100. Visando a ponderação, pode-se elaborar uma árvore de metas, conforme se pode verificar na Figura 13.

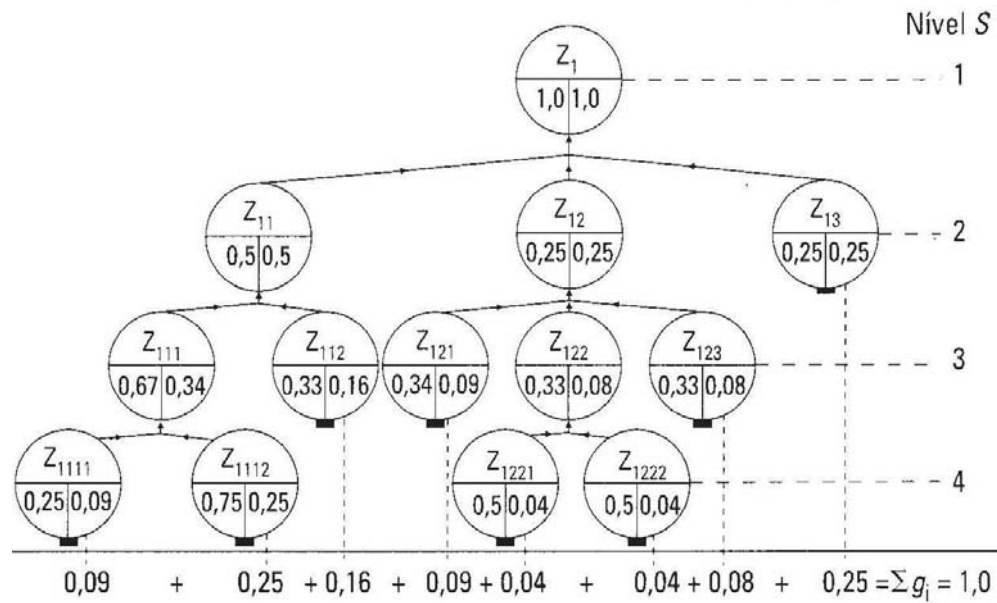


Figura 13 - Determinação dos fatores de ponderação
Fonte: Phal et al., 2005, p.79

Após estabelecer critérios de avaliação e definir sua relevância, na etapa subsequente de avaliação das variantes, os parâmetros conhecidos ou determinados analiticamente são correlacionados com esses critérios. Tais parâmetros podem ser quantificáveis, sendo que se isso não for possível, pode-se realizar asserções verbais. Na Figura 14, é possível observar o procedimento para a atribuição de valores, obedecendo a VDI 2225.

ESCALA DE VALORES			
Pt.	Análise de valor útil Significado	Pt.	Diretriz VDI 2225 Significado
0	Solução absolutamente não utilizável	0	insatisfatória
1	Solução muito deficiente	1	solução ainda sustentável
2	Solução fraca		
3	Solução sustentável		
4	Solução suficiente	2	suficiente
5	Solução satisfatória		
6	Solução boa com poucas falhas	3	boa
7	Solução boa		
8	Solução muito boa	4	muito boa (ideal)
9	Solução excedendo os requisitos		
10	Solução ideal		

Figura 14 - Escala de valores
Fonte: Phal et al., 2005, p.80

É possível verificar que o valor do benefício utiliza-se de uma banda ampla de 0 a 10 pontos. A VDI 2225 utiliza uma banda menor, de 0 a 4 pontos, sendo que a banda de 0 a 10 pontos comprova que um sistema decimal baseado em porcentagens facilita a correlação e subsequente avaliação. No caso da banda de 0 a 4 pontos, realiza-se uma avaliação grosseira, pelo motivo de muitas vezes o conhecimento ser precário ou pelas próprias características das variantes.

Sendo assim então, para realizar a atribuição dos pontos é preciso que o avaliador conheça pelo menos o domínio da avaliação. Nesse caso é muito útil preparar um esquema de avaliação, no qual os parâmetros dos critérios de avaliação, indicados verbalmente ou numericamente, são atribuídos de forma escalonada às ideias de valor, por atribuição de pontos.

Apurados os valores, esses serão posteriormente lançados na lista de avaliação. Na Figura 15, visualiza-se um exemplo prático com a ponderação e os respectivos valores.

Nr.	Critérios de avaliação	Fator	Parâmetros	Unidade	Variante V_1 (p.ex. M_1)			Variante V_2 (p.ex. M_2)		
					carac- terística e_{11}	valor w_{11}	valor ponderado wg_{11}	carac- terística e_{21}	valor w_{21}	valor ponderado wg_{21}
1	baixo consumo de combustível	0,3	consumo de combustível	g/kWh	240	8	2,4	300	5	1,5
2	construção leve	0,15	potência específica	kg/kW	1,7	9	1,35	2,7	4	0,6
3	fácil fabricação	0,1	simplicidade das peças fundidas	—	complicado	2	0,2	médio	5	0,5
4	elevado tempo de vida	0,2	tempo de vida	quilome- tragem	80.000	4	0,8	150.000	7	1,4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i		g_i			e_{i1}	w_{i1}	wg_{i1}	e_{i2}	w_{i2}	wg_{i2}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n		g_n			e_{n1}	w_{n1}	wg_{n1}	e_{n2}	w_{n2}	wg_{n2}
		$\sum_{i=1}^n g_i = 1$				Gw_1 W_1	Gwg_1 Wg_1		Gw_2 W_2	Gwg_2 Wg_2

Figura 15 - Lista de avaliação completa

Fonte: Phal et al., 2005, p.81

2.1.3.4 Projeto preliminar

Entende-se por projeto preliminar ou anteprojeto a parte do projeto de um produto técnico que, partindo da estrutura de funcionamento ou da solução básica, constrói de maneira clara e completa a estrutura do produto, segundo critérios técnicos e econômicos, sendo que a

consequência do anteprojeto é a definição da configuração da solução (PAHL ET AL., 2005). Nessa fase, busca-se satisfazer uma determinada função com a forma dos componentes, materiais apropriados e layouts.

Para Pahl et al. (2005), nessa etapa o projetista inicia com a concepção selecionada e dá prosseguimento sob vários processos, a fim de transformar em um layout definitivo do produto proposto, sendo que o mesmo deverá de qualquer forma satisfazer todos os requisitos técnicos e econômicos do projeto em questão. Na figura 16, verifica-se as principais etapas de trabalho no anteprojeto.



Figura 16 - Etapas de trabalho principais no anteprojeto
Fonte: Phal et al., 2005, p.152

Enfim, essa fase inicia-se com um conjunto de soluções úteis para o problema em questão, e finda com uma solução otimizada e simplificada para o produto, sendo que para isso desenvolvem-se alguns processos tais como: seleção da melhor solução, formulação de modelos de análise, análise de sensibilidade e compatibilidade de todas as variáveis, otimização de parâmetros de projeto, testes e simplificação de projeto, considerando ainda que é uma fase que envolve sistemas CAD e CAE (*Computer Aided Engineering*).

Em muitas situações, para obter resultados satisfatórios, são necessários vários projetos básicos ou subprojetos básicos, os quais tornem possível a configuração final do objeto. Dessa forma, para uma etapa decisória, o projeto básico completo deverá estar definido e, portanto, elaborado a ponto de viabilizar a avaliação da função, durabilidade, possibilidades de produção e montagem, características de uso e custeio e somente então poderá se pensar no detalhamento dos subsídios para a produção (PAHL ET AL., 2005).

O processo de anteprojecto é muito complexo, pois inúmeras atividades necessitam ser desenvolvidas em conjunto, bem como algumas etapas de trabalho necessitam ser repetidas em um nível de informação mais elevado e deve-se considerar ainda que os acréscimos e as modificações influenciam zonas já configuradas.

Sendo assim, então, um sequenciamento rígido só é parcialmente aplicável a um anteprojecto. Todavia, um procedimento preliminar com as principais etapas de trabalho também pode ser indicado.

Cabe ressaltar que em cada etapa não é preciso definir métodos especiais, sendo algumas dicas a seguir importantes.

- A representação das condicionantes espaciais e da configuração é realizada com o auxílio de modelo digitalizado correspondente, necessariamente como modelo 3D.
- A função e o tipo de produto necessitam ser transparentes.
- Para comprovar a compatibilidade espacial na estrutura e para montagem, a posição e o volume necessários ao produto necessitam ser perceptíveis por intermédio das dimensões características, tais como dimensões principais e semelhantes.
- O esboço da configuração terá que migrar para a configuração definitiva sem que haja necessidade de nova geração.

Quando tais exigências estiverem satisfeitas, a representação pode ser simplificada, divergindo das normas do desenho, pois a representação do objeto de acordo com as normas

do desenho é inútil, pois só aumentaria o trabalho de geração requerido. Se porventura ainda trabalhar com CAD – 2D, ou de maneira tradicional, como a prancheta, continua-se com o emprego das normas convencionais em que, eventualmente, também podem ser adotadas simplificações para representações (desenhos em escala) (PAHL ET AL., 2005).

Ao executar o anteprojeto, inúmeros detalhes necessitam ser esclarecidos, definidos e também otimizados, ou seja, quanto mais se aprofunda na configuração dos detalhes, tanto mais ficará explícito se a solução básica adotada foi corretamente selecionada.

Se no anteprojeto for constatado falhas, ou se tal requisito não pode ser satisfeito, o melhor a se fazer é verificar o procedimento da fase conceitual, pois mesmo uma configuração cuidadosa não pode melhorar significativamente uma solução básica desvantajosa, sendo isso válido também para os respectivos princípios de funcionamento das subfunções (PAHL ET AL., 2005).

Mantendo então a estrutura de funcionamento e o arranjo básico, procura-se solucionar esses subproblemas, realizando uma revisão das etapas de trabalho, seguindo um processo iterativo. Com frequência não é desenvolvido um produto inteiramente novo, porém com base em novos requisitos e experiências, ele é apenas aperfeiçoado (PAHL ET AL., 2005). Na Figura 17, é possível visualizar o reinício do processo a partir das variáveis causadoras de falhas.

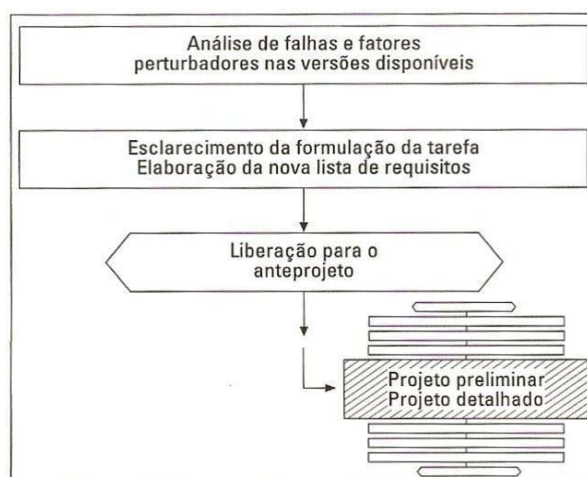


Figura 17 - Fase do anteprojeto iniciando pela continuação do desenvolvimento de versões anteriores

Fonte: Phal et al., 2005, p.155

Dependendo do resultado da formulação da tarefa agora esclarecida, é muito importante definir se é necessária nova estrutura de funcionamento, no sentido de uma nova solução básica, ou em que proporção é necessário intervir na estrutura existente. Com relação

ao anteprojeto, pode-se afirmar que um procedimento flexível com muitas malhas de repetição e mudança frequente do plano de contemplação é tipicamente necessário (PAHL ET AL., 2005).

Na Figura 18, é apresentada a lista de verificação para avaliação do anteprojeto, sendo que com base em cada característica, é possível assim avaliar se o princípio de funcionamento selecionado satisfaz a função.

Característica principal	Exemplos
Função	A função prevista é satisfeita? Quais funções auxiliares são necessárias?
Princípio de trabalho	Os princípios de trabalho selecionados oferecem o efeito desejado, grau de eficiência e vantagem? Quais distúrbios devem ser esperados?
Dimensionamento	A forma e dimensões selecionadas garantem, com o material previsto e com (projeto) antecipado tempo de vida útil e sob as cargas de serviço, ter suficiente durabilidade? Deformações admissíveis? Suficiente estabilidade? Suficiente independência de ressonância? Dilatação desacompanhada de distúrbios? Resistências à corrosão e ao desgaste aceitáveis?
Segurança	Foram considerados os fatores que influenciam a segurança dos componentes, da função, da operação e do meio ambiente?
Ergonomia	Foram observadas as relações homem-máquina? Foram respeitados solicitação, exigência e cansaço? Foi atendido o requisito de uma boa forma (estética)?
Produção	Foram considerados critérios de produção com respeito à tecnologia e à economia?
Controle	Os controles necessários são possíveis durante e após a fabricação ou em uma outra data e como tais estão especificados?
Montagem	Todos os processos de montagem internos ou externos à fábrica podem ser executados de modo simples e na ordem certa?
Transporte	Foram verificados e considerados as condições e riscos de transporte internos e externos à fábrica?
Operação	Foram consideradas em dose suficiente todas as ocorrências que surgem durante operação ou utilização como p.ex.: ruído, trepidações, manuseio?
Manutenção	São executáveis e verificáveis de modo seguro, as providências necessárias para manutenção, inspeção e conserto?
Reciclagem	É possível reaproveitamento ou reproprocessamento?
Custos	Foram obedecidos os limites de custo prefixados? Vão surgir despesas operacionais ou incidentais adicionais?
Prazos	Os prazos podem ser cumpridos? Há possibilidades de projetar a forma visando a melhora da situação no tocante aos prazos?

Figura 18 - Lista de verificação
Fonte: Phal et al., 2005, p.156

Segundo Pahl et al. (2005), a lista de verificação proposta é consistente, seguindo uma cadeia lógica de raciocínios, sendo assim lembrada facilmente, o que permite aproveitá-la de forma gradativa no subconsciente. Cabe ressaltar ainda que existem regras para realizar a configuração, sendo que o não cumprimento dessas conduz a erros, prejuízos e até acidentes. O anteprojeto também deve seguir regras básicas de configuração, sendo que em combinação com a lista de verificação apresentada na Figura 17 e métodos de identificação de erros, também determinam decisivamente as etapas de seleção e avaliação.

As regras básicas, segundo Pahl et al. (2005), são: “claras”, ”simples” e “seguras”, sendo que se orientam pelos objetivos gerais, em que devem ser observados:

- Atendimento da função técnica;
- Viabilidade econômica;
- Segurança para os usuários e o meio ambiente.

Deve ser levado em conta ainda que as exigências de clareza, simplicidade e segurança são fundamentais, sendo que constituem pressupostos importantes para o sucesso da solução.

A consideração de clareza é importante para compreender de forma segura efeito e comportamento, sendo que em inúmeras ocasiões poupa tempo e análises desnecessárias. A simplicidade garante a viabilidade econômica, pois quanto maior a quantidade de elementos “simples”, os processos envolvidos para a fabricação desses componentes também são simples, portanto o custo é muito menor, sendo também obtidos de forma mais rápida.

Quando se trata de segurança, deve-se levar em conta durabilidade, confiabilidade e inexistência de acidentes, e de forma importante também a questão ambiental. Portanto, a observação das regras básicas, permite antecipar uma probabilidade elevada de realização, pois com ela são abordados e interligados o atendimento da função, a economia e a segurança. Sem essa interligação, dificilmente se poderia obter uma solução considerada satisfatória (PHAL ET AL., 2005).

2.1.3.5 Avaliação de anteprojetos

De forma distinta, como abordado no projeto conceitual, e pela conformidade com a crescente materialização, os critérios de avaliação na fase de configuração necessitam se referir a objetivos e características mais concretas (PAHL ET AL., 2005). Na Fase de configuração sempre se avaliam em separado as características técnicas para a valoração técnica e as características econômicas para a valoração econômica, sendo essa calculada com o auxílio dos custos de fabricação, os quais são confrontados comparativamente em um diagrama.

Segundo Pahl et al. (2005), a valoração econômica só pode ser realizada qualitativamente; no entanto, os custos, na etapa de configuração, basicamente devem se aproximar do real. De modo inicial são elaborados os critérios de avaliação, sendo esses obtidos da seguinte forma:

- a. Requisitos da lista de requisitos
 - Desejável superação dos requisitos mínimos (até que ponto foram ultrapassados);
 - Expectativas (satisfeitas – não satisfeitas, quão bem satisfeitas).
- b. Características técnicas (até que ponto está presente o modo pelo qual foram satisfeitas).

O grau de integridade dos critérios de avaliação é testado pelas principais características da lista de verificação indicadas na Figura 19 e ajustadas ao grau de concretização alcançado.

Característica principal	Exemplos
Função	Atendimento por meio de um princípio de funcionamento
Princípio de funcionamento escolhido	Uniformidade, estanqueidade, alto grau de eficiência, resiste a falhas, não ocorrência de perdas
Configuração	Escala, demanda de volume, peso, arranjo, posição, adequação
Especificação	Aproveitabilidade, durabilidade, deformabilidade, capacidade de deformação, tempo de ciclo de vida ou de uso, desgaste, resistência a impactos, estabilidade, ressonância
Segurança	Tecnologia de segurança direta, segurança do trabalho, defesa do meio ambiente
Ergonomia	Relação homem-máquina, desgaste no trabalho, operação, critérios estéticos, configuração
Produção	Usinagem isenta de risco, rápida desmontagem, tratamento térmico, evitar acabamento superficial, tolerâncias (desde que não incluídas nos custos de fabricação)
Controle	Adesão às características de qualidade, adequado para testes
Montagem	Não ambígua, simples, confortável, ajustável, expansível
Transporte	Interno e externo à empresa, modo de expedição, embalagem apropriada
Uso	Manuseio, comportamento em serviço, características anticorrosivas, consumo de bens de produção
Manutenção	Monitoramento, inspeção, conserto, substituição
Reciclagem	Desmontagem, recondicionamento, reaproveitamento
Custo	Considerado separadamente por meio da valorização econômica
Prazo	Características críticas para o seqüenciamento e o prazo

Figura 19 - Lista de verificação para avaliação do anteprojeto

Fonte: Phal et al., 2005, p.262

As primeiras características principais se relacionam essencialmente com a função técnica atendida pelo princípio de trabalho, com a configuração selecionada, bem como os parâmetros da especificação, como escolha prévia de material (PAHL ET AL., 2005).

Para cada característica principal, deve ser considerado pelo menos um critério de avaliação importante, sendo eventualmente necessária a elaboração de diversos critérios para cada um dos grupos. Cabe ressaltar que uma característica principal somente poderá ser omitida se as respectivas propriedades estiverem ausentes, ou são as mesmas para todas as variantes. A fase de avaliação é importante, pois se consegue identificar os pontos fracos, principalmente quando se trata da configuração definitiva. A busca de falhas e pontos fracos,

quando detectados, permite a subsequente correção, pois são integrantes principais da avaliação final.

No caso de somente um projeto ser executado, o significado da avaliação não consiste em apenas selecionar, sendo necessário julgar o projeto atual, de acordo com os critérios concretos relacionados aos requisitos, com o objetivo de identificar e corrigir eventuais pontos fracos, sendo o procedimento dividido nas seguintes etapas:

- Reconhecimento dos critérios de avaliação;
- Avaliação das características com relação ao cumprimento dos critérios de avaliação;
- Determinação da valoração global;
- Busca de pontos fracos.

Para os pontos fracos detectados, formula-se uma proposta de melhoria e critérios já reconhecidos como relevantes devem ser assumidos. As características almejadas geralmente são avaliadas de acordo com a VDI 2225, em relação a uma solução ideal fictícia com base em uma escala grosseira de 0 a 4 pontos, sendo que muitas vezes uma avaliação de maior esforço não se apresenta compensadora.

2.1.3.6 Projeto detalhado

Para Pahl et al. (2005), o detalhamento é a parte que complementa a estrutura de construção de um produto técnico por meio de prescrições definitivas sobre a forma, dimensionamento e acabamento superficial de todas as peças, definição de todos os materiais, verificação das possibilidades de produção, bem como dos custos definitivos. Dessa forma se criam subsídios gráficos obrigatórios, além de outros, para a concretização material. Na Figura 20, visualiza-se as fases de detalhamento.

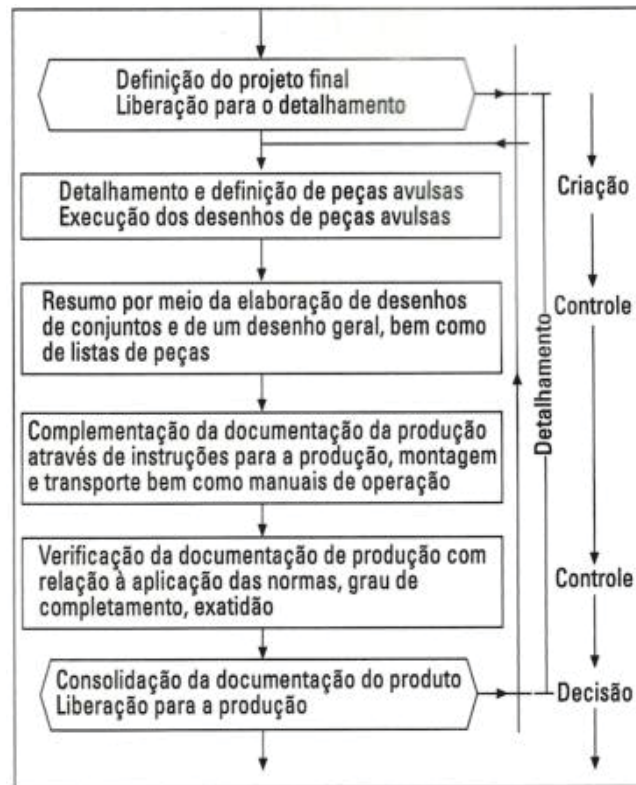


Figura 20 - Fases de detalhamento

Fonte: Phal et al., 2005, p.282

O resultado do detalhamento é a definição da tecnologia de produção da solução. Assim, nessa fase é realizada a configuração do produto com a definição definitiva da microgeometria. Portanto, são determinadas em detalhes as operações para fabricação (PAHL ET AL., 2005). O Projeto detalhado finaliza o projeto preliminar e são elaborados os documentos finais do projeto na forma de desenhos, os quais possibilitam a realização física das soluções. Também se faz o uso de uma série de normas e procedimentos padrões, de acordo com a empresa onde o projeto será executado.

Nessa fase as formas, dimensões, propriedades da superfície de todas as partes individuais são definidas, materiais são especificados e as viabilidades técnicas e econômicas passam por um processo de reavaliação.

Todos os desenhos bem como documentos necessários para a produção devem estar prontos. As duas principais atividades dessa etapa consistem na otimização dos princípios e otimização dos leiautes e formas.

2.2 Ônibus urbano

Segundo a Artesp (2012), o ônibus urbano geralmente possui duas portas, sendo uma para a entrada e outra para a saída de passageiros, sendo permitido passageiros em pé quando a viagem se realizar em regiões conturbadas. Ainda assim, é previsto motor de combustão interna diesel, refrigerado com água, com aspiração natural ou sobrealimentado por turbo compressor, sendo que o mesmo poderá ser substituído por outro movido a combustível alternativo, gás natural, biodiesel ou outro que venha a ser homologado.

O projeto do ônibus deverá prever requisitos de confiabilidade, segurança, conforto, mobilidade, acessibilidade e proteção ambiental.

2.2.1 Ônibus urbano básico

Segundo a Artesp (2012), o ônibus urbano básico é aquele que é destinado a operar em regiões centrais ou periféricas da cidade, bem como em rodovias quando o itinerário exigir, sendo constituído por unidade única movida com motor próprio e solidário. Caracteriza-se por acomodar cerca de 36 passageiros sentados, com exceção do motorista e cobrador, e em torno de 44 passageiros em pé, considerando um nível de serviço de 5 passageiros em pé por metro quadrado. O modelo básico de ônibus urbano é apresentado na Figura 21.



Figura 21 - ônibus urbano básico
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

2.2.2 Ônibus padron

O ônibus padron é um modelo de veículo o qual é destinado à operação em corredores exclusivos, sendo que também poderá ser utilizado em viário comum ou rodovia. É um veículo com capacidade para acomodar 35 passageiros sentados com exceção de motorista e cobrador, e em torno de 73 passageiros em pé, considerando um nível de serviço de 5 passageiros em pé por metro quadrado, dotado de três portas, sendo uma delas para embarque e duas para desembarque, com vão mínimo de 1100 mm de largura. (ARTESP, 2012. O modelo de ônibus padron é apresentado na Figura 22.



Figura 22 - Ônibus padron
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013

2.2.3 Ônibus articulado

De acordo com a Bussmania (2012), os ônibus articulados possuem capacidade para acomodar 45 passageiros sentados e 140 passageiros em pé, considerando um nível de serviço de 5 passageiros em pé por metro quadrado, mínimo de quatro portas do lado direito com vão livre de 1100 mm de largura, sendo uma delas obrigatoriamente no carro reboque (ARTESP, 2012). Visualiza-se na Figura 23 o modelo de ônibus articulado.

São ônibus semelhantes ao modelo Padron, também destinados à operação em corredores exclusivos ou viário, sendo composto por um carro trator ou reboque, unidos por rótula de articulação, permitindo livre passagem de um carro a outro (ARTESP, 2012).



Figura 23 - Ônibus articulado

Fonte: Bussmania, 2013.

2.3 Legislação

São várias as normas e resoluções que definem a acessibilidade no transporte coletivo urbano, sendo que se pode destacar a NBR 15320, NBR 14022, NBR 15570, NBR 9491, entre algumas resoluções. No entanto, cada uma delas está direcionada a questões distintas, como, por exemplo, as questões de acessibilidade para deficientes físicos. Nos itens apresentados a seguir é possível compreender melhor o conteúdo de algumas delas.

2.3.1 Resolução Contran nº 316

A Resolução nº 316 do Contran estabelece os requisitos de segurança para veículos de transporte coletivo de passageiros M2 e M3 (Micro-ônibus e Ônibus) de fabricação nacional e estrangeira.

Sendo assim, todos os veículos novos definidos na categoria M2 e M3 destinados ao transporte de passageiros, para fins de homologação junto ao Departamento (DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN) e obtenção de código marca-modelo-versão, necessário ao registro, além de emplacamento e licenciamento, devem atender às exigências estabelecidas na presente resolução.

2.3.1.1 Definição dos veículos M2 e M3

De acordo com a resolução nº 316 do Contran (2009), os veículos M2 e M3 são definidos da seguinte forma:

M2: Veículo para o transporte de passageiros dotado de mais de 8 lugares, considerando o condutor com PBT (Peso Bruto Total) inferior a 5,0 toneladas.

M3: Veículo para o transporte de passageiros dotado de mais de 8 lugares, considerando o condutor com PBT (Peso Bruto Total) superior a 5,0 toneladas.

2.3.1.2 Composição

Simplex: Veículo M2 ou M3 constituído por uma única unidade rígida, com motor próprio e solidário, com compartimento de passageiros situado em piso único.

Articulado: veículo M3 constituído por duas (2) unidades rígidas, devidamente acopladas, que permitam comunicação entre elas. Pelo menos uma (1) unidade deverá estar dotada de tração. Pode ser de piso único ou de duplo piso.

Biarticulado: veículo M3 constituído por três (3) unidades rígidas, devidamente acopladas, que permitam comunicação entre elas. Pelo menos uma (1) unidade deverá estar dotada de tração. Somente será permitido veículo de piso simples.

Duplo piso: veículo M3 simples ou articulado, possuindo dois (2) compartimentos de passageiros, situados em pisos sobrepostos total ou parcialmente, que se comunicam entre si por meio de escada(s). O compartimento do motorista pode ser ou não intercomunicável com um dos compartimentos de passageiros.

Com reboque: veículo M3 constituído por duas (2) unidades rígidas, ambas basicamente do tipo ônibus com piso único ou de duplo piso e destinadas à acomodação dos passageiros e suas bagagens, interligadas por um sistema de engate, sem possibilidade de livre passagem entre elas, sendo somente a primeira dotada de tração.

2.3.1.3 Aplicação

De acordo com o Contran (2009), um veículo urbano pode ser M2 ou M3 destinado ao transporte coletivo de passageiros, com assentos para passageiros e provisão para passageiros em pé.

Já o veículo rodoviário também pode ser do tipo M2 ou M3, o qual é destinado ao transporte coletivo rodoviário de passageiros exclusivamente sentados para percursos de médias e longas distâncias. (CONTRAN, 2009).

2.3.1.4 Janelas laterais

Segundo a NBR 15570 (2009), todos os vidros utilizados em janelas devem atender ao disposto na ABNT NBR 9491 (2011), sendo que as janelas podem ser construídas com vidros móveis, capazes de deslizar em caixilho próprio.

A norma considera ainda que as janelas laterais podem possuir uma de suas partes com vidro fixo, observando que não exceda 50 % da altura da janela.

A abertura dos vidros móveis superiores deve ser equivalente a pelo menos 20 % da área envidraçada total da janela. Para os vidros móveis inferiores, a abertura horizontal deve ser limitada em 200 mm. No caso de veículos equipados com sistema de ar condicionado, os vidros das janelas podem ser fixos ou inteiriços. (NBR 15570, 2009).

Com relação às dimensões das janelas, as mesmas devem ter larguras compreendidas entre 1100 mm e 1600 mm, com altura mínima de 800 mm, exceto para janelas de acabamento e/ou complementação de necessidades estruturais. Se o veículo é classificado como micro-ônibus ou miniônibus, tal altura poderá ser de no mínimo 700 mm. (NBR 15570, 2009).

A altura do peitoril da janela, medida da parte inferior exposta do vidro da janela em relação ao piso interno, deve estar entre 700 mm e 1000 mm, com exceção das janelas localizadas no posto de comando, nas janelas localizadas nas regiões das caixas de rodas ou patamares elevados e nas janelas situadas junto à cobertura do motor traseiro.

Com exceção das áreas envidraçadas indispensáveis a dirigibilidade do veículo, os demais vidros podem ser escurecidos originalmente, sem a utilização de películas específicas.

A NBR 15570 (2009) admite ainda quebra vento na janela do motorista, desde que, quando aberto, não seja projetado mais do que 100 mm em relação a lateral do veículo, não possua arestas contundentes, que não seja fabricado de material metálico e que, no caso de choques com quaisquer objetos, seja deslocada para a lateral do veículo ou se rompa sem deixar fragmentos.

2.3.1.5 Janelas de emergência

Com relação às janelas de emergência, a NBR 15570 (2009) afirma que as mesmas devem estar distribuídas ao longo do salão de passageiros, sendo essas dispostas de maneira

mais uniforme possível. A recomendação é de que seja posicionada uma janela de emergência a cada porta de serviço.

As janelas de emergência devem estar dotadas de mecanismo de abertura do tipo ejetável, basculante ou vidros destrutíveis, sendo que no mecanismo de abertura da janela de emergência não podem ser utilizados mecanismos com roscas. (NBR 15570, 2009).

As janelas de emergência devem ser identificadas com adesivos com dimensões visíveis internamente ao veículo, com instruções claras de utilização, especificando ainda que as mesmas devem fornecer uma abertura cujo perímetro não seja inferior a 3550 mm e que nenhum lado seja inferior a 690 mm.

Considera-se também que não pode haver obstruções ao acesso das janelas de emergência, tais como divisórias, anteparos ou quaisquer outros obstáculos. As alavancas quando instaladas devem estar dispostas dos dois lados da janela de emergência e que necessitem de um esforço máximo de 300 N (31 kg) para o seu acionamento. (NBR 15570, 2009). Quando os veículos forem dotados de sistema de condicionamento de ar, sendo as janelas com vidros fixos e inteiriços, é necessário que haja dispositivo de rompimento.

Os dispositivos de rompimento devem estar localizados nas proximidades das janelas de emergência, em locais visíveis e de fácil acesso, ao alcance dos passageiros. Sua instalação deve ser solidária à estrutura do veículo e não pode oferecer nenhuma dificuldade para sua utilização, entretanto deve impedir seu acionamento acidental ou involuntário no interior do veículo (NBR 15570, 2009).

Junto à janela de emergência de vidro destrutível deve haver um adesivo instrutivo nela fixada, com instruções de como acessar e utilizar o dispositivo destrutível, em caso de necessidade.

2.4 Projeto, Manufatura e Montagem (DFMA)

Segundo Canciglieri Júnior (2005), o projeto orientado para a manufatura e montagem visa propor uma maior compreensão das atividades de projeto, tendo como objetivo a utilização racional dos recursos disponíveis no chão de fábrica. O projeto orientado para a manufatura e montagem possibilita a redução do tempo de desenvolvimento do produto, minimizando consideravelmente os custos de desenvolvimento e reduzindo o tempo de introdução do produto no mercado.

Considerando os efeitos acumulativos da qualidade do componente na qualidade do produto, projetistas e engenheiros devem ser cuidadosos ao especificarem o nível de qualidade nos componentes. Muitos custos são reduzidos, desde que os produtos possam ser montados rapidamente utilizando um número reduzido de componentes (CANCIGLIERI JÚNIOR, 2005).

De acordo com Forcellini (2003), o projeto para manufatura e montagem o DFMA, Design for Manufacturing and Assembly, é uma filosofia que utiliza diversos conceitos, técnicas, ferramentas e métodos para aperfeiçoar a fabricação de componentes ou simplificar a montagem de produtos, utilizando para tal, desde a análise de valores de tolerâncias, a complexidade do produto, número mínimo de componentes necessários, layout do produto dentre outros.

O DFM (Projeto para manufatura), traduz a busca durante o projeto, em tornar mais fácil à manufatura dos componentes que formarão o produto depois de montado. Enquanto DFA (Projeto para montagem) avalia todo o produto, não só as peças individualmente, e tende a simplificar a estrutura do produto enquanto mantém o projeto flexível procurando o mais eficiente uso da função do componente tornando a montagem do produto de menor custo e mais otimizada (FORCELLINI, 2003).

Segundo Forcellini (2003), deve-se ressaltar a necessidade de avaliar bem a necessidade de um componente, devendo sempre procurar reduzir ao máximo o número de componentes no produto final. Para tal, pode-se fazer uso de três regras básicas para verificar a necessidade de determinado componente :

- Existe necessidade de movimento relativo entre as partes?
- Existe necessidade de especificação de diferentes materiais por razões físicas/químicas?
- O componente deve ser desmontável para facilitar manutenção?

Nesse conceito é importante verificar a possibilidade de integração de funções em componentes, pois componentes com funções integradas não necessitam ser montados, sendo que em geral, possuem menor custo de fabricação se comparado às peças separadas, sendo assim o projeto para montagem tem como principais diretrizes:

- Elaborar o projeto para um número mínimo de componentes;

- Utilizar componentes e processos padronizados;
- Desenvolver uma abordagem de projeto modular;
- Utilizar montagem empilhada;
- Facilitar o alinhamento e a inserção de todos os componentes;
- Eliminar parafusos, molas, roldas;
- Eliminar ajustes;
- Utilizar o princípio da engenharia simultânea;

Enfim, o DFMA trata-se de um método de apoio para se analisar e desenvolver soluções de melhoria ao processo de manufatura e montagem do produto, reduzindo na complexidade na fabricação e montagem dos componentes, sendo que para isso, o método propõe soluções ao produto desde a fase de projeto conceitual, procurando desenvolver a melhor configuração, levando em conta, desde o início, os processos produtivos, os custos e os tempos de fabricação e montagem, considerando as exigências e características técnicas para atingir a qualidade requerida ao produto (PAHL et al., 2005).

2.5 Engenharia simultânea

Segundo Barbosa (2007), a Engenharia simultânea tem como objetivo principal a formação de grupos de trabalho, sendo esse composto por pessoas experientes no desenvolvimento de projetos, manufatura, sistemas e processos, controle de qualidade entre outros. Dessa forma os engenheiros que compõem a equipe devem analisar vários pontos fundamentais, não somente apenas para o produto, mas também para os requisitos que visam a obtenção de um produto com o melhor custo, assegurando produtividade, qualidade, prazos, engenharia e suporte ao cliente.

Portanto para a execução das atividades é necessário a integração de planejamento, processos, organização e o uso de ferramentas adequadas, sendo que isso permite que todos os esforços de desenvolvimento sejam integralmente considerados, de forma simultânea e eficiente ao longo de todo o processo de desenvolvimento (BARBOSA, 2007).

A Engenharia simultânea permite a integração de profissionais de diversas áreas, o que leva a uma troca de conhecimentos e discussões sob os diversos pontos de vista existentes, o que de fato é interessante, pois de certa forma em um determinado ponto ocorre um afinamento de idéias e chega-se a um consenso.

Portanto os profissionais que integram a engenharia simultânea formam um time, sendo que o melhor artifício do time é a comunicação entre os membros, pois se não há comunicação eficiente, não há um time, portanto é muito importante que desde o princípio do processo de desenvolvimento o alinhamento e o trabalho multidisciplinar sejam buscados e mantidos. Enfim, a engenharia simultânea surgiu pela necessidade das empresas serem cada vez mais competitivas no mercado de trabalho, pois os métodos e ferramentas utilizados para o desenvolvimento dos produtos necessitam estar em constante evolução, sendo que em resumo a engenharia simultânea permite que os setores executem as suas tarefas simultaneamente, pois é preciso que o produto seja lançado ao mercado em um curto espaço de tempo.

Em resumo, com relação às metodologias projetuais apresentadas, percebe-se que o método de projeto proposto por Pahl et al. (2005) é bem mais técnica e devido a essa característica vem sendo aplicada em grande escala no desenvolvimento de produtos na área de engenharia. Pode-se destacar ainda como pontos positivos dessa metodologia o detalhamento da fase de concepção e a representação dos fluxos de projeto, porém, como ponto negativo, não realiza a abordagem de mercado, gestão e estratégia.

A metodologia proposta por Back et al. (2008) afirma que as fases de projeto de um produto industrial podem ser estabelecidas de diferentes maneiras com grau de maior ou menor detalhamento. O autor destaca quais pontos têm maior ou menor impacto no desenvolvimento do produto, ressaltando que o custo de se desenvolver, produzir e vender é determinante no ciclo de vida de um produto.

Com relação à legislação existente quanto ao processo de fabricação e montagem de ônibus, percebe-se que a Resolução Nº 316 do CONTRAN trata dos requisitos básicos de segurança para transporte coletivo de passageiros, bem como da classificação dos mesmos.

Já a NBR 15570 (2009), além de tratar dos requisitos de segurança no transporte coletivo de passageiros, aborda também itens relativos a conforto e acessibilidade na fabricação de veículos novos, sendo a mesma um complemento da norma NBR 14022 (2009). Com relação à NBR 14022 (2009), a mesma foi criada com o objetivo de garantir o transporte seguro de passageiros, seja para pessoas com deficiência, bem como para o público de modo geral, sendo que os mesmos devem ser atendidos com as regras mínimas de conforto e segurança em veículos coletivos.

3 DESENVOLVIMENTO PARA MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM

O desenvolvimento do trabalho foi feito a partir do acompanhamento do processo de montagem das janelas de ônibus urbano, do estudo das normas técnicas e da posterior aplicação de metodologia projetual específica, sendo utilizada as fases de projeto propostas por Pahl et al. (2005), pelo fato de essas realizarem a abordagem de forma bem mais técnica, voltada principalmente para o desenvolvimento de produtos na área de engenharia, levando em conta ainda que os autores se destacaram como pioneiros nessa área.

Com relação ao processo, foi realizado acompanhamento detalhado do procedimento de montagem das janelas de ônibus urbano em empresa localizada no município de Erechim – RS.

3.1 Componentes de janela de ônibus urbano

A janela do ônibus urbano é na verdade um conjunto, ou seja, é constituída de inúmeros componentes, sendo que cada um deles desempenha uma função específica. Na Figura 24, visualiza-se a janela de um ônibus urbano.

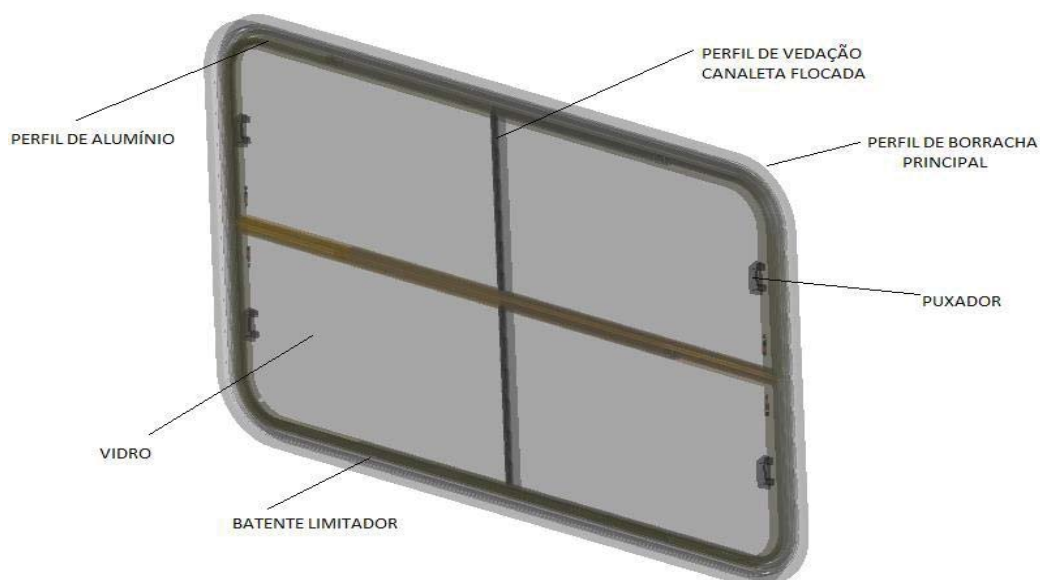


Figura 24 - Janela de ônibus urbano
Fonte: Comil ônibus S.A, 2012.

Na Figura 25, é possível identificar alguns componentes da janela de ônibus urbano.

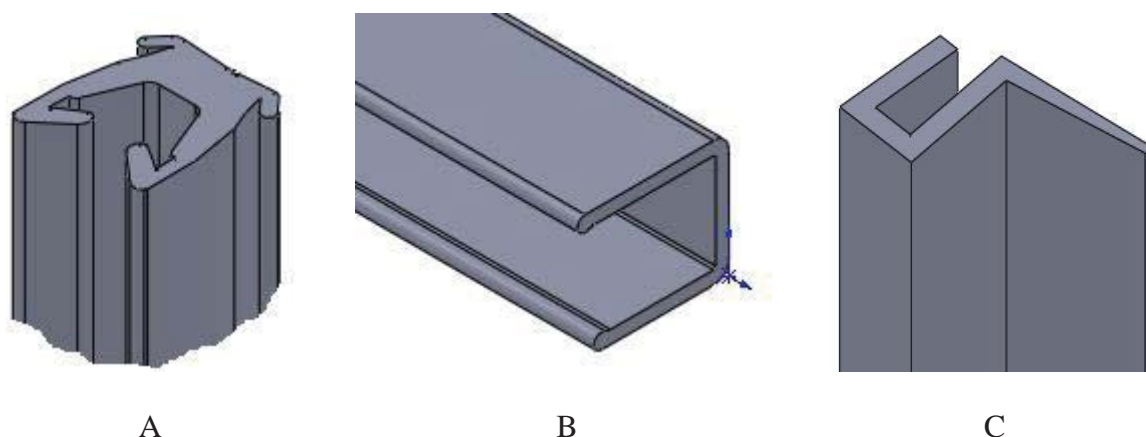


Figura 25 - Componentes denominados perfil
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Na Figura 25a, observa-se o perfil da canaleta flocada, sendo que é um componente que é envolto em todo o perímetro de cada vidro que compõe a janela. Na verdade, quando se inicia o processo de montagem da janela, o montador, em posse do vidro, realiza o encaixe desse perfil no mesmo.

Já na Figura 25b, observa-se o perfil de vedação, sendo o mesmo fabricado em ABS, tem formato semelhante a uma canaleta, em seu interior é encaixado um perfil de vedação entre os vidros.

Na Figura 25c, observa-se o perfil de vedação entre os vidros, sendo um perfil onde é encaixado o vidro, o mesmo situa-se no interior do perfil de vedação, o qual possui a extremidade alongada e em grau, dessa forma, quando um dos vidros é acionado pelo passageiro, tal extremidade desliza sobre a face do vidro sem lhe causar danos.

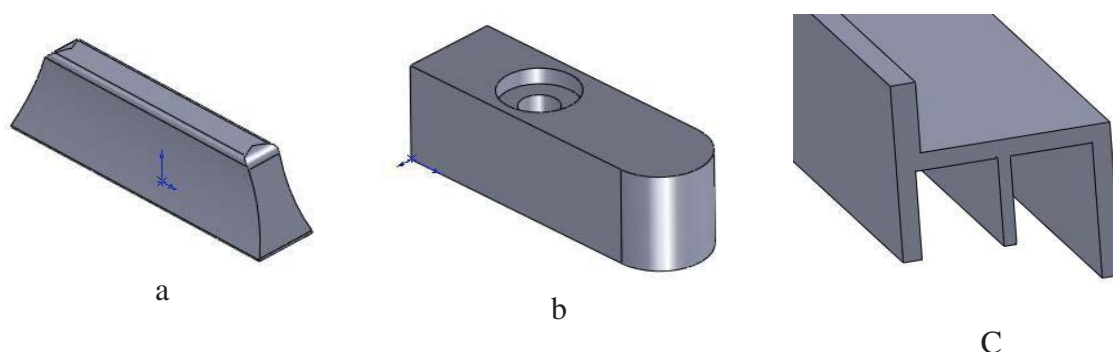


Figura 26 - Componentes da janela
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

O puxador é apresentado na Figura 26a, sendo o mesmo fixado diretamente nas faces dos vidros, sendo que a função dos mesmos é permitir o fechamento e a abertura da janela. Na

Figura 26b, observa-se o batente, o qual funciona como limitador, ou seja, com esse é possível limitar a abertura da janela do ônibus.

Observa-se, na Figura 26c, o perfil de alumínio, sendo o mesmo utilizado na fabricação de estruturas móveis, sendo que a grande vantagem da utilização do alumínio se dá principalmente pela sua baixa densidade e elevada resistência à corrosão. O mesmo é acoplado em um rasgo retangular do perfil de borracha, sustentando toda a janela. Esse perfil dispõe de uma abertura central para permitir que seja montado no tubo quadrado 80 mm x 40 mm, componente estrutural do ônibus.

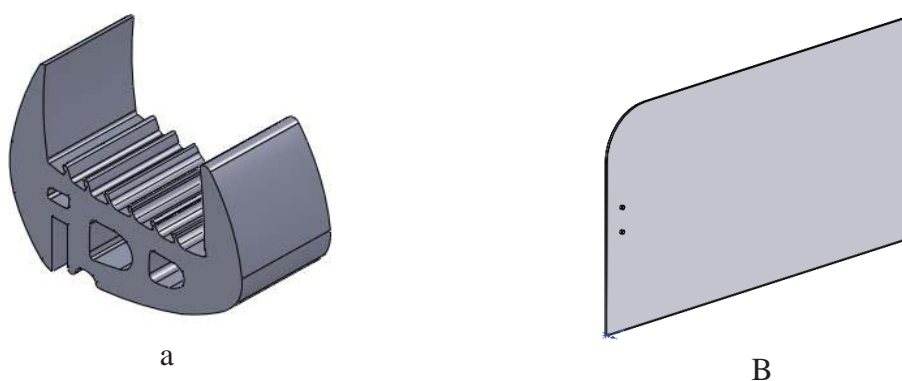


Figura 27 - Perfil de borracha e vidro temperado
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

O perfil de borracha apresentado na Figura 27a é uma das partes mais importantes que compreendem uma janela, pois esse é fundamental para a boa vedação do conjunto, sendo que possui ranhuras justamente para impedir a penetração de água e pó. Além disso, possui bolsões de ar, os quais permitem a flexibilidade da borracha, auxiliando com isso o procedimento de montagem, pois a borracha não permanece totalmente rígida.

O vidro pode ser visualizado na Figura 27b, possui 4 mm de espessura, sendo que seu tamanho e quantidades podem variar conforme configuração da janela. Os vidros que não são fixos possuem pequenos orifícios para o recebimento dos puxadores.

3.2 Tipos de janela de ônibus urbano

As janelas destinadas aos ônibus urbanos podem dispor de configurações distintas, sendo que a escolha de cada modelo de janela depende de algumas variáveis.

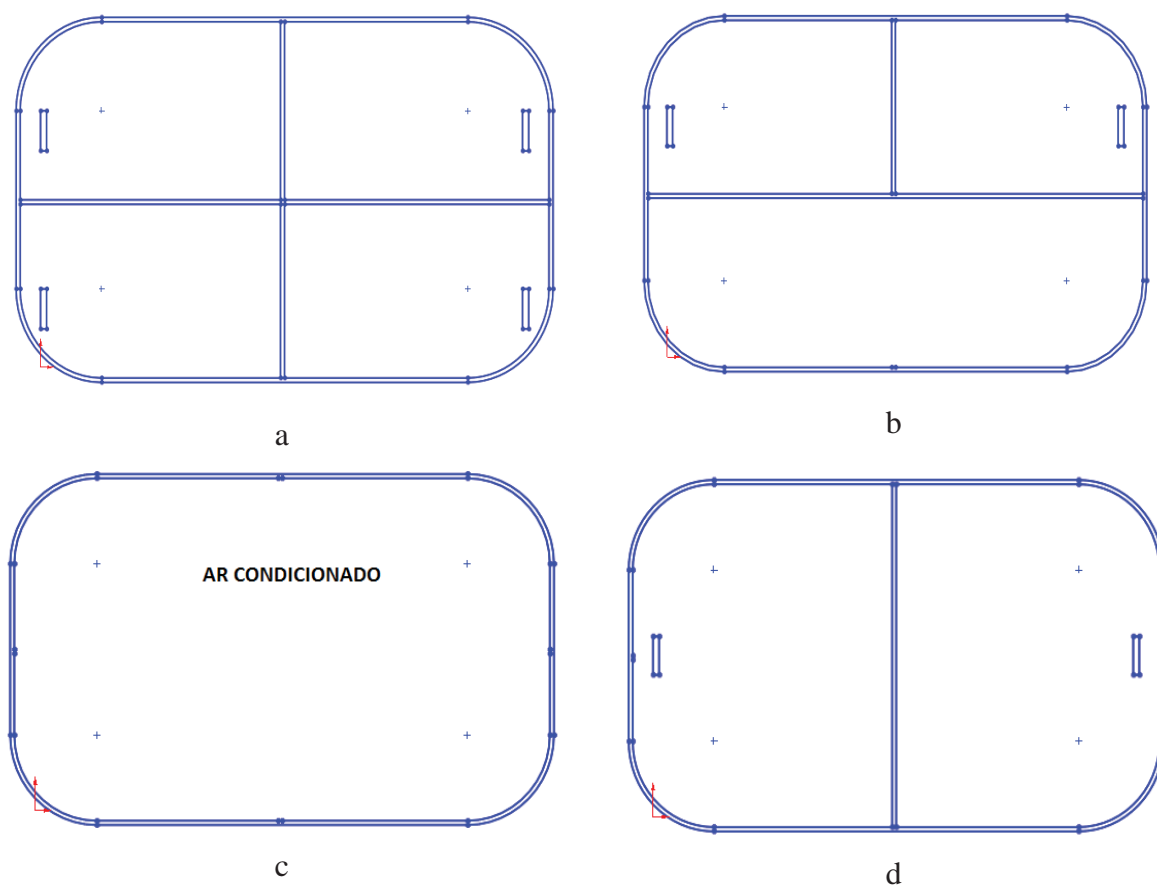


Figura 28 - Configurações de janela para ônibus urbano

Na Figura 28a, pode-se visualizar uma janela do tipo 4 vidros móveis, ou seja, este tipo de janela possui quadro vidros, os quais deslizam em caixilho próprio. Na Figura 28b, a janela possui uma vidraça inferior fixa denominada de bandeira e dois vidros móveis superior, os quais são capazes de deslizar em caixilho próprio.

Na Figura 28c, observa-se o modelo de janela com vidro fixo, geralmente utilizado em transporte coletivo dotado de sistema para condicionamento de ar. Na linha de ônibus urbano, observa-se uma configuração distinta, também muito utilizada na linha rodoviária, sendo a janela composta por dois vidros móveis, conforme Figura 28d.

3.3 Fabricação dos componentes da janela do ônibus urbano

Na fabricação das janelas do modelo de ônibus urbano, inúmeras etapas estão envolvidas até a obtenção do conjunto final. Sendo assim, abaixo se encontram descritas as etapas principais.

A etapa inicia-se com a dobra do perfil de alumínio, sendo que tal é realizado com o auxílio de máquina do tipo calandra. A etapa conta com aproximadamente três colaboradores, a fim de garantir as tolerâncias especificadas no projeto. O procedimento pode ser visualizado na Figura 29.



Figura 29 - Dobra do perfil de alumínio
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

A etapa seguinte consiste na soldagem do perfil de alumínio. Tal procedimento é realizado com o auxílio de um gabarito, o qual é dotado de um pistão pneumático. As partes a serem unidas são pressionadas pelo pistão contra uma guia a fim de garantir o alinhamento, então é realizada a soldagem do quadro, conforme Figura 30.



Figura 30 - Soldagem do perfil de alumínio
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Após a soldagem do perfil de alumínio, com o auxílio de uma prensa é realizado um entalhe no quadro, o entalhe tem a função de facilitar o escoamento. O mesmo pode ser observado na Figura 31.



Figura 31 - Entalhe no perfil da janela
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Na Figura 32 verifica-se o processo de acabamento. Tal procedimento é realizado a fim de retirar os excessos de solda e garantir com isso um conjunto livre de defeitos, os quais possam prejudicar outros componentes que serão montados no mesmo.



Figura 32 - Acabamento do perfil da janela
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Em seguida, os perfis das janelas passam por um tratamento superficial a fim de preparar a superfície para a pintura.

No andamento do processo, os perfis são enviados até o setor de montagem final, onde os vidros são preparados, conforme se pode visualizar na Figura 33. Nesse processo, os vidros são envoltos por um perfil de borracha.



Figura 33 - Preparação dos vidros
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Então a estrutura da janela é envolta pelo perfil de borracha principal, o qual tem a função de garantir a vedação do conjunto. Tal perfil é montado por dispositivo adequado, sendo que, durante o processo, o operador, com o auxílio de um pincel, realiza a aplicação de um fluído a fim de facilitar o encaixe, como pode ser visualizado na Figura 34.



Figura 34 - Montagem do perfil de borracha
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Na Figura 35, visualiza-se os ajustes sendo realizados nas janelas, sendo que tais ajustes são realizados com o auxílio de um gabarito, a fim de garantir o alinhamento do conjunto.



Figura 35 - Ajuste das janelas de correr
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013

Na Figura 36, pode-se verificar o conjunto completo, nessa etapa são realizados os ajustes finais do conjunto, ou seja, as janelas de correr são montadas no arco e o batente limitador de abertura e fechamento é inserido.



Figura 36 - Preparação final do conjunto
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Na Figura 37 está sendo realizada a preparação de uma das laterais de um ônibus. Onde serão encaixadas as janelas, sendo que um trabalho minucioso é executado a fim de garantir uma superfície livre de defeitos.



Figura 37 - Preparação das laterais
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Na etapa seguinte, o conjunto é enviado para a o setor de montagem de janelas, sendo cada modelo de janela montado no respectivo tipo de ônibus, urbano, rodoviário ou Micro.

3.4 Processo de montagem da janela de ônibus urbano

No processo atual de montagem das janelas do ônibus urbano são necessários três colaboradores para realizar a tarefa. Na Tabela 1, encontra-se descritas as principais etapas a serem seguidas para a montagem da janela na estrutura do ônibus.

Tabela 1 - Etapas para montagem da janela

Nr.	TAREFAS	TIPO DE OPERAÇÃO
1.	Passar o cordão no perfil de borracha da janela	MANUAL
2.	Aplicar o lubrificante na estrutura do ônibus	MANUAL
3.	Posicionar a janela na estrutura do ônibus	MANUAL
4.	Empurrar a janela contra a estrutura	MANUAL
5.	Puxar o cordão	MANUAL
6.	Deixar a janela montada	MANUAL

Quando a janela é recebida para a montagem final, o primeiro procedimento a ser realizado é a passagem de um cordão no entorno de todo o perfil de borracha, conforme pode ser visualizado na Figura 38.



Figura 38 - Envolvimento do cordão no perfil de borracha
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Em seguida é feita a aplicação de fluido lubrificante na estrutura do ônibus a fim de facilitar a montagem, conforme Figura 39.



Figura 39 - Aplicação de lubrificante
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013

A seguir a janela é aproximada na estrutura do ônibus, conforme se pode visualizar na Figura 40. Tal procedimento é realizado por dois colaboradores, sendo que, para tal, os mesmos ficam sobre uma plataforma móvel.



Figura 40 - Janela sendo posicionada para montagem
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

No momento em que a janela é posicionada na parte externa, os funcionários impulsionam a mesma contra a estrutura, sendo que na parte interna um funcionário puxa o cordão, a fim de permitir o encaixe do perfil de borracha na estrutura do ônibus, conforme pode ser visualizado na Figura 41.



Figura 41 - Funcionário puxando o cordão
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Na Figura 42, é possível observar o funcionário deferir pancadas com um martelo de borracha, tal operação é necessária, pois seria impossível a janela realizar o encaixe na estrutura do ônibus. Cabe ressaltar que essa operação é realizada ao mesmo tempo em que o operador na parte interna do ônibus puxa o cordão.



Figura 42 - Pancadas com martelo de borracha
Fonte: Comil ônibus S.A, 2013.

Assim, tal procedimento envolve inúmeros inconvenientes, sendo que os colaboradores, ao deferir pancadas contra o vidro, podem quebrar o mesmo e acabar se ferindo, bem como, devido ao esforço excessivo, essa tarefa pode provocar elevada rotatividade no setor. Ainda há outro inconveniente importante, pois para puxar o cordão também é necessário certo esforço, sendo que, em muitas ocasiões, não é possível a retirada desse cordão e o mesmo fica então encoberto de forma definitiva embaixo do perfil de borracha. Tal fato ocorre porque o esforço do funcionário não é suficiente para que o mesmo seja retirado, mesmo utilizando luvas de proteção, as quais oferecem boa aderência.

Dessa forma, após análise do processo de montagem das janelas de ônibus urbano, pode-se constatar a real dificuldade encontrada pelos funcionários. Sendo assim, então, realizadas tais considerações, para a resolução do problema será aplicada uma das metodologias projetuais citadas anteriormente, a qual conduzirá a uma solução para a dificuldade atual.

Tratando-se do processo de montagem, cabe ressaltar que atualmente o processo é único, sendo o mesmo caracterizado por ser de forma totalmente artesanal, sendo necessária a utilização de três colaboradores para a colocação de cada janela. Sendo assim, tal processo acarreta inúmeros inconvenientes, tais como desperdício de material, rotatividade elevada no setor, bem como tempos de produção elevados.

Com relação ao tempo de montagem, considerando-se um ônibus urbano básico, e a utilização de cronômetro, observa-se, na Tabela 2, a coleta de cinco tempos de montagem.

Tabela 2 - Tempos de montagem para janela de ônibus urbano

TEMPOS DE MONTAGEM	
Tempo de montagem 01	5 min e 25 s
Tempo de montagem 02	5 min
Tempo de montagem 03	6 min e 10 s
Tempo de montagem 04	5 min e 40 s
Tempo de montagem 05	6 min e 12 s

Com base nas informações da Tabela 2, é possível estimar um tempo médio de montagem de 5 min e 45 s, considerando-se que um ônibus urbano básico dispõe de 12 janelas, serão necessários então cerca de 65 min para a montagem dessas na estrutura do ônibus urbano.

Enfim, as informações apresentadas no presente capítulo com relação às metodologias projetuais mais difundidas atualmente, normas técnicas e apresentação do processo de montagem das janelas de ônibus urbano são muito importantes para o desenvolvimento do presente trabalho, sendo que o acompanhamento do processo é fundamental, pois permite conhecer a real situação na prática, sendo possível ainda a verificação dos gargalos de produção. A aplicação das metodologias projetuais e o estudo em conjunto com o processo de montagem, permite chegar a uma solução que pode ser concretizada na prática, sendo possível ainda a identificação de pontos fortes e pontos fracos, bem como identificar se a solução encontrada é vantajosa, tanto do ponto de vista técnico como econômico. Importante salientar ainda que as metodologias projetuais podem ser adaptadas facilmente tanto para processo como para projeto de produto, destacando-se assim a sua versatilidade.

3.5 Esclarecimento do problema e elaboração da lista de requisitos

Dessa forma, como a tarefa definida é a melhoria no processo de montagem de janelas de ônibus urbano, com base nas necessidades do cliente e dos funcionários que realizam a montagem, tais necessidades foram transformadas em requisitos de projeto, sendo então criada a lista de requisitos seguindo a linha mestra, conforme modelo apresentado na Figura 4 (p. 15). Na tabela 3, visualiza-se a lista de requisitos proposta por Pahl et al. (2005).

Tabela 3 - Linha mestra com lista de requisitos

LINHA MESTRA COM LISTA DE REQUISITOS		
Característica principal	Obriga�o/Desejo	Requisitos
1. Geometria	O	1.1 Atender as normas
2. Cinemática	O	2.2 Abertura para ambos os lados
3. Forças	O	3.1 Considerar forças atuantes no conjunto
4. Energia	O	4.1 Abertura manual
5. Material	O	5.1 Material de baixa densidade
	O	5.2 Durabilidade
	O	5.3 Vedação para evitar entrada de água e pó
6. Segurança	O	6.1 Prover de dispositivo para ejeção da janela
7. Ergonomia	D	7.1 Abertura e fechamento suave
	D	7.2 Boa visualização do ambiente externo
	O	7.3 Baixo ruído
8. Produção	D	8.1 Utilizar componentes padronizados
	O	8.2 Atender normas
9. Controle de qualidade	O	9.1 Verificar acabamentos
	O	9.2 Verificar alinhamento dos componentes
	O	9.3 Teste de estanqueidade
10. Montagem	O	10.1 Montagem fácil e rápida
	O	10.2 Montagem sem esforço excessivo
11. Operação	O	11.1 Possuir componentes simples
12. Manutenção	O	12.1 Peças de fácil acesso no mercado
	D	12.3 Possuir poucos componentes
13. Custos	O	13.1 Custos de produção compatíveis
14. Reciclagem	D	14.1 Materiais com bom reprocessamento

3.6 Procedimento de abstração

Segundo Phal et al. (2005), nenhum princípio de solução pode ser considerado ótimo por longo prazo, sendo que a descoberta de novas tecnologias, materiais, processos de trabalho sempre anunciam novas e melhores soluções técnicas. Na abstração, busca-se conhecer o geral e o principal, chegando ao ponto principal do problema. Portanto, se a abstração for realizada de forma correta, então a função global e as condicionantes principais que caracterizam a problemática são identificáveis, sem fixar um tipo particular de solução. Para Pahl et al. (2005), o geral e o principal de uma tarefa podem ser obtidos de forma relativamente simples na lista de requisitos por meio de uma análise com respeito às relações funcionais e principais condicionantes específicas da tarefa e a abstração simultânea. Dessa forma, para a abstração são necessárias cinco etapas: 1. Suprimir vontades mentalmente; 2. Somente considerar requisitos que afetam diretamente as funções e as principais

condicionantes; 3. Converter dados quantitativos em qualitativos; nessa conversão, reduzi-los a asserções essenciais; 4. Ampliar de forma adequada o que foi percebido; e 5. Formular o problema de forma neutra quanto à solução.

Na Tabela 4, é possível verificar o resultado de cada etapa para o procedimento de abstração.

Tabela 4 - Resultado do processo de abstração

<p>Resultado da 1ª e 2ª etapas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forças que não causem danos na borracha de vedação e demais componentes. • Possibilidade de dobrar a aba da borracha de vedação da janela. • Mudança dos componentes da janela (perfil de borracha e alumínio). • Mudança nos vidros. • Mudança na estrutura do ônibus urbano. • Projeto simples. • Dispositivos e ferramentas de montagem.
<p>Resultado da 3ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diferentes formas de dobrar o perfil de borracha. • Forças na montagem não devem danificar o perfil de borracha. • Diferentes ferramentas de montagem. • Diferentes dispositivos de montagem.
<p>Resultado da 4ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formas diferentes para realizar a dobra do perfil de borracha. • Forças durante a montagem não podem danificar a borracha de vedação e outros componentes. • Utilização de ferramentas de montagem variadas. • Utilização de dispositivos de montagem para dobrar a aba da borracha.
<p>Resultado da 5ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realização da montagem da janela do ônibus urbano, valendo-se de procedimento simples, o qual não venha danificar os componentes principais da janela.

Realizadas as formulações listadas na Tabela 4, percebe-se o quanto as mesmas são úteis para a elaboração da função global do problema.

3.7 Elaboração da função global e estrutura de funções

Como citado anteriormente, o procedimento de abstração encerra a inter-relação funcional, ou seja, o objetivo visado. Dessa forma, como o presente trabalho tem como objetivo principal analisar o processo de montagem de janelas de ônibus urbano, e com isso propor alternativas de melhoria, então a função global será “**Montagem da janela na estrutura do ônibus**”, sendo a representação da função global (F.G) e subfunções, demonstradas na figura 43.



Figura 43 - Estrutura de função

Como se pode perceber na Figura 43, a função global do sistema possui as entradas e saídas, sendo essas fundamentais para que essa função possa ser atendida.

Cabe ressaltar que a função global pode ser dividida em duas estruturas de função independentes, sendo uma delas a abordagem da construção de um dispositivo de montagem, enquanto que, a outra, é a modificação do projeto atual da janela do ônibus urbano, sendo isso possível somente a partir da modificação dos componentes da janela, tais como novo projeto de perfil de borracha, de alumínio, ou mudança na própria estrutura do ônibus urbano.

Dessa forma, como pôde ser observado na Figura 43, a função global foi desdobrada em duas subfunções principais, sendo que cada uma delas possui funções elementares. Portanto, existem dois caminhos que podem ser seguidos a partir da função global, ou seja, a contemplação de um novo projeto das peças que compõem a janela do ônibus urbano, ou o projeto de um dispositivo de montagem, conforme pode ser visualizado na Figura 44.

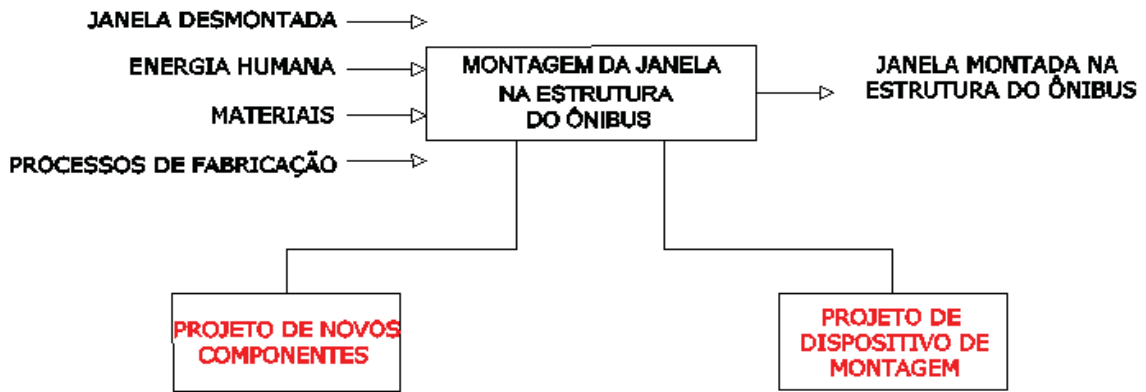


Figura 44 - Subfunções principais

Estabelecida então a função global e conhecendo-se as duas subfunções básicas, inicia-se a elaboração da estrutura de funções, a qual resulta diretamente na formulação do problema. A estrutura de funções deve ser o mais simples possível, pois dessa forma conduz a sistemas simples e viáveis economicamente. Além disso, através da análise da estrutura de funções, pode-se identificar para quais subfunções devem ser encontradas novos princípios de funcionamento e para quais podem ser utilizadas soluções já existentes. Na Figura 45, visualiza-se a estrutura de função para cada subfunção apontada a partir da Figura 44.

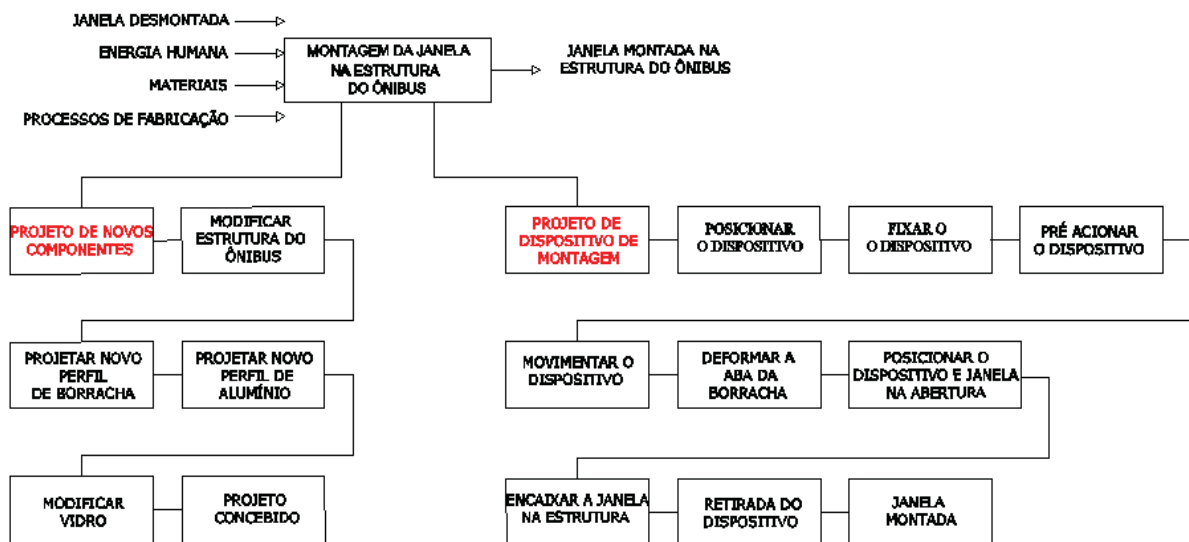


Figura 45 - Estrutura de função

Na Figura 45, observa-se o desenvolvimento da estrutura de funcionamento para a montagem da janela na estrutura do ônibus urbano, sendo que a função global é disposta de duas subfunções básicas, as quais seguem com funções elementares ou variantes, sendo que,

para continuidade do trabalho, será realizada uma avaliação das duas subfunções, para que seja selecionada aquela de maior pontuação.

Como não se conhece o impacto que cada uma dessas subfunções exercerá no processo, foram criados critérios de avaliação segundo a VDI 2225 para uma avaliação grosseira de 0 a 4 pontos, sendo que alguns desses critérios foram retirados da lista de requisitos (boa vedação, baixo ruído interno, facilidade de montagem, facilidade de manutenção, acessibilidade das peças e custos de fabricação), enquanto que outros atribuídos de acordo com experiência própria. A partir daí, então, através de análise comparativa, atribuiu-se valores para cada critério, sendo que aquele que obteve maior somatório será o indicado para dar seguimento ao trabalho. Os critérios e a respectiva avaliação com pontuação podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 - Avaliação das subfunções

<i>AVALIAÇÃO DAS SUBFUNÇÕES</i>		
<i>CRITÉRIOS</i>	<i>PROJETO DE NOVOS COMPONENTES</i>	<i>PROJETO DE DISPOSITIVO DE MONTAGEM</i>
Aceitação no mercado	1	3
Acessibilidade das peças	2	4
Boa vedação	1	3
Custos de fabricação	1	2
Fácil manutenção	4	1
Fácil montagem	3	1
Mudança no processo atual	0	4
Ruído interno	2	3
Tempo de desenvolvimento	1	3
Tempo de montagem	2	3
TOTAL	$\Sigma = 17$	$\Sigma = 27$

<i>CRITÉRIOS QUALITATIVOS</i>		
0 = INSATISFATÓRIA	2 = SUFICIENTE	4 = MUITO BOA (IDEAL)
1 = SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL	3 = BOA	

Em análise da Tabela 5, o maior somatório obtido foi para a subfunção que aponta para a fabricação de um dispositivo de montagem da janela na estrutura do ônibus, sendo que a diferença para a outra subfunção foi relativamente elevada, portanto a criação do dispositivo de montagem apresenta-se mais vantajosa. É preciso salientar que o novo projeto dos componentes da janela ou da própria estrutura do ônibus urbano implicaria na mudança do

processo produtivo, além da necessidade da troca ou da procura por novos fornecedores dos principais componentes da janela do ônibus urbano.

Portanto, com base na subfunção selecionada, no caso a construção de um dispositivo para montagem das janelas do ônibus urbano, é necessária a busca de soluções, ou seja, é preciso que sejam encontradas soluções a fim de atender à função global do sistema. A partir da subfunção selecionada, conforme Figura 46, é necessária a busca por princípios de funcionamento para cada variante apresentada.

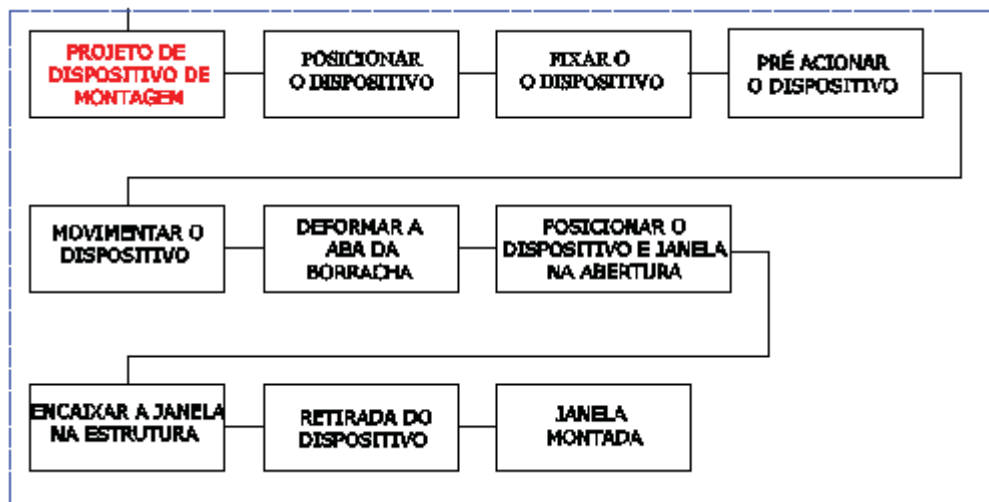


Figura 46 - Subfunção selecionada

Para cada variante apresentada na Figura 46, devem ser encontrados princípios de funcionamento, os quais serão combinados posteriormente na estrutura de funcionamento, sendo que, para a busca de soluções, podem ser selecionados princípios de trabalho já existentes, e, no caso de novas soluções, levado em consideração que essas devem ser o mais simples possível, para que sejam viáveis economicamente.

Então, para atender à função, o princípio de funcionamento inclui a necessidade da ocorrência do efeito físico, além da consideração das características geométricas dos materiais, sendo que para o atendimento de uma subfunção, podem estar envolvidos diversos efeitos físicos em um ou mais portadores da função. Para Koller (1996), catálogos de efeitos físicos também são auxílios importantes na busca dos princípios de funcionamento.

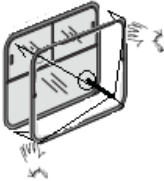

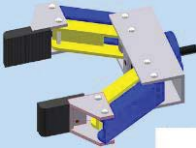

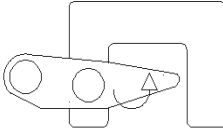






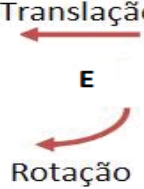

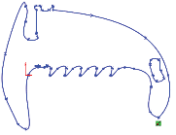
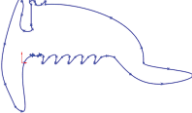

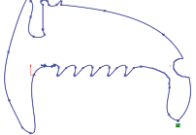
Segundo Pahl et al. (2005), os princípios de funcionamento devem ser ordenados em modelo, o qual se assemelha com uma matriz, sendo que as funções principais reconhecidas devem ser apresentadas em ordenadas (y) e as correspondentes soluções encontradas para cada variante representadas nas abcissas (x).

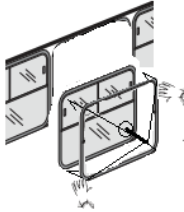


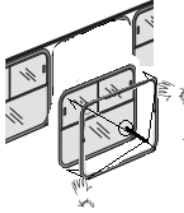







Na Tabela 6, é apresentado o esquema para ordenamento das soluções encontradas para a subfunção de criação de um dispositivo de montagem, sendo que, para cada variante da estrutura de função, foram encontrados princípios de funcionamento, sendo alguns conhecidos enquanto que outros surgem como novas alternativas de solução. A elaboração da Tabela 6 baseou-se na seguinte metodologia:

- Foi dada prioridade às funções principais, ou seja, funções que são determinantes da solução global do problema e também para aquelas funções que não tinham um princípio de solução.
- Nos princípios de funcionamento desconhecidos, procurou-se obtê-los a partir do efeito físico correspondente.
- As soluções foram anotadas e analisadas, restringindo algumas e generalizando outras.
- Foram anotadas propriedades importantes e já reconhecidas e que estão ligadas diretamente com o princípio de funcionamento.

A metodologia descrita acima foi de grande importância, sendo que a mesma baseou-se nas recomendações descritas por Pahl et al. (2005); no entanto, deve ser lembrado que mesmo seguindo a metodologia apropriada, percebe-se claramente que se deve deixar de lado a capacidade intelectual do Engenheiro ou Projetista, pois a experiência profissional demonstra ser um fator importante para a busca de soluções.

Tabela 6 - Função global para gabarito de montagem da janela

SOLUÇÕES		1	2	3	4
SUBFUNÇÕES					
V1	Posicionar o dispositivo	 Manual	 Talha		
V2	Fixar o dispositivo	 Garra mecânica	 Garra pneumática	 Grampo de fixação	
V3	Pré – acionar o dispositivo	 Manual	 Pneumático	 Elétrico	 Hidráulico
V4	Movimentar o dispositivo	 Translação	 Rotação	 Translação E Rotação	 Rotação E Angular
V5	Deformar a aba da borracha	 Bolsa de Dilatação	 Flexibilidade natural	 Raio interno na aba borracha	 Raio externo na aba




























V6	Posicionar o dispositivo e janela na abertura do ônibus	 Manual	 Ventosa	 Talha	
V7	Encaixar a janela na estrutura	 Manual	 Ventosa	 Talha	 Martelo Borracha
V8	Retirada do dispositivo	 Manual	 Pneumático	 Elétrico	 Hidráulico

Conforme a Tabela 6, para cada variante existem princípios de funcionamento, portanto a determinação de cada princípio não é simples, sendo que a experiência do projetista ou engenheiro nessa etapa é de fundamental importância, pois além desses possuírem um vasto campo para busca de soluções, é preciso que seja escolhida a solução correta para que o dispositivo funcione e que esse tenha um bom desempenho.

3.8 Combinação dos princípios de funcionamento

Estabelecidos os princípios de funcionamento para cada variante, é necessário que esses princípios sejam combinados, sendo que para tal pode-se utilizar a matriz de compatibilidade apresentada na Figura 12 (p. 22). A matriz de compatibilidade é um método muito útil para realizar a combinação, pois, a partir dessa, pode-se prever se a solução pode ser totalmente satisfeita ou não, ou se pode ser satisfeita parcialmente.

Cabe ressaltar que a matriz de compatibilidade é um dos métodos utilizados para a combinação das soluções sendo que além desse, encontram-se outros procedimentos, os quais envolvem a avaliação e comparação das soluções com o auxílio de modelos matemáticos, a própria experiência do projetista e engenheiro, bem como na análise da disponibilidade das peças desse produto no mercado, e toda a logística, levando em consideração ainda a busca por soluções simples. Na Figura 47, visualiza-se o processo de combinação das soluções.

SOLUÇÕES		1	2	3	4
SUBFUNÇÕES					
1	Posicionar o dispositivo	 Manual			
2	Fixar o dispositivo	 Garra mecânica	 Garra pneumática	 Grampo de fixação	
3	Pré-acionar o dispositivo	 Manual	 Pneumático	 Elétrico	 Hidráulico
4	Movimentar o dispositivo	 Translação	 Rotação	 Translação	 Rotação Angular
5	Deformar a aba da borracha	 Bolsa de Dilatação	 Flexibilidade natural	 Raio interno na aba borracha	 Raio externo na aba
6	Posicionar o dispositivo e janela na abertura do ônibus	 Manual	 Ventosa	 Talha	
7	Encaixar a janela na estrutura	 Manual	 Ventosa	 Talha	 Martelo Borracha
8	Retirada do dispositivo	 Manual	 Pneumático	 Elétrico	 Hidráulico

V2 V1

Figura 47 - Escolha das soluções

Com o auxílio da matriz de compatibilidade, surgiram duas soluções para o estudo em questão, portanto a fim de tomar uma decisão segura e vantajosa quanto à solução, será necessário transformar as estruturas de funcionamento em esboços simples, mas que esses possam traduzir a idéia principal. Não é necessária a criação dos esboços em modelo 3D, sendo que Pahl et al. (2005) apresentam esses em forma de vistas, mas com indicações dos principais componentes e funções principais.

Em análise da Figura 47, a solução 1 consiste em um dispositivo automatizado o qual é posicionado manualmente no perfil de borracha, sendo que para pressionar a aba da borracha são utilizadas garras pneumáticas, sendo que para realizar a operação são executados dois movimentos simultâneos, um movimento de rotação e outro angular. A borracha de vedação vai deformar naturalmente e o dispositivo ficará preso no perfil de borracha, sendo o conjunto posicionado na estrutura do ônibus com o auxílio de ventosa para transporte de materiais, sendo essa somente retirada quando a janela estiver no lugar. Para a retirada do dispositivo de montagem, devem ser acionados comandos pneumáticos.

Na solução 2, o dispositivo é posicionado manualmente na aba da borracha, sendo que esse não é automatizado e para pressionar a aba da borracha será utilizado um grampo, o qual é dotado de uma alavanca. Após fixar o grampo na borracha de vedação, executa-se um movimento de rotação na alavanca, sendo que com isso a borracha deformará naturalmente a alavanca ficará presa em um gabarito externo, a fim de manter a borracha deformada. O transporte da janela até a estrutura do ônibus urbano será realizada com o auxílio de ventosa para transporte de cargas, sendo essa somente retirada no final da montagem. A retirada do dispositivo será realizada manualmente.

3.9 Concretização em variantes de concepção

Para ser tomar uma decisão segura com relação a mais vantajosa variante do conceito, é preciso que as soluções encontradas sejam transformadas em desenhos de esboço, porém muitas vezes um esboço não é suficiente para avaliar com eficácia a solução proposta, sendo necessária a execução de cálculos preliminares e estudos cinemáticos.

A partir das combinações selecionadas na Figura 47, tem-se 2 soluções para que a função global possa ser atendida, dessa forma criou-se dois desenhos de esboço, os quais pudessem representar as respectivas soluções. Na Figura 48, visualiza-se o desenho de esboço da vista lateral para a solução V1.

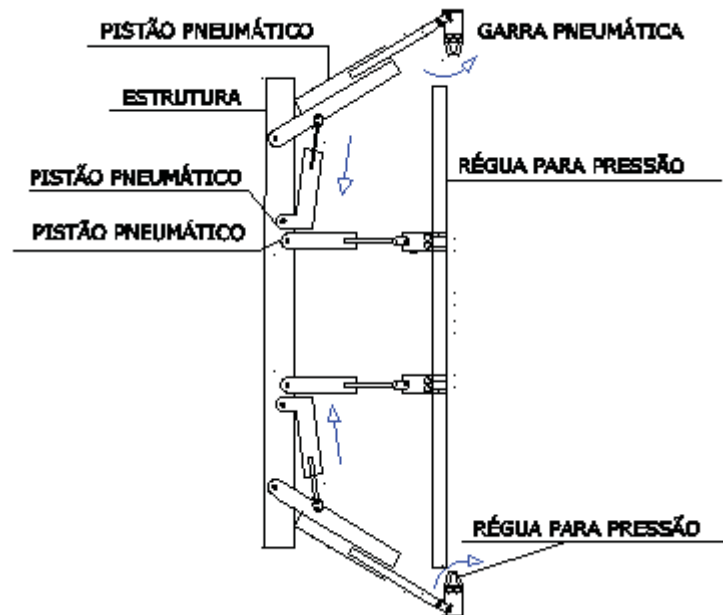


Figura 48 - Vista lateral do esboço da Variante V1

Na Figura 49, visualiza-se a vista frontal para a solução V1, sendo que nessa disposição é possível a identificação da quantidade de pistões pneumáticos e de garras pneumáticas necessárias para a fabricação do dispositivo.

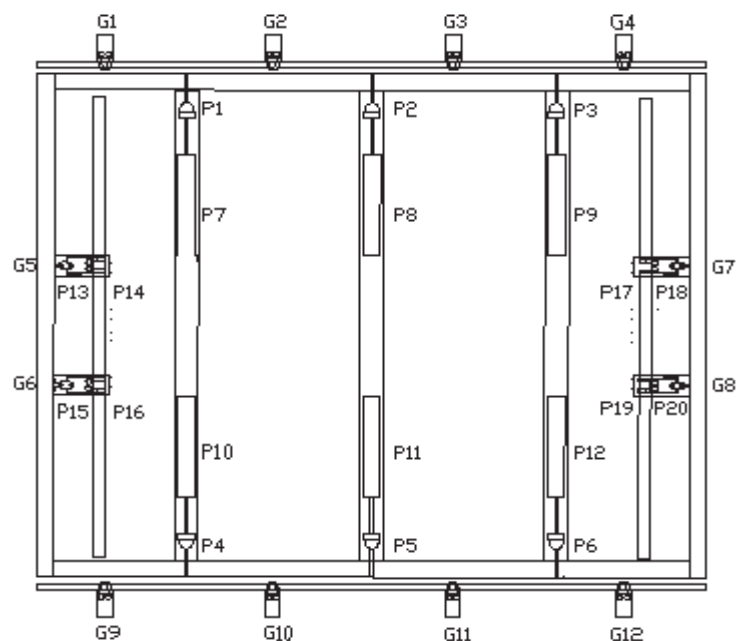


Figura 49 - Vista frontal do esboço da Variante V1

A solução V1 necessita de um dispositivo para realizar a dobra do perfil de borracha principal, sendo esse com princípio de funcionamento pneumático, dotado de garras

pneumáticas presas a pistões pneumáticos. Quando as garras são acionadas, prendem o perfil de borracha, sendo depois o pistão acionado e com isso ocorre o movimento de rotação das garras pneumáticas. O pistão realiza ainda um movimento angular a fim de baixar totalmente a aba do perfil de borracha para que, durante a montagem, as garras pneumáticas não entrem em contato com a estrutura do ônibus. Pela disposição do esboço, verifica-se a necessidade de 20 pistões pneumáticos e 12 garras pneumáticas, sendo todos esses componentes fixados a uma estrutura através de parafusos e processo de soldagem.

A proposta da solução V1, ou seja, um dispositivo com princípio de acionamento pneumático é um tanto complexa e provavelmente de custo elevado, devendo considerar ainda a existência de outros inconvenientes associados que serão descritos adiante. Na Figura 50, é apresentado o desenho de esboço para a variante V2, o qual é um dispositivo simplificado se comparado a variante V1.

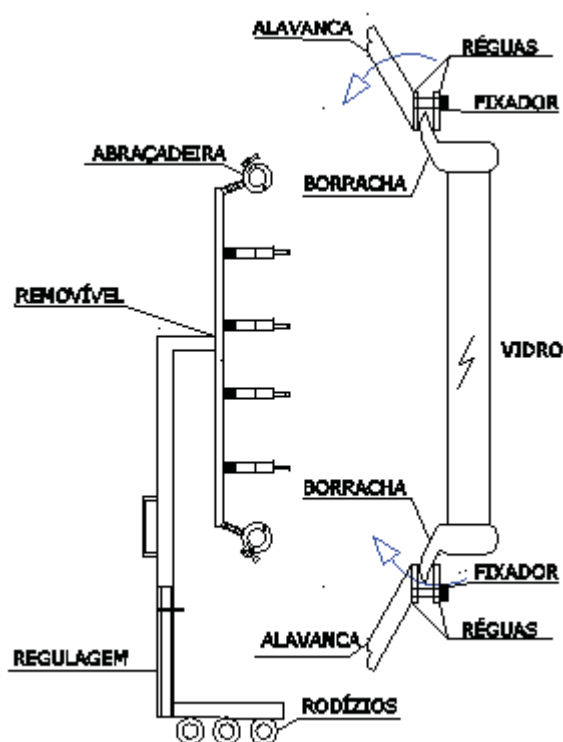


Figura 50 - Variante V2

A solução V2 necessita de pares de réguas, as quais têm a função de exercer pressão no perfil de borracha. As réguas exercem pressão na borracha através de parafusos ou pinos de fixação rápida, os quais são fixados rapidamente com parafusadeira pneumática, elétrica e no caso de pinos a fixação pode ser manual. O dispositivo é dotado de 8 pares de réguas, pois

a janela na extremidade possui um raio longo, sendo impossível a dobra simultânea da aba da borracha.

Ressalta-se ainda que as réguas estendem-se no comprimento da borracha, garantindo assim a aplicação de pressão de modo uniforme. A fixação das réguas com parafusos pode também ser substituída por grampos de fácil e rápida fixação, conforme já mencionado acima.

Destaca-se ainda que as réguas possuem uma alavanca, a qual permitirá ao funcionário realizar um momento para a dobra do perfil de borracha. Quando cada alavanca for acionada, ficará presa por braçadeiras montadas em uma estrutura móvel. Após a execução dos desenhos de esboço é necessário que as duas variantes encontradas sejam avaliadas.

3.10 Avaliação das variantes V1 e V2

Com o esboço das soluções apresentados, prosseguiu-se então para a etapa de avaliação, pois as variantes de solução V1 e V2 necessitam ser melhor concretizadas antes da avaliação final. Na avaliação serão aplicados critérios mais detalhados e na medida do possível, quantificáveis, sendo que a avaliação envolve a atribuição de valores técnicos, ecológicos, econômicos e de segurança.

A avaliação não pode se limitar somente a custos de produção, aspectos de segurança, ergonomia ou meio ambiente, mas sim em conformidade com os objetivos gerais e principalmente a lista de requisitos. Para esse processo existem métodos de avaliação, sendo esses aplicados universalmente tanto para sistemas técnicos como para sistemas não técnicos. Devido à natureza trabalhosa desses métodos de avaliação, os mesmos são empregados somente após o encerramento das etapas de trabalho mais importantes, a fim de calcular o valor global alcançado por uma solução.

A árvore de objetivos segue a linha de raciocínio utilizada na casa da qualidade (QFD), sendo que para ambos são atribuídos fatores de avaliação. Para realizar a ponderação, foram descritos objetivos, os quais são derivados das necessidades da lista de requisitos, da análise da função global do sistema e também da experiência do avaliador com relação ao produto ou sistema desenvolvido.

Na Figura 51, é apresentada a árvore de objetivos com os respectivos fatores de ponderação, os quais serão utilizados na avaliação das variantes V1 e V2, a mesma segue o modelo apresentado na Figura 13 (p. 24).

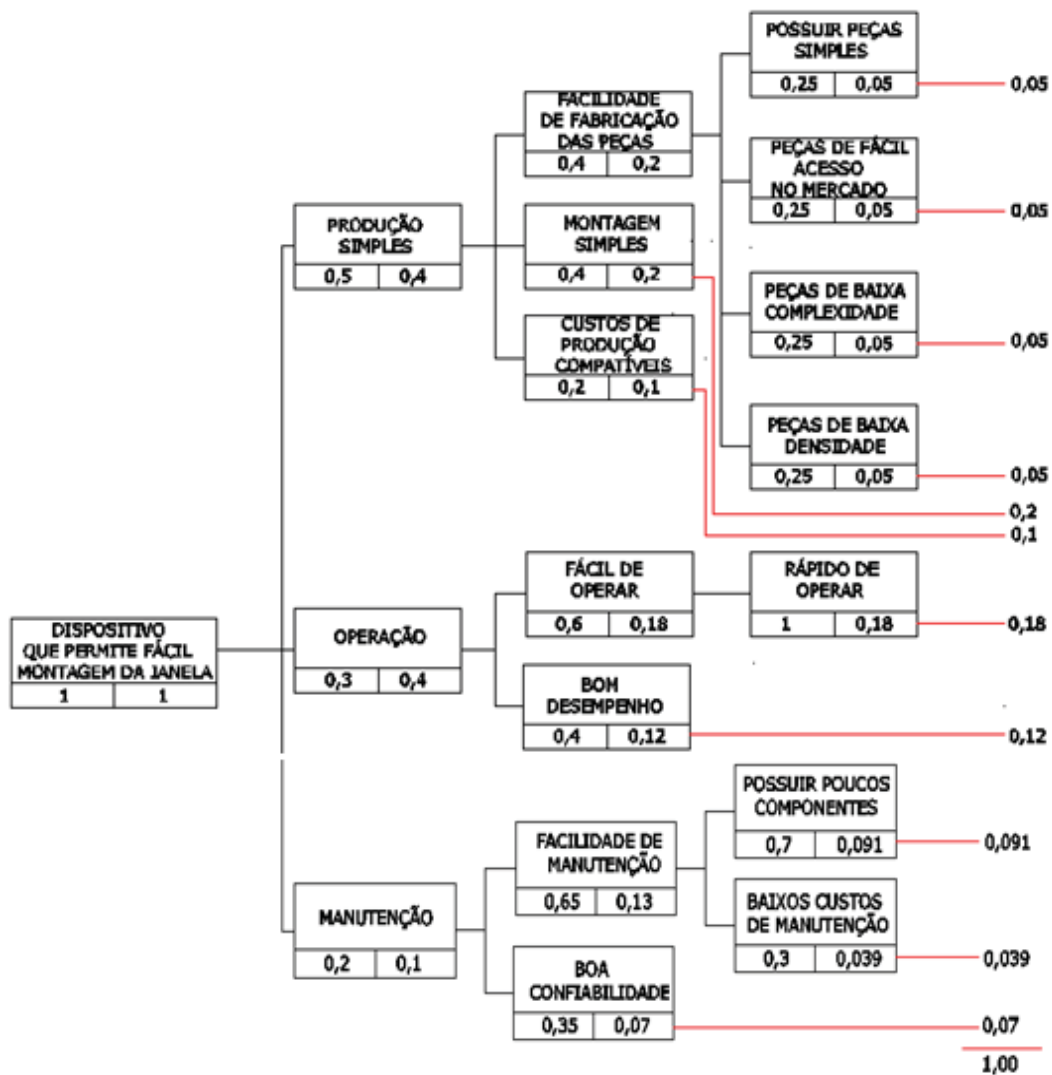


Figura 51 - Árvore de objetivos

Os fatores de ponderação visualizados na Figura 51 são obtidos através da análise por etapas, ou seja, dos objetivos de maior complexidade para os de menor complexidade. Por exemplo, pondera-se as metas do segundo nível com relação ao primeiro nível e assim sucessivamente. O valor numérico é obtido através da multiplicação do fator de ponderação desse nível pelos fatores de ponderação de níveis superiores, sendo que a soma dos fatores de ponderação de qualquer nível de metas deve ser sempre igual a 1.

Após conhecer os respectivos fatores de ponderação dos parâmetros objetivos, é necessário que os mesmos sejam avaliados a partir de uma escala de valores utilizada pela VDI 2225, sendo 0 e 4 os pontos extremos, onde 4 é uma situação extremamente boa, enquanto que 0, uma situação inconcebível. Na Figura 52, observa-se o esquema de avaliação utilizado pela VDI 2225.

Escala de valores		Magnitude dos parâmetros										
Análise de valor pontos	VDI 2225 Pontos	Possuir peças simples	Peças de fácil acesso no mercado	Peças de baixa complexidade	Peças de baixa densidade	Montagem simples	Custos de produção compatíveis	Rápido de operar	Bom desempenho	Possuir poucos componentes	Baixos custo de manutenção	Boa confiabilidade
0	0	Muito complexas	Muito difícil	Muito complexas	8,91	Muito difícil	Muito Alto	13	7	Muito elevado	Muito Alto	Muito baixa
1								12				
2	1	Complexas	Difícil	Complexas	7,96	Difícil	Alto	11	9	Elevado	Alto	Baixa
3								10				
4	2	Baixa complexidade	Regular	Alguma complexidade	6	Regular	Médio	9	10	Médio	Médio	Média
5								8				
6	3	Simple	Boa	Simple	4	Fácil	Baixo	7	12	Poucos	Baixo	Alta
7								6				
8	4	Muito simples	Muito boa	Muito simples	2,74	Muito fácil	Muito baixo	5	18	Muito poucos	Muito baixo	Muito alta
9								4				
10								3				

Figura 52 - Esquema de avaliação para atribuição de valores aos parâmetros objetivos

Portanto, a avaliação da VDI 2225 baseia-se nas características de cada objetivo-meta, por exemplo, com relação ao objetivo-meta **montagem simples** da Figura 52, será atribuído o valor 4 somente se a montagem for muito fácil e 0 se a montagem for muito difícil, sendo que para alguns objetivos podem ser utilizados valores numéricos, como é o caso do objetivo-meta **peças de baixa densidade**, onde avalia-se o peso dos materiais em g/cm^3 .

Importante ressaltar ainda que além da VDI 2225, existem outros métodos utilizados para a avaliação dos parâmetros objetivos, sendo também utilizada a escala de Likert da Engenharia de Produto, a qual também propõe uma escala de pontuação de 0 a 4 pontos, onde 0 indica que o requisito não foi atendido, enquanto que 4 indica que o requisito foi atendido plenamente. No entanto optou-se pela avaliação proposta pela VDI 2225, pois foi seguido a metodologia projetual de Pahl e Beitz (2005), sendo que os mesmos utilizam esse modelo de avaliação em seu trabalho.

Após a atribuição de valores para os parâmetros objetivos, segue na Figura 53 a avaliação das duas variantes de solução do dispositivo de montagem de janelas de ônibus urbano, seguindo modelo da Figura 15 (p. 25).

Critério de avaliação			Parâmetros		Solução 1			Solução 2		
Nr.	Título	Fator	Nome	unidade	Caract. (ei1)	Valor (wi1)	Valor pond.	Caract. (ei2)	Valor (wi2)	Valor pond.
1	Possuir peças simples	0,05	Complexidade das peças	-	Simple	3	0,15	Muito Simple	4	0,2
2	Peças de fácil acesso no mercado	0,05	Acessibilidade	-	Boa	3	0,15	Muito Boa	4	0,2
3	Peças de baixa complexidade	0,05	Complexidade das peças	-	Baixa	2	0,1	Muito simples	4	0,2
4	Peças de baixa densidade	0,05	Densidade dos componentes	g/cm^3	7,96	1	0,05	Muito simples	1	0,05
5	Montagem simples	0,2	Simplicidade de montagem	-	Regular	2	0,4	Fácil	3	0,6
6	Custos de produção compatíveis	0,1	Custos de produção	-	Médio	2	0,2	Baixo	3	0,3
7	Rápido de operar	0,18	Tempo de preparação	(min)	5	4	0,72	4	4	0,72
8	Bom desempenho	0,12	Janelas montadas	Jan./hora	10	2	0,24	12	3	0,36
9	Possuir poucos componentes	0,091	Quantidade de componentes	-	Médio	2	0,182	Poucos	3	0,273
10	Baixos custo de manutenção	0,039	Custos de manutenção	-	Médio	2	0,078	Baixo	3	0,117
11	Boa confiabilidade	0,07	Segurança esperada	-	Média	2	0,14	Média	2	0,14
		$\sum g1 = 1$								
						Gw1 = 25	Gwg1 = 2,41		Gw2 = 34	Gwg2 = 3,16
						W1 = 0,57	Wg1 = 0,24		W2 = 0,77	Wg1 = 0,32

Figura 53 - Lista de avaliação para as variantes V1 e V2

Na Figura 53, encontra-se a lista de avaliação para as duas variantes de solução, sendo na primeira coluna dispostos os critérios advindos da árvore de objetivos, os quais foram retirados da lista de requisitos de acordo com o grau de importância, enquanto que outros atribuídos de acordo com a experiência própria.

Na segunda coluna encontram-se os respectivos fatores de ponderação, também retirados da árvore de objetivos, na terceira coluna os parâmetros para análise de cada critério, na quarta coluna as unidades de medida dos critérios de avaliação, e nas colunas seguintes, encontram-se as informações necessárias para a avaliação das variantes V1 e V2. O valor ponderado é obtido realizando a multiplicação do fator de ponderação pelo valor obtido na VDI 2225, no caso de 0 a 4 pontos, levando em consideração as características de cada critério.

Portanto, a partir da análise da Figura 53, percebe-se que a variante V2 possui o mais alto valor global, ou seja, $W2 = 0.77$, dessa forma a variante V2 vai prosseguir para a fase de anteprojeto.

3.11 Anteprojeto

Na fase de concepção são geradas soluções básicas, portanto na fase de anteprojeto é preciso ser dado ênfase à implantação das definições concretas de configuração de subconjuntos e componentes específicos, sendo seguida a metodologia adotada por Pahl et al. (2005), onde em um primeiro momento, a partir dos requisitos dominantes, das condições espaciais e da identificação dos portadores da função, surge o projeto do desenho preliminar, sendo que em seguida, com a busca de soluções para as funções auxiliares e os desenhos definitivos dos portadores da função principal, obtém-se o projeto do desenho detalhado e, por último, a partir da otimização e finalização do projeto, sendo já verificados os erros e as influências perturbadoras, basta completar e verificar, sendo após isso tomado uma decisão quanto ao projeto. A fase de anteprojeto segue a lista de verificação com as principais características para o projeto de forma, conforme Figura 16 (p. 26).

3.11.1 Identificação dos requisitos determinantes da configuração

A partir da análise da lista de requisitos e da função global, foram identificados os requisitos determinantes na configuração do sistema, sendo eles:

- Montagem fácil e rápida;
- Montagem sem esforço excessivo;
- Boa vedação;
- Baixo ruído;
- Peças simples;
- Dimensões da janela;
- Peças de fácil acesso no mercado.

Deve-se considerar que o dispositivo a ser projetado em momento algum deve entrar em contato com a estrutura do ônibus durante o procedimento de montagem.

3.11.2 Portadores da função principal

Na busca pelos portadores da função principal, avaliou-se a função global e principalmente a lista de requisitos, pois a solução deve obedecer sempre aos requisitos de projeto. Como portadores da função principal determinantes na configuração do sistema, podem ser listados os seguintes:

- Fixar o dispositivo na aba da borracha;
- Dobrar a aba da borracha.

Ressalta-se ainda a necessidade que a aba da borracha seja deformada, dessa forma o portador da função principal de maior importância e que deve ser configurado de modo adequado é a forma pela qual o dispositivo será fixado no perfil de borracha, sendo descrito, na Tabela 6 (p. 61), como a subfunção de fixar o dispositivo. Após ser realizada a fixação correta do dispositivo na aba da borracha, restam movimentos manuais para que a aba da borracha seja deformada.

3.11.3 Esboço da configuração dos portadores da função principal

A Figura 54 demonstra inicialmente o desenho de esboço para o portador da função principal, no caso em questão, realizar o procedimento de dobra da aba da borracha de vedação, componente o qual tem extrema importância no procedimento de montagem.

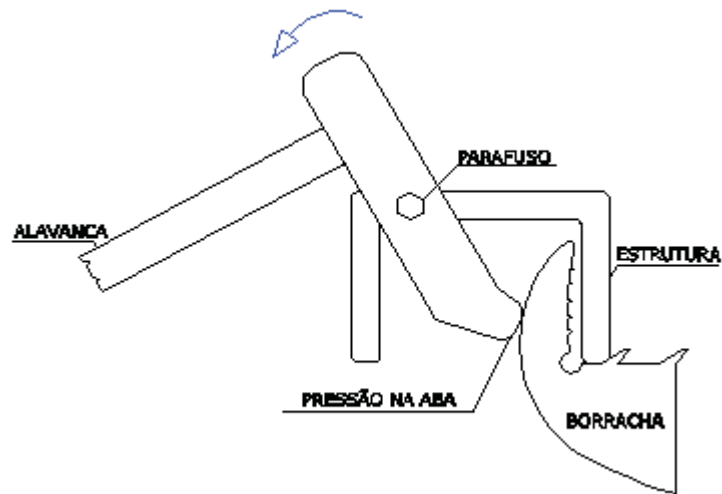


Figura 54 - Esboço 1 do portador da função principal

Em análise mais detalhada dos portadores da função principal, evidenciou-se que o esboço da Figura 54 não pode atender completamente a função principal, pois a alavanca ao ser movimentada fará com que a borracha seja pressionada contra a estrutura, mas como a estrutura não está fixa, inevitavelmente ela também irá realizar o movimento de rotação e, como consequência disso, a aba da borracha se desprenderá, sendo que a partir desse inconveniente, propõe-se um novo desenho de esboço para o portador da função principal.

Na figura 55, observa-se um novo desenho de esboço, o qual foi elaborado a partir do desenho de esboço da Figura 54.

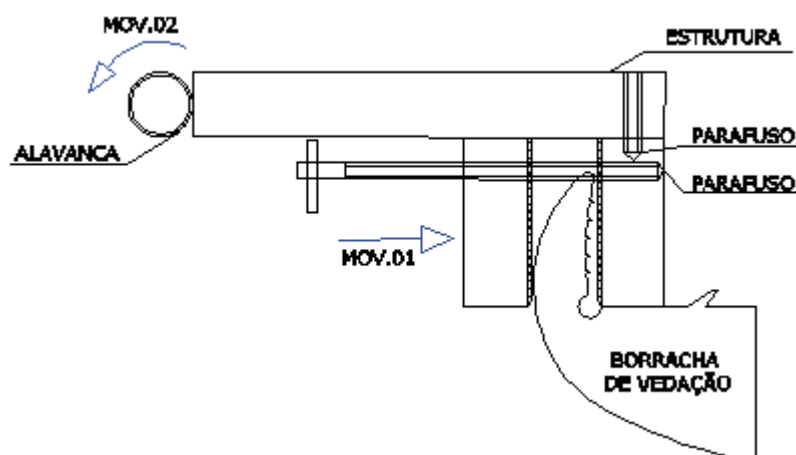


Figura 55 - Esboço 2 do portador da função principal

Com relação ao desenho de esboço da Figura 55, percebe-se que o princípio apresentado conseguirá realizar a função de pressionar a aba da borracha. No entanto, a fim de evitar que durante o giro da alavanca o dispositivo venha a tocar na estrutura da janela e no

vidro, foi necessário realizar um estudo de movimento. A Figura 56 demonstra a posição inicial do dispositivo, ou seja, antes de realizar a dobra do perfil de borracha.

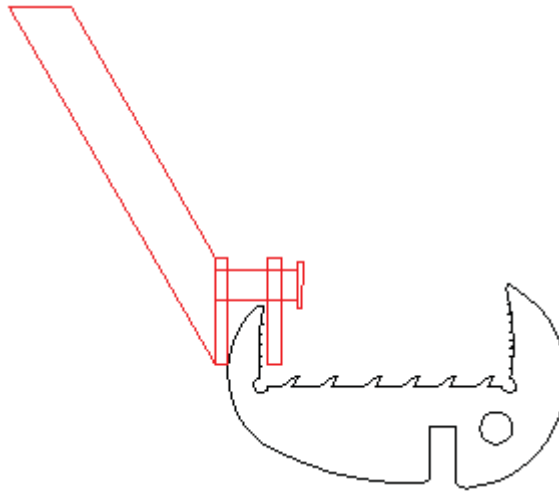


Figura 56 - Posição inicial

Com base na Figura 56, realizou-se uma simulação da dobra do perfil de borracha, a qual pode ser visualizada na Figura 57.

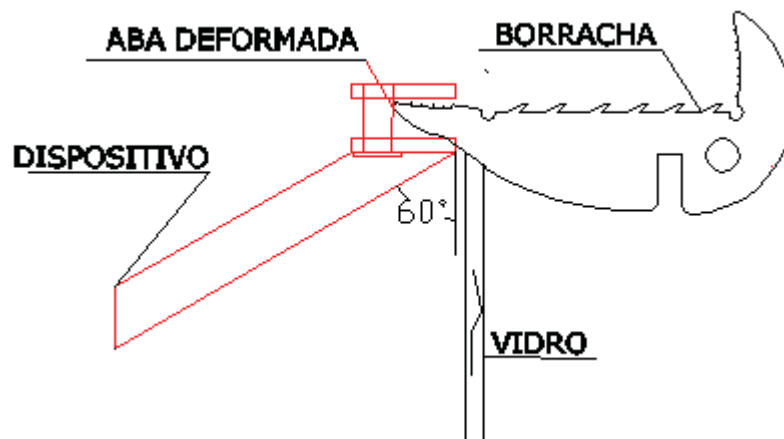


Figura 57 - Simulação de dobra da aba da borracha

Analisando a simulação apresentada na Figura 57, percebe-se a necessidade de modificação de geometria no dispositivo para que o mesmo não entre em contato com a estrutura do ônibus durante a montagem. Ressalta-se ainda que a alavanca necessita de um ângulo aproximado de 60° para que não entre em contato com o vidro. Portanto, a partir da análise da Figura 57, obteve-se um novo desenho de esboço para o portador da função principal, o qual pode ser visualizado na Figura 58.

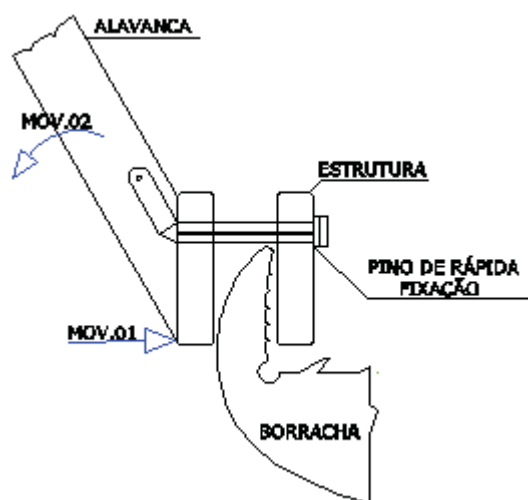


Figura 58 - Esboço portador da função principal

O esboço final demonstra um dispositivo dotado de um conjunto de réguas, sendo utilizados grampos tipo torpedo para pressionar a aba da borracha, sendo o dispositivo acionado manualmente através de uma alavanca com ângulo de 30° em relação a superfície das réguas.

3.11.4 Seleção de projetos de desenhos mais adequados

Com base nas informações obtidas através dos desenhos de esboço e análise da função global e da lista de requisitos, foi selecionada a configuração da Figura 58, sendo que essa é uma configuração com maior simplicidade, de baixo custo e de fácil manuseio.

3.11.5 Esboço dos demais portadores da função principal

Conforme a Figura 58, para realizar a função de dobrar a aba da borracha, é necessário pressionar a aba da borracha através de duas réguas, sendo que a pressão será exercida com o auxílio de grampos tipo torpedo com acionamento manual. O movimento da alavanca é fundamental para dobrar a aba da borracha. Na Tabela 7, seguem os portadores da função principal dependentes do projeto.

Tabela 7 - Portadores da função principal

Função	Portador da função	Parâmetros
Acomodar a aba da borracha	Réguas	Régua 1: 1320 mm x 23 mm Régua 2: 700 mm x 23 mm Régua 3: 140 mm x 23 mm Régua 4 : 300 mm x 11,50
Pressionar a aba da borracha	Grampo tipo torpedo	Ponteira M8 x 35
Dobrar a aba da borracha	Alavancas	Comp: 300 mm – Ângulo: 60°

A Figura 59 apresenta o desenho de esboço completo da vista frontal para o projeto de forma do dispositivo, sendo possível observar a disposição dos pares de réguas, os quais serão fixados na aba da borracha de vedação da janela do ônibus urbano. Importante salientar ainda que cada par de régua apresentado na Figura 59 possui uma alavanca, a qual será acionada manualmente a fim de realizar a dobra da aba da borracha.

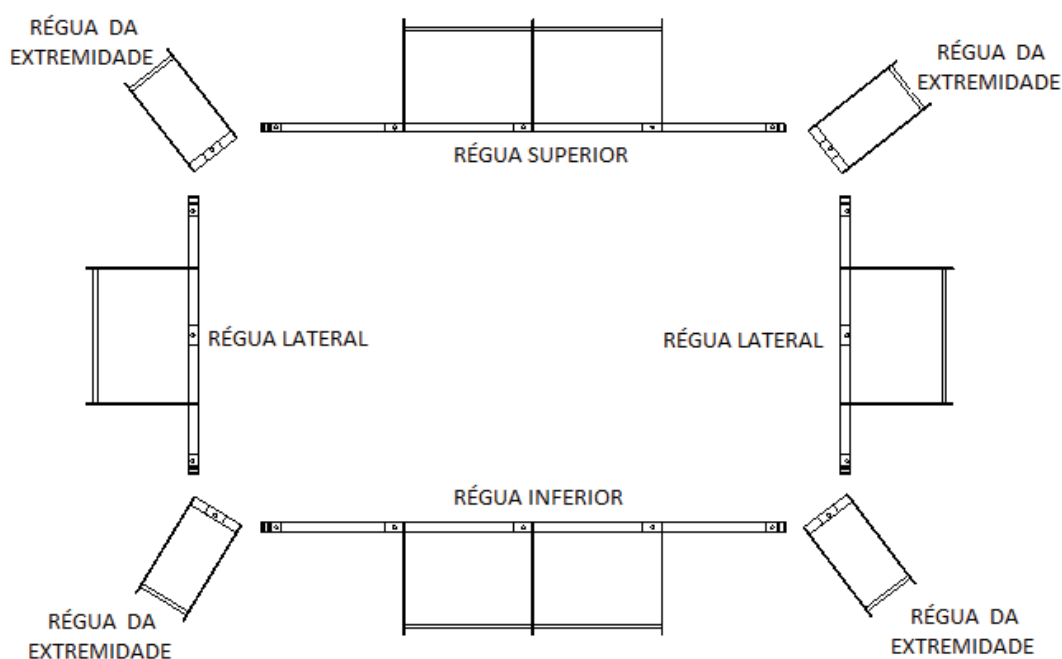


Figura 59- Esboço completo do projeto de forma

3.11.6 Busca de soluções para as funções auxiliares

Como já foram definidos os portadores da função principal, agora é necessária a busca de soluções para as funções auxiliares, lembrando que nesse estágio de trabalho, a interação de funções principais e auxiliares é muito maior, devido ao grau de informações mais elevado, sendo que se pode realizar uma subdivisão das funções auxiliares.

Para o dispositivo em questão, pode-se dizer que os portadores de funções auxiliares possibilitam o apoio dos portadores da função principal, sendo, então, encontrada a solução apresentada a seguir.

Definição da função auxiliar: ao realizar o giro da alavanca, a aba da borracha será deformada, no entanto, é preciso que essa se mantenha deformada até que a montagem termine, portanto como portador de função auxiliar, tem-se a necessidade de uma estrutura que mantenha a alavanca fixa após a aba da borracha ser deformada. Na Figura 60, visualiza-se o desenho de esboço para o portador da função auxiliar.

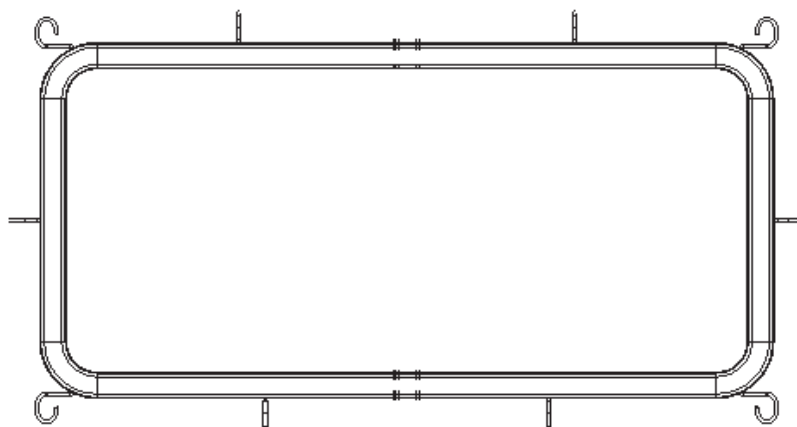


Figura 60 - Esboço para portador da função auxiliar

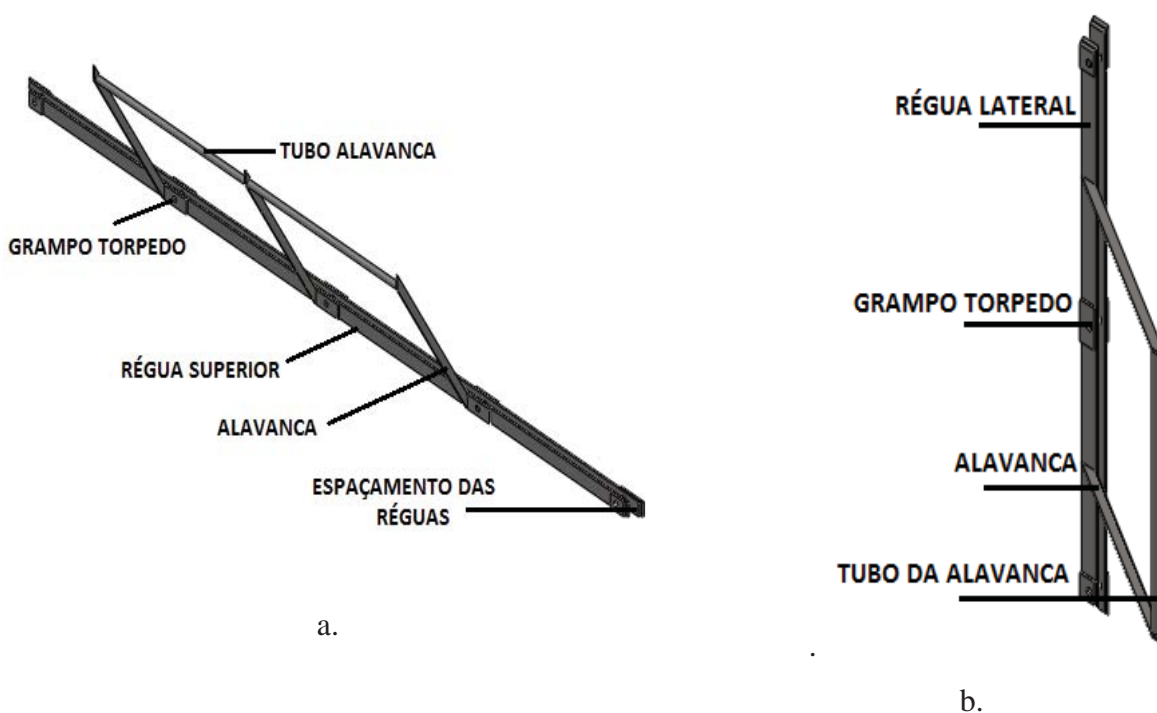
O portador da função auxiliar apresentado na Figura 60, é um quadro com dimensões inferiores as dimensões da abertura da janela do ônibus urbano, sendo o mesmo disposto de um sistema com regulagem de altura e também de aproximação, contando com uma série de grampos distribuídos uniformemente ao longo do seu perímetro, sendo que a função dos ganchos é segurar a alavanca de cada para de régua a fim de manter a aba da borracha deformada para que seja possível a concretização da montagem.

3.11.7 Detalhamento do projeto e modelagem do dispositivo

Como o ajuste entre as funções principais e auxiliares são agora definitivos, ao iniciar o processo de detalhamento do projeto, chega-se então aos seguintes resultados:

- Réguas: Nas dimensões apresentadas na Tabela 7 (p. 74) para o Micro SV, sendo o material para a fabricação dessas obtidos facilmente no mercado local.
- Alavancas: Material de fácil acesso e obtido no mercado local.
- Grampos tipo torpedo: Componente adquirido de fornecedor específico.
- Estrutura para fixação das alavancas: Material obtido no mercado local.

Importante salientar ainda que os resultados acima estão de acordo com a lista de requisitos, principalmente no que diz respeito à acessibilidade das peças no mercado e simplicidade dos componentes. Na Figura 61, visualiza-se os passos da modelagem do dispositivo.



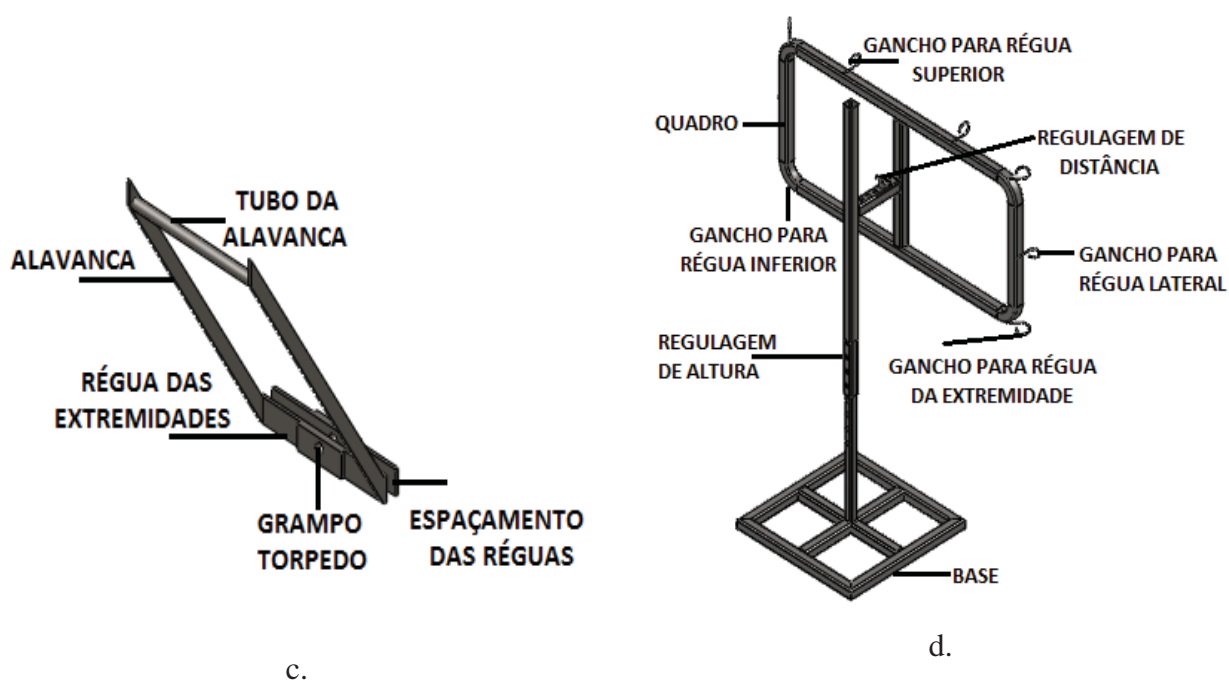


Figura 61 - Principais etapas de modelagem

Observa-se na Figura 61a, a modelagem das réguas superior e inferior, sendo necessário dois pares dessa régua. Na Figura 61b, visualiza-se a modelagem das réguas laterais, sendo necessário também dois pares dessa régua.

Na Figura 61c, visualiza-se a modelagem das réguas que serão utilizadas para a dobra do perfil das extremidades da janela, sendo necessário quatro pares dessa régua. Na Figura 61d, visualiza-se a modelagem do portador da função auxiliar, o qual tem como função manter fixas as alavancas após a dobra do perfil de borracha.

Na Figura 62, visualiza-se a modelagem completa do dispositivo, sendo que o mesmo apresenta-se posicionado no perfil de borracha.

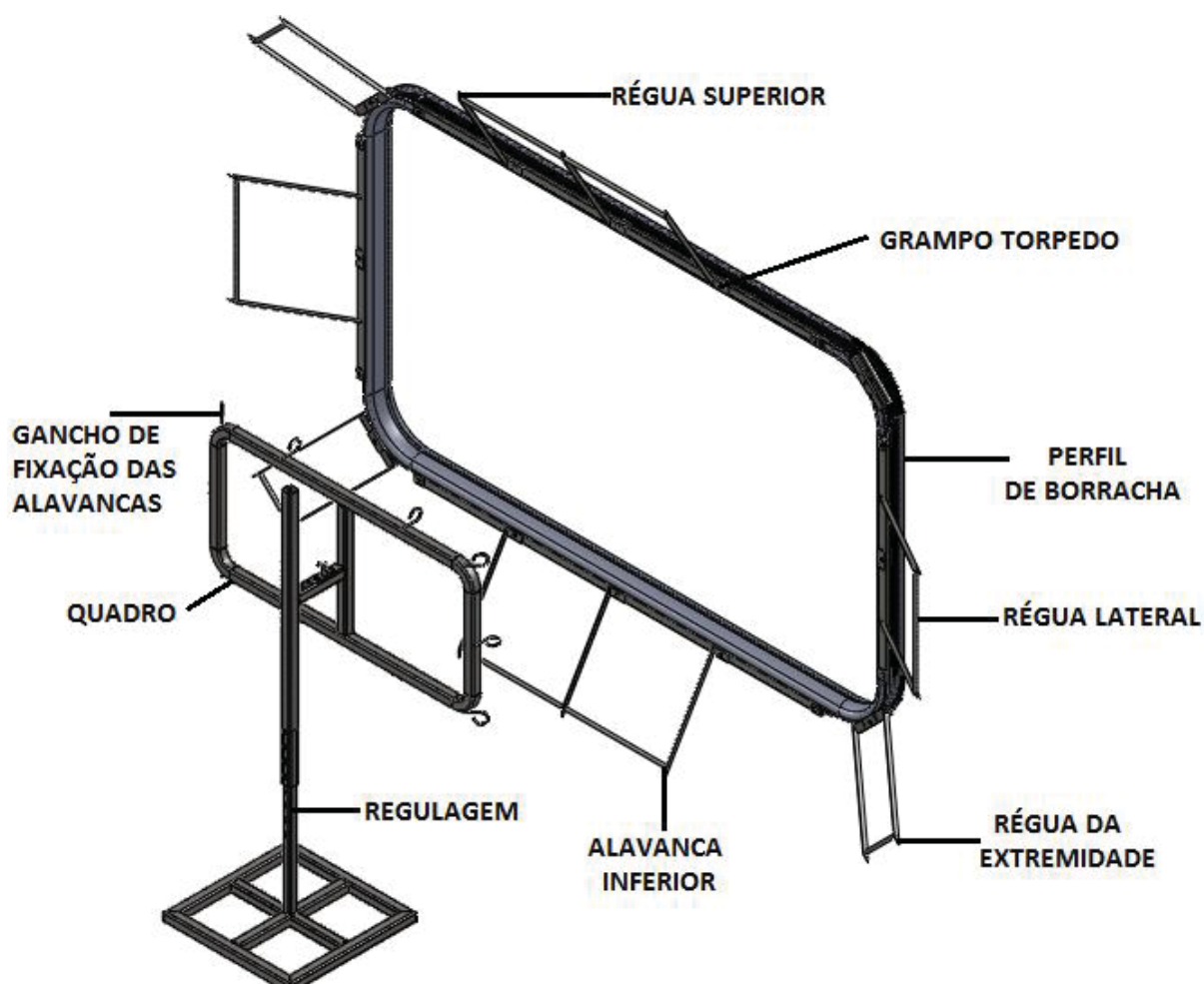


Figura 62 - Montagem do Dispositivo

Conforme Figura 62, o dispositivo conta com um conjunto de oito réguas, sendo três das réguas com dimensões diferentes, pois as réguas superior e inferior serão utilizadas para a dobra do perfil de borracha da parte superior e inferior da janela, as réguas das extremidades serão utilizadas para a dobra dos cantos, sendo que os cantos das janelas estão dispostos em forma de raio e as réguas laterais serão utilizadas para a dobra do perfil das partes laterais da janela. Na medida em que cada régua é fixada na aba da borracha, o funcionário segura a alavanca e efetua um movimento de rotação, a fim de fixar a alavanca nos ganchos que se encontram dispostos no quadro. Essa operação deverá ser efetuada para cada régua, portanto deve realizar esse movimento oito vezes, ou seja, um movimento para cada régua.

Conforme Figura 62, observa-se que o quadro possui sistema de regulagem, para aproximá-lo da estrutura do ônibus e de altura, sendo esses fundamentais para permitir a correta distância da janela, a fim de garantir o encaixe nos ganchos. Importante salientar ainda o fato de que a estrutura do ônibus urbano apresentar alguns desvios dimensionais, no entanto

devido o quadro possuir regulagem de altura e a aba da borracha ser deformável, tais desvios não causarão interferência no processo de montagem.

No processo de modelagem, realizou-se simulação em 2D, para definição correta do ângulo da alavanca e demais informações, sendo que no momento de acionamento da alavanca, em hipótese alguma essa poderá encostar no vidro da janela. No apêndice A, é possível visualizar o detalhamento do dispositivo.

Na Figura 63, visualiza-se a simulação de funcionamento do dispositivo, sendo possível observar a deformação da borracha e a posição final das réguas e alavanca.

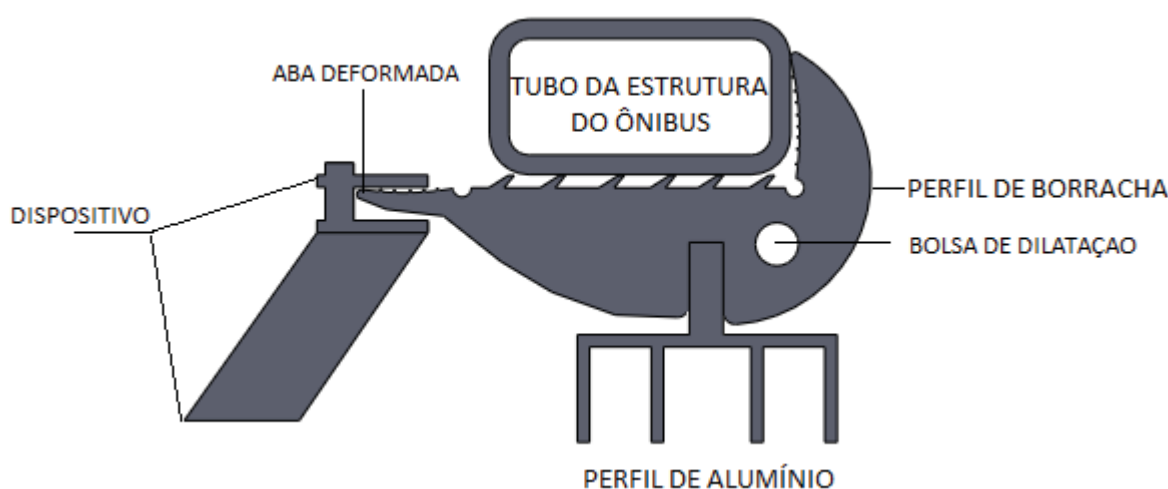


Figura 63 - Simulação do funcionamento do dispositivo

Com base na Figura 63, observa-se como ocorre o procedimento de dobra da aba da borracha utilizando-se o dispositivo de montagem. Como já demonstrado anteriormente, cada par de régua será posicionada no perfil de borracha que envolve a janela do ônibus urbano (régua superior e inferior, régua laterais e régua das extremidades), sendo após acionados os grampos torpedos, os quais fixados nas régua exercerão pressão na aba da borracha. Quando todos os pares de régua estiverem devidamente preparadas, o funcionário responsável pela montagem executará um movimento de rotação para cada par de régua. Sendo assim então, a cada movimento de rotação executado, as régua serão imobilizadas em um suporte, o qual é disposto de ganchos em toda a sua extensão, sendo que os ganchos vão manter a aba da borracha deformada, pois as alavancas de cada régua ficam presas aos ganchos e somente serão retiradas após a montagem da janela, sendo essas retiradas individualmente e por dentro do ônibus.

Na Figura 64, além da visualização do dispositivo de montagem, observa-se também a estrutura do ônibus urbano, local onde serão inseridas as janelas.

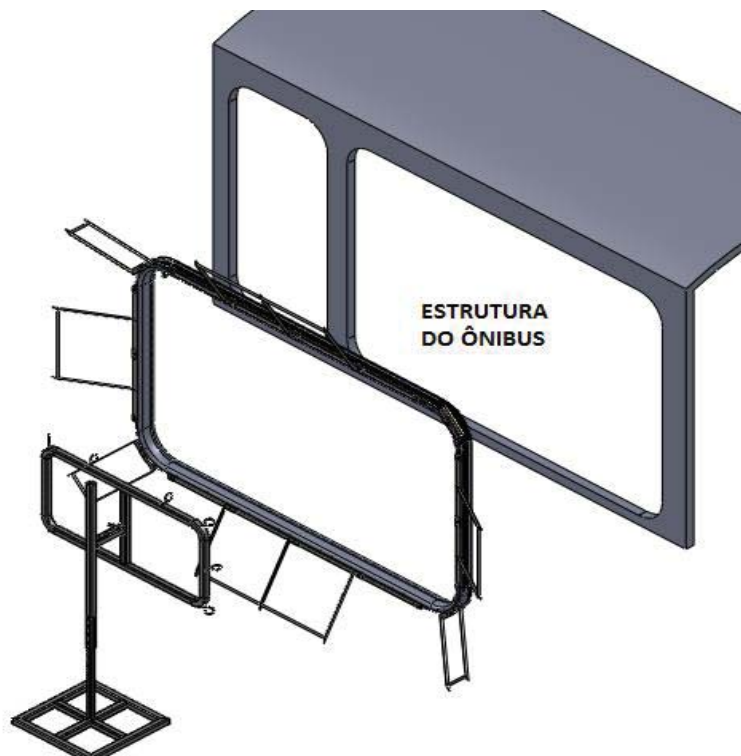


Figura 64 - Dispositivo e estrutura do ônibus urbano

3.11.8 Avaliação do anteprojeto

A avaliação do anteprojeto consiste em julgar o projeto atual, sendo que essa avaliação tem como objetivo:

- Reconhecimento dos critérios de avaliação;
- Julgamento das características com relação ao cumprimento dos critérios de avaliação;
- Determinação da valoração global;
- Busca de pontos fracos.

A avaliação segue as diretrizes da VDI 2225, sendo baseada em uma escala de 0 a 4 pontos, e em relação a uma solução considerada ideal. Na Figura 65, visualiza-se a lista de avaliação, a qual também é útil na identificação de pontos fracos, sendo essa uma avaliação simplificada, não se considerando a avaliação do conceito, porém é uma lista relacionada com critérios concretos da lista de requisitos.

Critério de avaliação			Parametros		Projeto concebido			Projeto ideal		
Nr.	Título	Peso	Nome	unidade	Caract. (ei1)	Valor (wi1)	Valor pond.	Caract.(ei2)	Valor (wi2)	Valor pond.
1	Fabricação simples		Facilidade de fabricação	-	Fácil	3	-	Fácil	3	-
2	Operação simples		Facilidade de operação	-	Fácil	3	-	Muito Fácil	4	-
3	Manutenção simples		Facilidade de manutenção	-	Muito fácil	4	-	Fácil	3	-
5	Poucos componentes		Nº de componentes	-	Muito baixo	4	-	Baixo	3	-
6	Baixo custo de fabricação		Custos de fabricação	-	Baixo	3	-	Baixo	4	-
7	Risco de danos na borracha		Risco de danificar peças	-	Baixo	3	-	Baixo	3	-
8	Baixo peso		Densidade dos componentes	g/cm ³	7,96	2	-	2,74	4	-
9	Ferramentas externas		Utilização de outras ferr.	-	1 Ferram.	2	-	Nenhuma	4	-
10	Baixo tempo de montagem		Tempo de montagem	-	Bom	3	-	Muito bom	4	-
11				-			-			-
		$\Sigma g1 = 1$				Gw1 = 28			Gw2 = 36	
						W1 = 0,61			W2 = 0,73	

Figura 65 - Avaliação do anteprojecto

Cabe ressaltar que para a determinação do valor global, somente empregou-se a valoração técnica, sendo que para valoração econômica, os dados não se encontravam à disposição. Se for observado na Figura 65, percebe-se que o projeto concebido possui um baixo valor global, sendo então compensador a busca por pontos fracos, principalmente nos requisitos que obtiveram as notas 1 e 2, sendo que de imediato são propostas melhorias.

O critério de avaliação **baixo peso**, obteve nota 2, portanto é interessante propor alternativas de melhoria.

Ponto fraco: Utilização de aço carbono 1020, o qual possui densidade em torno de 7,96 g/cm³.

Solução: A utilização de material com densidade menor, ou seja, uma liga de alumínio, sendo que a densidade média dessas ligas é de 2,96 g/cm³, o que diminuiria de forma expressiva o peso do dispositivo.

Percebe-se ainda que o critério de avaliação, denominado **ferramentas externas**, também possui nota 2, portanto como ponto fraco e solução tem-se:

Ponto fraco: A utilização de uma parafusadeira elétrica, pneumática ou outra ferramenta a fim de fazer a régua exercer pressão no perfil de borracha.

Solução: A eliminação dessas ferramentas externas e parafusos convencionais, sendo que no mercado existem parafusos e pinos especiais que exercem pressão com facilidade e podem ser operados manualmente, sem a necessidade de uma parafusadeira ou chave.

Importante ressaltar ainda que o número de componentes utilizados para a fabricação do dispositivo é reduzido, pois é um dispositivo simples e totalmente manual, no entanto, o mesmo conta com 8 pares de réguas, sendo que é necessário que cada par de réguas sejam montados separadamente, o que pode influir no tempo de montagem. Sendo assim então, para

tal sugere-se buscar uma forma pelo qual os pares de réguas estejam ligados entre si, pois assim o posicionamento das réguas no perfil de borracha será realizado de modo simultâneo facilitando a operação, sendo que nesse caso deve ser levado em conta pode ser levado em consideração o conceito de modularização, conforme diretrizes do DFMA.

3.12 Análise sob a ótica do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)

Aplicada a metodologia projetual específica e com solução proposta, realizou-se também uma análise prática sob o ponto de vista do DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*), com o objetivo de avaliar a possibilidade de simplificação da manufatura e montagem do produto. A Análise levou em consideração as regras e diretrizes do DFMA conforme segue:

1. Reduzir o número de partes de um produto e facilitar a manipulação e montagem das partes restantes;
2. Simplificar a estrutura do produto para reduzir custos de montagem;
3. Projetar para um número mínimo de partes;
4. Desenvolver projetos modulares;
5. Enfatizar a padronização;
6. Projetar componentes multifuncionais;
7. Projetar componentes de fácil fabricação;
8. Evitar componentes de fixação (parafusos e outros);
9. Eliminar ajustes desnecessários;
10. Fazer um uso racional dos materiais;

A primeira proposta diz respeito a redução do número de componentes do produto, no entanto a janela de ônibus urbano não possui muitos componentes, sendo basicamente composta por perfil de alumínio, perfil de borracha, vidros e puxadores, no entanto considerando a dificuldade de manipulação da janela, propõe-se a utilização de um balancim pneumático, talha ou ventosa para o transporte do conjunto até a estrutura do ônibus.

No item 2, a simplificação dos componentes seria possível a partir do estudo de um novo projeto da janela e também da própria estrutura do ônibus, no entanto isso implica na busca por novos fornecedores, sendo que nem sempre o fornecedor atual consegue atender um cliente de forma específica.

Na regra 3, a qual orienta para o projeto para um número mínimo de partes, é importante destacar que quanto menor o número de componentes, mais fácil é a montagem e menor o custo.

No caso da janela em questão, verificar a possibilidade de simplificação do perfil de borracha e perfil de alumínio com os respectivos fornecedores, fazendo com que ambos possam ser integrados de modo mais fácil e em tempo mais hábil. Propõe-se também a utilização de um batente limitador de abertura e fechamento mais compacto, ou já integrado no próprio perfil de alumínio. Estudar ainda a possibilidade com os fornecedores dos vidros temperados de os puxadores da janela já serem fornecidos integrados aos vidros.

Outra solução de acordo com o DFMA, é estudar a possibilidade da implantação do conceito de modularização, ou seja, buscar formas de agrupar os componentes da janela em módulos, diminuindo a complexidade e conseqüentemente facilitando a montagem.

Importante também buscar alternativas de padronização dos processos de obtenção dos componentes das janelas, sendo que muitos desses são fabricados por processos ainda artesanais, principalmente na dobra do perfil de alumínio, sendo que uma solução indicada seria a criação de gabaritos específicos para fabricação e montagem dos componentes. Analisando a estrutura do ônibus urbano, percebe-se inúmeras vezes a variação das dimensões da abertura para recebimento das janelas, o que pode levar a uma má vedação por parte da borracha, trepidação excessiva e desalinhamento, portanto a padronização segue a proposta do DFMA.

De acordo com o item 6 do DFMA, buscar alternativas de componentes multifuncionais, os quais podem desempenhar inúmeras funções simultaneamente, como é o caso do perfil de alumínio, o qual carrega toda a estrutura da janela, além de possuir um canal para recebimento do perfil de borracha. Então com base nessa linha de pesquisa, buscar maneiras do perfil de borracha além de dar vedação ao conjunto, também atuar como suporte principal de todo o conjunto, com possibilidade de simplificação do perfil de alumínio, ou até mesmo a sua eliminação.

Buscar maneiras de criar gabaritos a fim de facilitar a fabricação dos componentes, e também estudar juntamente com fornecedores de perfil de alumínio, a possibilidade desse ser fornecido pré-pronto. Essa linha de raciocínio baseia-se no item 7 do DFMA.

Outro aspecto importante do DFMA é a eliminação de molas parafusos e outros elementos de fixação, no caso do puxador, como mencionado anteriormente esse poderia ser fornecido já fixo ao vidro, o que no caso de um ônibus urbano com dois vidros móveis tem-se a eliminação de 4 parafusos por janela. O batente limitador de abertura e fechamento, poderia ser integrado no perfil de alumínio pelo próprio fornecedor.

Outra proposta que segue a linha do DFMA é a eliminação dos ajustes desnecessários, principalmente com utilização de gabaritos específicos para a dobra do perfil de alumínio, para o alinhamento das janelas de correr e colocação do perfil da canaleta flocada. Cabe ressaltar ainda que os parâmetros do processo de soldagem poder ser reavaliados, a fim de verificar deposição excessiva de material e defeitos de soldagem nas peças, fazendo com que o funcionário com o auxílio de lixadeira necessite retirar esses excessos.

Com relação ao materiais, valer-se de todo o ferramental e conhecimento disponível na engenharia, ou seja, utilizar materiais mais leves e resistentes, verificar densidades das borrachas de vedação, realizar simulação gráfica de esforços, afim de não gerar desperdícios de material e falhas.

Sendo assim, em análise geral das diretrizes do DFMA, percebe-se o quanto é importante seguir tais regras, sendo que com isso consegue-se um menor tempo de desenvolvimento do produto, menores custos de produção e de tempos de fabricação, preparação e montagem reduzidos.

3.13 Resultados e discussões

A solução V2, foi encontrada valendo-se principalmente da aplicação do processo metódico de projeto, sendo que o acompanhamento do processo atual de montagem foi de fundamental importância, pois nesse momento identificou-se os pontos mais críticos da montagem. Ressalta-se ainda a importância do DFMA, pois com esse pôde-se verificar a validade das suas principais diretrizes e conceitos, destacando que o trabalho em conjunto com metodologia projetual e DFMA, torna o processo de planejamento de um produto bem orientado e voltado para soluções inovadoras.

A solução V1, a qual aponta para um dispositivo com sistema pneumático, em análise inicial demonstra ser boa, pois simplesmente os funcionários realizam a preparação das garras pneumáticas no perfil de borracha e, após o acionamento, o mesmo executa a operação de dobra. No entanto, conhecendo-se o processo atual em detalhe, percebe-se que devido à quantidade de componentes necessários para esse dispositivo, além da necessidade desses serem fixados em alguma estrutura, provavelmente tal dispositivo possuiria um peso elevado, dificultando seu processo de preparação.

Outro ponto relevante com relação à solução V1 é a manutenção, sendo que como possui componentes pneumáticos, esses necessitarão de possíveis trocas e manutenções

regulares. Com o princípio de funcionamento pneumático, é preciso rede de ar comprimido, portanto deve-se prever a instalação de compressor de ar.

Como é necessária a dobra da aba da borracha que se situa na parte interna do ônibus, fica evidente que além de o dispositivo realizar a dobra do perfil de borracha, necessitará também que adentre na parte interna do ônibus juntamente com a janela. Dessa forma, tornar-se-ia inconveniente o manuseio de um gabarito de elevado peso e considerando ainda que o dispositivo fosse automatizado, necessitaria de ar comprimido ou óleo hidráulico, portanto deveria ser previsto tubulações ou mangueiras na parte interna do ônibus para que fosse possível a retirada do dispositivo.

No decorrer do estudo, observou-se também a necessidade da retirada do dispositivo da parte interna do ônibus para cada janela montada, portanto se o dispositivo é pesado ou de difícil manuseio, a operação torna-se demorada e incômoda.

Dessa forma, a partir dos requisitos utilizados para a avaliação das soluções e análise global do processo, evidenciou-se a grande diferença de pontos entre as soluções, e esse motivo foi fundamental para a escolha da solução V2.

Com relação à solução V2, observa-se a sua simplicidade se comparada à V1, pois a operação torna-se manual, porém a matéria-prima necessária para a fabricação da solução V2 não possui custo elevado, é de fácil acesso no mercado e os processos envolvidos são relativamente simples. Outro aspecto a considerar é de que esse dispositivo pode ser retirado da parte interna do ônibus com facilidade, sem a utilização de esforço em excesso.

Observa-se ainda a necessidade de algumas melhorias na solução V2, sendo que a mesma é composta por inúmeras partes móveis, ou seja, não ligadas entre si, o que talvez influencie um pouco no tempo de preparação do dispositivo. Destaca-se ainda o processo de fixação das réguas no perfil de borracha, sendo que a utilização de parafusos implica na utilização de parafusadeira elétrica ou pneumática para a colocação e retiradas das réguas.

No entanto, a utilização de parafusos para fixação pode ser substituída por grampos de fixação, sendo esses encontrados com facilidade no mercado, pois são mais versáteis, fáceis de operar, possuem bom desempenho e o risco de acidente que oferecem aos funcionários é reduzido. No caso da parafusadeira, essa também é rápida, porém necessita de maior habilidade do operador.

Dessa forma, apesar da existência de inconvenientes nos dispositivos de montagem, esses ainda demonstram ser soluções compatíveis que sem via de dúvidas poderão agregar

muito ao processo atual, que é totalmente manual, sendo que os funcionários necessitam carregar muito peso e aplicar esforço em excesso para proceder a montagem de cada janela.

Importante frisar também que a metodologia aplicada apontou para a necessidade da utilização de uma ventosa para içar a janela a fim de realizar a preparação do dispositivo, como também para posicioná-la próximo à estrutura do ônibus para proceder à montagem, sendo assim, para a efetividade do processo, é preciso a associação do dispositivo de montagem e da ventosa, a qual funciona com o princípio de vácuo.

Com relação ao tempo de montagem atual, para cada janela é consumido cerca de 5 min e 45 s, sendo que com a utilização da ventosa para transporte de cargas e do dispositivo de montagem em conjunto estima-se redução desse tempo, não descartando ainda a hipótese da eliminação de um funcionário no setor, pois um dos funcionários realizaria a tarefa de preparação do dispositivo e transporte da janela até a estrutura do ônibus, enquanto que o outro, na parte interna do ônibus, realizaria a tarefa de retirada do dispositivo no final do processo de montagem.

A não utilização de dispositivos para auxiliar na montagem da janela implicaria na mudança do projeto atual dessas janelas, ou seja, haveria a necessidade da reformulação de alguns componentes, principalmente perfil de borracha e de alumínio. Se fosse, por exemplo, apontado que a janela poderia ser bipartida, como uma espécie de encaixe macho/fêmea, inevitavelmente o perfil de borracha principal passaria por uma reformulação, pois a borracha teria que ser fornecida em duas partes, implicando mudanças diretamente no produto do fornecedor, o que muitas vezes não se torna vantajoso para ambas as partes. De qualquer forma, a mudança de projeto, tanto de perfil de borracha, perfil de alumínio ou na própria estrutura do ônibus, implica na mudança de todo um processo, considerando ainda que mesmo assim não se pode garantir que tal mudança agregará vantagens ao processo, pois em tudo há um requisito de extrema importância, que é garantir a boa vedação do conjunto.

Com relação ao detalhamento, pode-se dizer que esse define a técnica para a produção da solução apresentada, sendo o momento em que são elaborados todos os documentos necessários para a produção, observando sempre as normas técnicas, a elaboração de desenhos de forma clara e precisa e demais informações necessárias para a produção. Importante salientar que essa fase jamais pode ser desprezada, pois muitas vezes se percebe a presença de erros, os quais podem influenciar diretamente nos custos de produção e na qualidade do produto final, sendo que a não identificação de erros afeta a função técnica do produto.

Para o detalhamento do dispositivo concebido no presente trabalho, inicialmente realizou-se um estudo de movimento do mesmo, a fim de verificar possíveis interferências, sendo que a partir daí, então, foi definido que o ângulo da alavanca deveria ser de 60° . As dimensões das réguas foram definidas a partir do tamanho da janela do Micro SV, sendo que com essas informações iniciais, partiu-se para a modelagem do dispositivo, utilizando, após os desenhos detalhados em vistas, software de desenho específico a fim de permitir a sua produção de forma clara. Os desenhos técnicos dos componentes principais do dispositivo de montagem, encontram-se no anexo I.

Cabe ressaltar ainda que mesmo realizando a análise de proposta do projeto preliminar, representação em vistas do dispositivo, definição de materiais utilizados para a fabricação do dispositivo, além da identificação de componentes básicos, a fase de detalhamento não foi abordado por completo, sendo que não foi definido os processos de fabricação envolvidos para a concretização física da solução, nem definida a estrutura de custos e documentação final para a liberação para a produção, sendo que o trabalho propõe uma proposta de melhoria.

No entanto, mesmo que se obtenha soluções muito boas com relação a um projeto ou processo, cabe ressaltar que sempre existirão inconvenientes, pois se trabalha com uma gama de parâmetros, de maneira que, por vezes, ao ignorar um parâmetro qualquer, pode-se fracassar inevitavelmente. Sendo assim, as metodologias projetuais demonstram ser eficazes, pois permitem o encontro de erros e a correção dos mesmos, portanto não se pode seguir para uma determinada etapa sem que a anterior esteja afinada.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de alcançar os seguintes objetivos:

- Propor melhorias no processo de montagem das janelas de ônibus urbano, utilizando metodologia projetual adequada.
- Conhecer as Metodologias Projetuais mais difundidas na atualidade.
- Aplicar a metodologia projetual de forma adequada.
- Verificar as normas e resoluções que tratam da montagem e fabricação de ônibus urbano e seus componentes.
- Analisar o processo de montagem de janelas de ônibus urbano.
- Propor novas diretrizes para a montagem das janelas de ônibus urbano.

Em análise aos objetivos propostos, pode-se concluir que foi possível verificar a existência de diversas metodologias científicas existentes para o projeto de produtos, sendo que a essência dessas é a mesma, porém diferem umas das outras em alguns pontos, sendo algumas voltadas exclusivamente para design, enquanto a maioria delas têm foco no projeto de novos produtos e na análise de processos industriais.

Ainda assim, verificou-se a enorme aplicabilidade da metodologia utilizada, sendo essa criada por pioneiros na área de projeto de produtos da escola alemã.

Há uma série de inconvenientes associados ao processo de montagem da janela de ônibus urbano, sendo que os funcionários necessitam realizar esforço em excesso para concluir a operação de montagem, valendo-se de métodos totalmente artesanais.

Devido à dificuldade de montagem das janelas de ônibus urbano, tem-se elevada rotatividade no setor, absenteísmo, tempos de produção elevados e risco de danos aos componentes das janelas.

Após inúmeras análises do processo de montagem da janela de ônibus urbano e posterior aplicação de metodologia projetual adequada, percebe-se claramente a gama de possibilidades que essa fornece, gerando soluções convincentes e que realmente pode traduzir mudança no processo como um todo.

As metodologias projetuais além de gerar soluções tanto para um projeto como para um processo, auxiliam também no desenvolvimento cognitivo tanto do projetista como do engenheiro, fazendo com que esses possam ampliar de modo inquestionável os seus conhecimentos.

A mudança ou a criação de novo projeto dos componentes que constituem a janela do ônibus urbano, ou a modificação da estrutura do ônibus demonstraram não ser vantajosas, pois para isso é necessário rever todo o processo de fabricação dos componentes, não descartando ainda a possibilidade de tornar necessário a procura de novos fornecedores, principalmente de perfil de borracha e perfil de alumínio, componentes fundamentais da janela de um ônibus.

O projeto de novos componentes poderia deixar sérios questionamentos com relação aos requisitos de projeto, pois é fundamental garantir a boa vedação desse conjunto, sendo que atualmente não existem problemas associados a esse requisito de fundamental importância.

A metodologia projetual aplicada demonstrou ser viável a fabricação de um dispositivo de montagem, sendo que esse exercerá a função de realizar a dobra de uma das abas do perfil de borracha principal.

A criação de um dispositivo operando com princípio de funcionamento pneumático implicaria na instalação de uma rede de ar comprimido específica nesse setor, levando em consideração ainda a necessidade desse gabarito ao final do processo estar dentro do ônibus, sendo que não haveria espaço para a passagem das mangueiras de ar.

O dispositivo pneumático necessitaria ser acionado fora do ônibus, havendo ainda a necessidade da retirada das mangueiras de ar para que a janela pudesse ser montada.

É fundamental a necessidade de utilização de ventosa para o transporte de cargas, sendo que essa será útil no posicionamento da janela na estrutura do ônibus, eliminando, assim, o transporte manual dessas, realizado atualmente por dois funcionários.

Atualmente são necessários três funcionários para realizar o processo de montagem das janelas de ônibus urbano, sendo que com a utilização da ventosa para transporte de cargas e do dispositivo de montagem proposto, estima-se a possibilidade da redução de um funcionário no setor e, também da redução considerável do tempo de montagem.

Com a utilização do DFMA e metodologia projetual em conjunto, é possível otimizar os processos produtivos, pois com esse pode-se conseguir uma redução da quantidade de componentes de um determinado produto, otimizar a montagem, utilizar componentes multifuncionais, além de padronizar todo o processo envolvido. Cabe ressaltar ainda que uma das diretrizes interessantes do DFMA é a utilização de sistemas modulares, o que certamente implica em tempo menor de montagem, já que as peças podem ser integradas através de módulos.

Importante salientar ainda a possibilidade da utilização de conceitos de montagem de janelas, utilizados para trailers e metrôs, sendo que no caso dos metrôs, a fixação da janela na estrutura do trem é realizada por intermédio de rebites, no entanto tal vai contra os conceitos do DFMA, pois esse orienta para evitar parafusos e outros elementos de máquinas.

Para o transporte das janelas até a estrutura do ônibus urbano, além da utilização da ventosa para o transporte de cargas, outra solução interessante é o balancin pneumático, no entanto deve ser realizada uma avaliação criteriosa, a fim de verificar os pontos positivos e negativos, sendo que inúmeros fatores são determinantes na escolha, tais como, custos, facilidade de operação e espaço físico disponível.

PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Com o objetivo de dar seguimento a trabalhos futuros, mantendo essa linha de pesquisa, é importante registrar aspectos que serão importantes na continuidade do trabalho.

1. Focar na possibilidade de automatização do dispositivo, utilizando-se princípios hidráulicos ou pneumáticos, além de realizar um levantamento relativo a custos, a fim de verificar se tal possibilidade é viável economicamente.
2. Identificar maneiras pelas quais se pode unir as réguas do dispositivo atual, implicando com isso no menor tempo de preparação do dispositivo.
3. Verificar outras possibilidades para fixação do dispositivo na aba da borracha.
4. Como o dispositivo foi projetado para uma linha de ônibus, no caso o micro SV, dar seguimento de projeto para as outras linhas de ônibus urbano.
5. Verificar a possibilidade da mudança de projeto das janelas do ônibus urbano, analisando com fornecedores o impacto causado pela modificação dos componentes da janela do ônibus.
6. Analisar a possibilidade de as janelas de ônibus urbano serem escamoteáveis.
7. Estudar a possibilidade da utilização do conceito de modularização, sendo que esse permite a redução da complexidade do problema.
8. Em relação ao transporte da janela, verificar a possibilidade de utilização de balancin pneumático.
9. Analisar projetos das janelas de trens, metrôs e trailers, a fim de verificar a possibilidade de adaptar o projeto das janelas para o ônibus urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. F. Estudo e escolha de metodologia para o projeto conceitual. In: **Revista de Ciências e Tecnologia**. Piracicaba, v. 8, nº 16, pp. 31-42, 2000.

Anuário da indústria automobilística brasileira (Anfavea). Disponível em <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 12 abr. 2013.

Apollo ônibus. Disponível em: <<http://www.apolloonibus.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

ARTESP, 2012. **Especificações técnicas de veículos automotores de transporte coletivo de passageiros rodoviário e urbano intermunicipal**. Folheto técnico.

BACK, Nelson; OGLIARI, André; ACIRES, Dias; SILVA, Jonny Carlos. **Projeto integrado de produto**: planejamento, concepção e modelagem. Barueri, SP: Manole, 2008.

BACK, N.; FORCELLINI, F.A. Projeto de Produtos. Apostila (Disciplina de Projeto Conceitual e Projeto para Manufatura do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). UFSC, Florianópolis, 2003.

BARBOSA, F., Gustavo. **Aplicação da metodologia DFMA - Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação e aeronaves**. 2007. Dissertação de Mestrado (Escola de Engenharia de São Carlos) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: guia prático para o design de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BUSS, Carla O.; CUNHA, Gilberto D. Análise de Marketing no Desenvolvimento de Produtos. **3º Congresso Brasileiro de Gestão em Desenvolvimento de Produtos**. Florianópolis, SC: 2001 – CD Rom.

Bussmania. Disponível em: <<http://bussmania.blogspot.com.br/2010/03/onibus-articulados-e-biarticulados>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

Canciglieri-Jr, O. (2005), “Design for Manufacture”, Curso de Especialização Lato Sensu em Engenharia da Produção da Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Chapter 1. (in Portuguese).

Comil ônibus S.A. Disponível em: <<http://www.comilonibus.com.br>>. Acesso em: 12 abr. 2013.

Denatran. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes>. Acesso em: 14 dez. 2012

D’ OLIVEIRA, R. L.. **Concepção, Projeto e Teste de Sistema de Transmissão de Potência para veículos fora da estrada**. 2011. Relatório Final de Estágio (Programa de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

EMTU. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br>>. Acesso em: 02 dez. 2012.

KOLLER; R. **Konstruieren mit Konstruktionskatalogen**. Bd. 1: **Konstruktion Slehre**. Bd. 2: **Konstruktionskataloge**, 2. ed. Berlin: Springer 1994. Bd. 3: **Verbindungen und Verschlüsse, Losungsfindung** Berlin: 3. ed., Springer, 1996.

KRUGÜER et al. **Aplicação da metodologia projetual para o desenvolvimento de um veículo urbano**. Porto Alegre, 2012.

MELLO, Wilyams. **Proposta de um método aberto de Projeto de Produto – Três Alternativas de Criação**. 2011. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Mercedes Benz. Disponível em: <<http://www.mercedes-benz.com.br>>. Acesso em: 23 nov. 2012.

NBR 14022:2009. **Acessibilidade em veículos de características urbanas para o transporte coletivo de passageiros**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 15570:2009. **Transporte – Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 15646:2011. **Acessibilidade — Plataforma elevatória veicular e rampa de acesso veicular para acessibilidade em veículos com características urbanas para o transporte coletivo de passageiros — Requisitos de desempenho, projeto, instalação e manutenção**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Ônibus – Blog do ônibus. Disponível em: <<http://www.onibus.blog.br>>. Acesso em: 29 nov. 2012.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, H.Karl. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PAULA. O., Jeferson. **Análise do processo de desenvolvimento de produtos. Um estudo de caso em uma empresa do setor de autopeças**. 2011. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais.

PINZON, C.. **Reprojeto de Produto: Rodado Duplo para Tratores**. 2009. Monografia de Especialização (Programa de Especialização em Engenharia de Produção e Manufatura) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

Revista do ônibus. Disponível em: <<http://revistadoonibus.com.br/especial/blog/>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

ROMANO, N. L. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

SANTOS, C. Andréa. **Projeto Informacional – Desdobramento da Função Qualidade**. Sergipe, 2009.

TABARELLI, C. André; PELIZAN, A. Miguel. Ventilador com Sistema de Segurança. **Ciências Tecnológicas**. Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 149-156, 2009.

UETA. Disponível em: <http://www.uetaind.com.br/site/documento-466_0_producao-de-onibus-e-de-caminhoes-puxa-alta-de-veiculos-no-pais.html>. Acesso em: 24 dez. 2012.

VDI – Richtlinie 2225 apud PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, H.Karl. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

APÊNDICE A