

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

Alencar Silveira Roth

**PROJETO ELÉTRICO MODULAR PARA CONSTRUÇÃO DE ÔNIBUS
URBANOS: ESTUDO DE CASO**

Passo Fundo

2014

Alencar Silveira Roth

**PROJETO ELÉTRICO MODULAR PARA CONSTRUÇÃO DE
ÔNIBUS URBANOS: ESTUDO DE CASO**

Orientador: Prof. Dr. Jocarly Patrocínio de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2014

Alencar Silveira Roth

PROJETO ELÉTRICO MODULAR PARA CONSTRUÇÃO DE ÔNIBUS URBANOS: ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 24 de Outubro de 2014.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Jocarly Patrocínio de Souza
Orientador

Professor Doutor Renato de Campos
Universidade UNESP

Professor Doutor Márcio Walber
Universidade PPGPPF/UPF

Professor Doutor Adriano Luis Toazza
Universidade UPF

*Dedico este trabalho a minha esposa
Camila Weber Roth, pela dedicação,
carinho e apoio em todos os momentos
da nossa vida, e a toda minha família,
em especial a minha mãe Maria Inês,
pelo incentivo constante.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio da empresa Comil Ônibus S.A., por proporcionar a realização deste trabalho, a Universidade de Passo Fundo pelo incentivo a qualificação profissional, ao meu orientador Jocarly Patrocínio de Souza pelo apoio no desenvolvimento desta dissertação, e aos amigos Márcio Oliboni Paviani, Carlos Frederico Viero, e Geison Carlos Reinheimer por incentivar e acreditar no sucesso do projeto elétrico modular.

Um grande projeto, não necessariamente precisa de uma grande equipe, mas necessariamente ele precisa de um grande público; só assim ele realmente será grande.

Carla Amaral Vidotti.

RESUMO

O mercado de atuação das principais empresas brasileiras fabricantes de ônibus possui a característica de personalizar seus produtos de acordo com as necessidades de seus clientes. Esta prática acaba gerando diversos problemas no processo produtivo, dentro deles, a diversidade de sistemas elétricos dos ônibus. Para resolver estas dificuldades do sistema produtivo, as empresas estão investindo em novas tecnologias de software, projeto e processos de fabricação. Este trabalho apresenta um novo procedimento de projeto, fabricação e processo de montagem do sistema elétrico de suas carrocerias de ônibus urbanos, utilizando soluções de projetos modulares, explorando as características globais do sistema elétrico, para obter um processo de fabricação adequado às suas necessidades produtivas de larga escala, sem influenciar na caracterização individual do produto de cada cliente. O novo processo fabril da carroceria apresenta nos seus resultados melhorias significativas nos projetos de engenharia, como precisão e tempo de projeto, redução de custo de fabricação e facilidade de manutenção das redes elétricas.

Palavras-chave: sistema elétrico, projeto modular, ônibus urbanos.

ABSTRACT

The operation market of the leading manufacturers Brazilian bus companies, has the characteristic to customize your product according to the needs of its customers. This practice ends up causing many problems in the production process of the company, among them, the diversity in the electrical system of the bus. To solve these drawbacks productive, companies are investing in new software technologies, project, and manufacturing processes. This work presents a new methodology for design, fabrication, and assembly process of the electrical system of their product line for urban buses using modular designs solutions, exploring the global characteristics of the electrical system, for obtain a suitable manufacturing process their production needs of large scale, without influencing individual characterization of the product of each client. The new manufacturing process of the product presents in its results, significant improvements in engineering projects, how precision and time of project, manufacturing cost reduction and ease of maintenance of electrical networks.

Keywords: electrical system, modular project, urban buses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de vida de um produto.....	18
Figura 2 - Espiral do desenvolvimento.....	19
Figura 3 - Espécies de funções e módulos em sistemas modulares e mistos	22
Figura 4 – Divisão modular de redes elétricas na indústria automotiva.....	23
Figura 5 – Princípio do Kanban.....	29
Figura 6a – Cabo isolado	32
Figura 6b – Cabo unipolar	32
Figura 7 - Capacidade máxima da corrente de curto-circuito para condutores de PVC 70°C.....	34
Figura 8- Capacidade máxima da corrente de curto-circuito para condutores de EPR ou XLPE 90°C.....	34
Figura 9 – Produção de carrocerias de ônibus, janeiro a outubro de 2014.....	36
Figura 10 – Imagem de um casulo.....	37
Figura 11 – Insumos utilizados na fabricação das redes elétricas convencionais	40
Figura 12 – Bancadas de trabalho do sistema elétrico atual.....	41
Figura 13 – Ilustração de item restrito + normal ou opcional	49
Figura 14 – Ilustração de item especial	49
Figura 15 – Projeto elétrico Teto em 3D.	53
Figura 16 – Projeto elétrico Frente em 3D.	55
Figura 17 – Projeto elétrico da traseira em 3D.	55
Figura 18 – Projeto elétrico do painel em 3D.....	56
Figura 19 – Projeto elétrico Inferior em 3D.	57
Figura 20 – Projeto elétrico da Central elétrica em 3D.	58
Figura 21 - Diagrama elétrico completo gerado através do software E3 Cable	59
Figura 22 - Projeto de rede elétrica utilizando o software Routing Electrical	60
Figura 23 - Detalhamento da rede elétrica utilizando o software Routing Electrical.....	61
Figura 24 – Projeto elétrico automatizado via templates	62
Figura 25 – Sistema de organização da fábrica de redes elétricas.....	64
Figura 26 – Sistema de fabricação de redes elétricas	65
Figura 27 – Projeto elétrico Industrial	66
Figura 28 – Gabarito de fabricação de redes elétricas provisório	67
Figura 29 - Gabarito de fabricação de redes elétricas definitivo.....	67
Figura 30 – Máquina de corte e marcação de fios	68
Figura 31 – Varal de armazenamento de fios após setor de corte e marcação	69
Figura 32 – Setor de crimpagem de terminais (prensas de crimpagem)	70
Figura 33 – Mesa de conexão (setor de crimpagem).....	70
Figura 34 – Montagem de uma rede elétrica em gabarito	71
Figura 35 – Marcações de orientação nos gabaritos definitivos.....	72
Figura 36 – Estoque.....	73
Figura 37 – Embalagem em kit por carroceria	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz tarefa-dependência	75
Tabela 2 – Linha de montagem antes do projeto modular	76
Tabela 3 – Linha de montagem projetada	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
NBR	Norma Brasileira
PC	Sigla de <i>Personal computer</i> , Computador pessoal
PVC	Policloreto de Vinila
EPR	Borracha Etilenopropileno
XLPE	Polietileno Reticulado
CAN	Protocolo de comunicação desenvolvido por Robert Bosch em 1986 para aplicação na indústria automotiva.
PWM	<i>Pulse width modulation</i>
DNA	Lista de características da carroceria de ônibus
PCP	Planejamento e controle de produção
DETRO	Departamento de Transportes Rodoviários do Estado do Rio de Janeiro
EPTC	Empresa Pública de Transporte e Circulação
LED	<i>light-emitting diode</i>
E3	Software E3 series
NX	Siemens PLM software NX
MCP	<i>Multiple contact point</i>
FABUS	Associação Nacional dos Fabricantes de ônibus
CTB	Código de Trânsito Brasileiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 Estrutura do trabalho	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Definição de projeto.....	17
2.2 Arquitetura de produto.....	17
2.3 Ciclo de vida de um produto	18
2.4 Sistema modular	20
2.5 Sistemática de produtos modulares	21
2.6 Elaboração da lista de requisitos.....	24
2.7 Identificação dos requisitos	25
2.8 Desenvolvimento da pré-automação.....	26
2.9 Estoque natural e necessário	27
2.10 Produção Just-in-time	27
2.11 Sistema Kanban	28
2.12 Terceirização	30
2.13 Diagramas elétricos.....	31
2.14 Fios e cabos condutores.....	31
2.15 Dimensionamento de condutores.....	33
2.16 Critérios para dimensionamento da seção mínima dos condutores	33
2.17 Critérios básicos para divisão dos circuitos.....	35
2.18 Descrição de uma carroceria de Ônibus	35
3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO	38
3.1 Apresentação do problema de projeto.....	38
3.1.1 Sistema elétrico Convencional	38
3.1.2 Ausência de projetos elétricos	39
3.1.3 Administração de insumos.....	39

3.1.4 Ausência de Gabaritos.....	40
3.1.5 Redes individuais carro a carro	41
3.2 Sistema elétrico desejado	41
3.3 Lista de Requisitos do sistema elétrico	42
3.4 Ponto inicial do projeto de uma carroceria de ônibus.....	42
3.5 Especificações do projeto.....	43
3.6 Principais variações entre carrocerias e componentes.....	44
3.7 Ciclo de vida do produto	46
3.8 Planejamento da qualidade desejada	46
3.9 Requisitos iniciais de projeto	47
3.10 Concepção do projeto	48
3.10.1 Setor de Vendas	48
3.10.2 Setor de engenharia.....	49
3.10.2.1 Elaboração dos projetos.....	50
3.10.2.2 Padronização dos projetos.....	51
3.10.2.3 Projeto de engenharia.....	52
3.10.2.4 Softwares de projetos	58
3.10.2.5 Automação dos projetos.....	61
3.10.3 Terceirização de serviços.....	63
3.10.4 Setor de Fabricação.....	63
3.10.4.1 Projeto industrial.....	66
3.10.4.2 Gabarito de fabricação.....	66
3.10.4.3 Corte e marcação dos fios.....	68
3.10.4.4 Crimpagem	69
3.10.4.5 Montagem.....	71
3.10.4.6 Controle de qualidade.....	72
3.10.4.7 Estoque.....	72
3.10.4.8 Embalagem.....	74
3.10.5 Linha de montagem.....	75
3.10.6 Setor de Compras e PCP	79
3.10.7 Setor de Assistência técnica de pós-vendas.....	79
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1 Viabilidade econômica	81

4.2	Terceirização de tarefas	83
4.3	Comparativo entre o sistema elétrico convencional e o modular aplicado na empresa .	83
4.3.1	Diminuição de estoques e desperdício de materiais	84
4.3.2	Apresentação de custo real da rede elétrica	84
4.3.3	Documentação do sistema elétrico.....	85
4.3.4	Sistema elétrico padronizado, sendo utilizado como diferencial de vendas.....	85
4.3.5	Baixo índice de problemas com as montadoras	86
4.4	Vantagens obtidas através do projeto elétrico modular	86
4.5	Comparativo entre o sistema de fabricação interno x terceirizado.....	88
4.5.1	Projeto de Engenharia.....	88
4.5.2	Áreas de apoio.....	88
4.5.3	Treinamentos	89
4.5.4	Linha de montagem.....	89
4.5.5	Fabricação de redes elétricas.....	89
4.6	Aplicação do sistema kanban na fabricação e montagem das redes elétricas	89
4.7	Projeto elétrico modular na Assistência técnica	90
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	91
	APÊNDICE A - Relatório de intervenção em campo do sistema elétrico modular. Erro! Indicador não definido.	96

1 INTRODUÇÃO

O sistema elétrico das carrocerias de ônibus urbanos deve respeitar características construtivas conforme resoluções e normas nacionais e regionais, tais como o Conselho Nacional de Trânsito (Contran) e órgãos gestores público regionais, que procuram estabelecer as melhores características de transporte para cada região do Brasil. Nos casos de exportação também se deve respeitar as normas e características construtivas do país de destino da carroceria. Os clientes, por sua vez, procuram incorporar características individuais de componentes e funcionalidades para aperfeiçoar seu produto, procurando identificar suas frotas com as necessidades dos usuários.

Atualmente, para atender estas necessidades específicas de construção das carrocerias são feitos projetos individuais para cada pedido ou frota, muitas vezes tendo de variar o projeto para o mesmo cliente, conforme alterações de chassis, comprimento, componentes eletrônicos, quantidade de portas, etc.

Projetos individuais, ou especiais, apresentam características que trazem impactos negativos no processo produtivo, como projetos elétricos pouco consistentes, redes elétricas não confiáveis, ausência de gabaritos para construção de redes elétricas, sistema de teste elétrico inadequado, metodologia de produção variável, matéria-prima distinta entre produtos e outros problemas produtivos em geral.

A necessidade de um sistema elétrico inovador, baseado em metodologia de projeto, se fez necessária a partir do momento em que os projetos individuais passam a não atender às expectativas de produção e qualidade exigidas pela empresa, causando transtornos e insatisfação dos clientes com relação à instalação elétrica das carrocerias.

1.1 Justificativa

Após a necessidade da criação de uma nova planta de alta performance de produção de carrocerias de ônibus em que a mesma irá trabalhar com a engenharia localizada na matriz da empresa, e que, após o início das suas atividades deverá elevar em mais de 100% a capacidade produtiva de ônibus urbanos do grupo, foi iniciada uma análise sobre os sistemas de projeto e fabricação a serem utilizados na mesma, suas dificuldades em relação aos processos atuais e à sua inclusão na nova fábrica. Dentro

desta perspectiva foi incluído o sistema elétrico da carroceria, desde o nascimento do projeto, fabricação das redes elétricas, montagem dos componentes no ônibus e as consequências de pós-vendas.

O sistema convencional até então utilizado, de sistemas elétricos individuais por pedido, com a estrutura atual da empresa, já se torna questionável devido ao fato de apresentar diversas falhas no sistema produtivo em todas as etapas de projeto e fabricação. Essas falhas serão elementos de análise e discussão no desenvolvimento deste trabalho.

Para atender esta nova demanda surge a necessidade de elaboração de um sistema elétrico consistente, incorporando as necessidades das diversas áreas da empresa, iniciando na venda do produto e finalizando na assistência técnica de pós-vendas. Este novo sistema deve trazer soluções eficientes aos pontos mais críticos do sistema elétrico, que são o projeto elétrico, a fabricação das redes, a montagem elétrica da carroceria e a assistência técnica. Este procedimento deverá atender as duas plantas de fabricação da empresa através do mesmo projeto, uma vez que o produto final entregue ao cliente não deverá apresentar diferenças.

A elaboração do arranjo estrutural de carroceria de ônibus através de sistemas modulares, juntamente com o mapeamento das variações estruturais, abriram caminho para que o sistema elétrico siga a mesma metodologia, uma vez que as variações de estrutura da carroceria são alguns dos principais pontos analisados dentro de um projeto elétrico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em propor um novo procedimento geral do processo produtivo da parte elétrica de construção de ônibus urbanos utilizando conceitos de projeto modular.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um novo conceito de projeto elétrico para carrocerias de ônibus urbanos, utilizando soluções de projetos modulares;

- Simplificar a estrutura de projetos elétricos, aumentando a precisão e diminuindo o tempo de projeto;
- Aumentar a qualidade do processo de fabricação e montagem das redes elétricas e o número de componentes padronizados, facilitando a instalação dos mesmos na linha de montagem.

1.3 Estrutura do trabalho

Para melhor entendimento da abordagem proposta, este trabalho está organizado como segue:

o capítulo dois apresenta o referencial teórico, apresentando os principais conceitos utilizados como referência no desenvolvimento desta dissertação;

o desenvolvimento do procedimento é apresentado no capítulo três, discutindo os conceitos utilizados;

o capítulo quatro apresenta os resultados obtidos através da implantação do procedimento desenvolvido;

as conclusões e perspectivas decorrentes deste trabalho são discutidas no capítulo cinco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O suporte teórico utilizado como base para o desenvolvimento deste trabalho é descrito a seguir:

2.1 Definição de projeto

Um projeto pode ser definido conforme o Guia Pmbook (2008) “um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço, ou resultado exclusivo”. Um projeto não necessariamente deve ter uma curta duração, mas deve ter um início e um término definido, em que o término acontece quando os objetivos são alcançados, ou quando existe a conclusão que estes objetivos não serão ou não poderão ser atingidos, ou então quando o mesmo não for mais necessário. A maioria dos projetos é realizada para criar um resultado duradouro, sendo que também podem ter impactos sociais, econômicos e ambientais com duração mais longa que a dos próprios projetos.

2.2 Arquitetura de produto

Para Romeiro (2010), a arquitetura do produto é um conceito que envolve o arranjo entre os elementos funcionais, apresentando dois tipos: integral e modular. Para o autor, a arquitetura integral é definida a partir de subsistemas que são projetados de forma dependente, através de funções compartilhadas por um ou mais componentes físicos. Já a arquitetura modular é concebida a partir de subsistemas que são projetados independentes, mas que funcionam juntos, sendo que cada módulo pode exercer uma ou mais funções.

A arquitetura do sistema para Teixeira Pinto (2011) se relaciona com a forma de como os componentes dentro de um sistema interagem e as interfaces com os demais sistemas. Normalmente são reconhecidos dois tipos distintos de arquitetura do sistema, arquiteturas de sistemas integrais (fechados) e modulares (abertos). Um sistema que emprega uma arquitetura integrada normalmente é projetado para maximizar uma determinada necessidade. Modificações de recursos ou componentes não são simples, e podem afetar o desenho do conjunto do sistema. Além disso as funcionalidades dentro do sistema podem ser distribuídas em vários componentes e, eventualmente, as fronteiras entre estes componentes podem ser difíceis de identificar ou não pode mesmo existir.

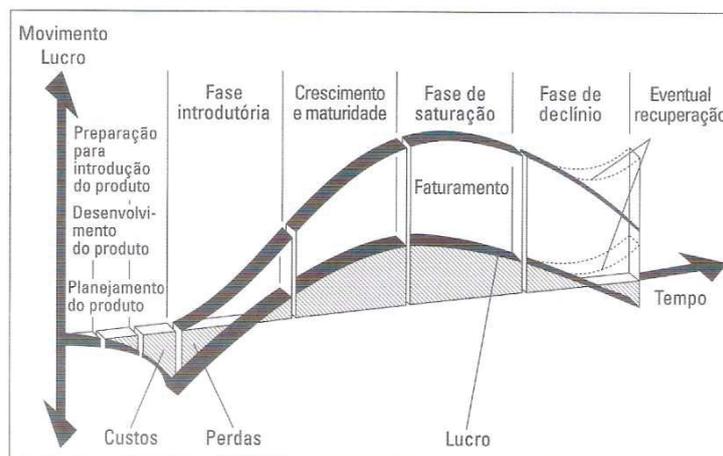
Para Ulrich e Eppinger (2012), o produto pode ter a forma de funções ou ter o ponto de vista físico. As operações individuais que cada elemento executa e a contribuição que a função apresenta na parte funcional do produto são caracterizados pelos elementos funcionais. Os elementos físicos de um produto são as peças e montagens que implementam as funções. Para o autor, a arquitetura modular ocorre quando os elementos funcionais estão contidos, fisicamente, somente em um componente do produto, provocando uma dissociação nas interfaces dos componentes.

2.3 Ciclo de vida de um produto

De acordo com Pahl et al. (2005) “cada produto está sujeito a um ciclo de vida que, pelo aspecto econômico industrial, se orienta por faturamento, lucros e perdas”.

A duração do ciclo de vida de um produto depende diretamente do tipo, função e especialidade de cada produto. O tempo de duração deste ciclo está sendo reduzido constantemente, desafiando os departamentos de desenvolvimento de produtos. Para Pahl (2005), ao atingir a fase de saturação, no auge do faturamento, deverão ser tomadas medidas de revitalização do produto ou a sua substituição, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 – Ciclo de vida de um produto

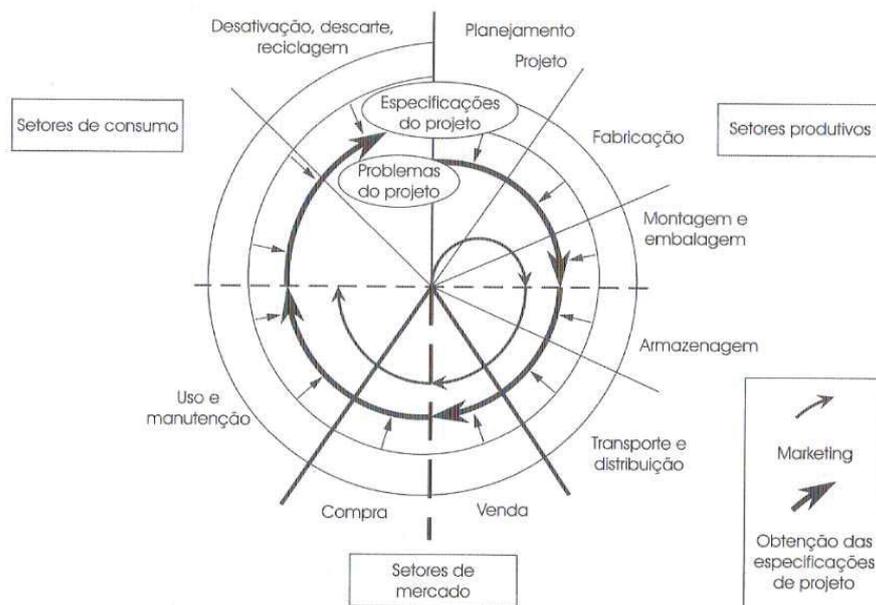


Fonte: Pahl et al, 2005.

Do ponto de vista do desenvolvimento, Back (2008) apresenta o ciclo de vida do produto através da espiral do desenvolvimento. O autor apresenta na figura 2 as oito fases do modelo de desenvolvimento integrado de produtos. Considerando-se automóveis, máquinas-ferramenta ou eletrodomésticos, por exemplo, além das fases de projeto, o produto passa pela fabricação, montagem, embalagem, transporte, uso,

manutenção, desativação e reciclagem. Na manutenção, devem-se considerar a preventiva e corretiva, peças de reposição e reparo. No outro extremo, tem-se o desenvolvimento de produtos simples, tais como componentes mecânicos ou eletrônicos, nos quais, caso haja uma falha, são descartados e substituídos. Assim não é necessário prever facilidades para manutenção e reparos.

Figura 1 - Espiral do desenvolvimento



Fonte: Back, 2008.

A análise do ciclo de vida mercadológico, para Romeiro (2010), possibilita a obtenção de um importante mapeamento do mercado atual, indicando o posicionamento dos produtos oferecidos ao mercado. O conhecimento desse posicionamento permite à empresa planejar a introdução de novos produtos, na medida em que os já existentes passam de um estágio para outro.

Laird (2008) apresenta como fundamental a abordagem de gerenciamento de ciclo de vida do produto total, combinando, eletrônica, elétrica, mecânica e disciplina produtiva. Na construção da Aeronave Eclipse 500, a integração de subsistemas em um chicote de fios foi fundamental, sendo este a "vida do sistema neurológico" da aeronave, controlando todos os sinais elétricos e eletrônicos para todos os sistemas essenciais.

2.4 Sistema modular

A modularidade definida por Baldwin e Clark (2000) é uma estratégia de organização de produtos e processos complexos de uma forma eficiente. O sistema modular é composto por unidades ou módulos que são concebidos de forma independente, mas funcionam de forma integrada como um todo. Para o autor, a modularidade somente é benéfica somente se as partições forem precisas, sem ambiguidades e completas.

O projeto para modularidade é apresentado por Back (2008) com o objetivo de ofertar produtos para uma ampla faixa de necessidades de uma forma mais racional e econômica. O termo de modularidade é adotado para descrever o uso de unidades comuns com o fim de criar uma variedade de produtos. O objetivo é identificar unidades independentes e normalizadas ou intercambiáveis para atender a uma variedade de funções. O desenvolvimento de produtos modulares é uma técnica atualmente muito utilizada desde produtos simples, como brinquedos e móveis, até os mais complexos, como automóveis e aviões. É comum na indústria automobilística, oferecer uma variedade de modelos de automóveis pela combinação de diversos subsistemas denominados módulos básicos, auxiliares, adaptativos e especiais ou não módulos.

Para Pahl et al. (2005) do ponto de vista técnico e econômico, um sistema modular sempre se apresentará como vantajoso em comparação com soluções específicas, desde que todas as variantes específicas do programa de um produto forem produzidas em quantidades pequenas e quando se consegue cobrir com a faixa exigida com um único ou com poucos blocos básicos auxiliares. Os sistemas modulares servem também para aumentar o tamanho dos lotes de peças repetitivas ao possibilitarem a utilização dos mesmos blocos em diferentes produtos.

A arquitetura modular, conforme Ulrich e Eppinger (2012), existe quando um elemento funcional está contido fisicamente em um só componente do produto. Muitos produtos eletrônicos adotam o conceito de arquitetura modular. Para Baxter (2008) o exemplo mais notável é o dos computadores PC, em que um bloco pode ser retirado e substituído, mesmo que seja de outro fabricante. As inovações tecnológicas podem ser incorporadas pela simples substituição de alguns blocos, que os próprios consumidores podem realizar. Outra grande vantagem é na manutenção. Se ocorrer um defeito é possível testar cada bloco separadamente até a localização do problema. Nesse caso, o bloco danificado pode ser simplesmente retirado e substituído.

A técnica de modularização possibilita reduzir a complexidade e a sofisticação desnecessárias. Barbará e Freitas (2007) citam que tais técnicas ainda são pouco utilizadas na maioria de nossas organizações, que desenvolvem e produzem seus produtos sem a percepção de seu valor para a estruturação do produto e para sua documentação técnica associada, o que propicia retrabalhos, incrementando custos desnecessários ao produto.

2.5 Sistemática de produtos modulares

A sistemática apresentada por Pahl et al. (2005) distingue-se entre blocos de função e blocos de produção. Blocos de função são definidos pelo critério do atendimento a funções técnicas, de modo a atendê-las por si próprio ou em combinação com outros blocos. Blocos de produção são aqueles que, independente da sua função, são definidos exclusivamente por critérios de tecnologia da produção.

Para organizar os blocos funcionais, o autor classifica-os conforme sua utilização no sistema modular, em que o arranjo destas sub-funções atendem a diversas variações de funções globais. Essas funções são descritas a seguir:

Funções básicas: são fundamentais, repetitivas e imprescindíveis. Basicamente não são variáveis. Para atendimento de variantes da função global, uma função básica pode comparecer solitária ou interligada a outras funções. Esses blocos básicos são contidos na estrutura do sistema modular como blocos obrigatórios.

Funções auxiliares: são ligantes e interligantes e, em geral, são atendidas por blocos auxiliares que se apresentam como elementos de ligação e interligação. Devem respeitar as características dos módulos básicos e demais blocos. Na maioria das estruturas de construção são obrigatórios.

Funções especiais: são funções isoladas, complementares, específicas de uma tarefa, que não se repetem em todas as variantes globais. São satisfeitas por blocos especiais, que representam uma complementação ou um acessório em relação ao básico e, por isso, são blocos opcionais.

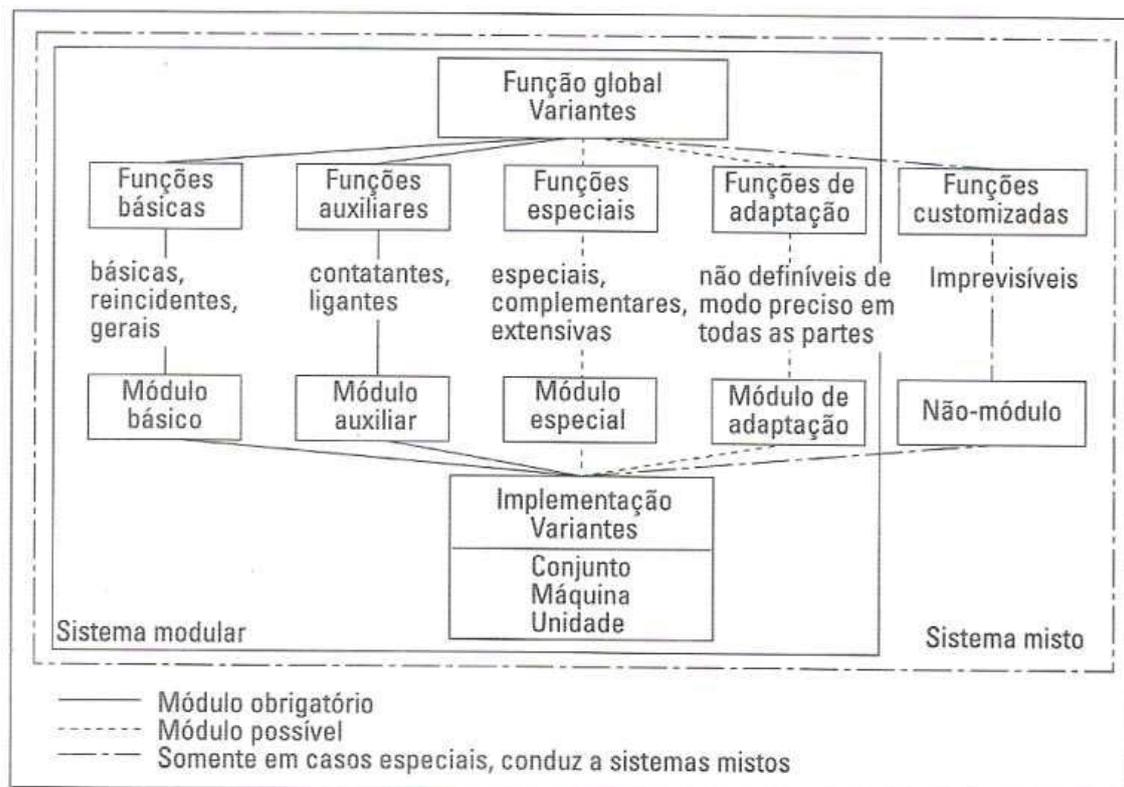
Funções de adaptação: são necessárias para um ajuste aos outros sistemas e condições complementares. São concretizadas por blocos adaptativos com dimensões fixadas apenas parcialmente que, em casos especiais, necessitam de um ajuste das suas

dimensões em razão da imprevisibilidade das condições de contorno. Blocos de adaptação ocorrem como blocos obrigatórios ou opcionais.

Funções específicas de um pedido, não previstas no sistema modular, sempre tornam a ocorrer, mesmo que o desenvolvimento do sistema modular tenha sido cuidadoso. Nestes casos podem ser utilizadas funções customizadas, onde apresenta solução para necessidades imprevisíveis no sistema modular, tornando o sistema misto.

A figura 3 apresenta a ilustração de uma ordem das funções a serem contempladas no sistema modular, assim como a agregação de funções customizadas tornando o sistema misto.

Figura 2 - Espécies de funções e módulos em sistemas modulares e mistos



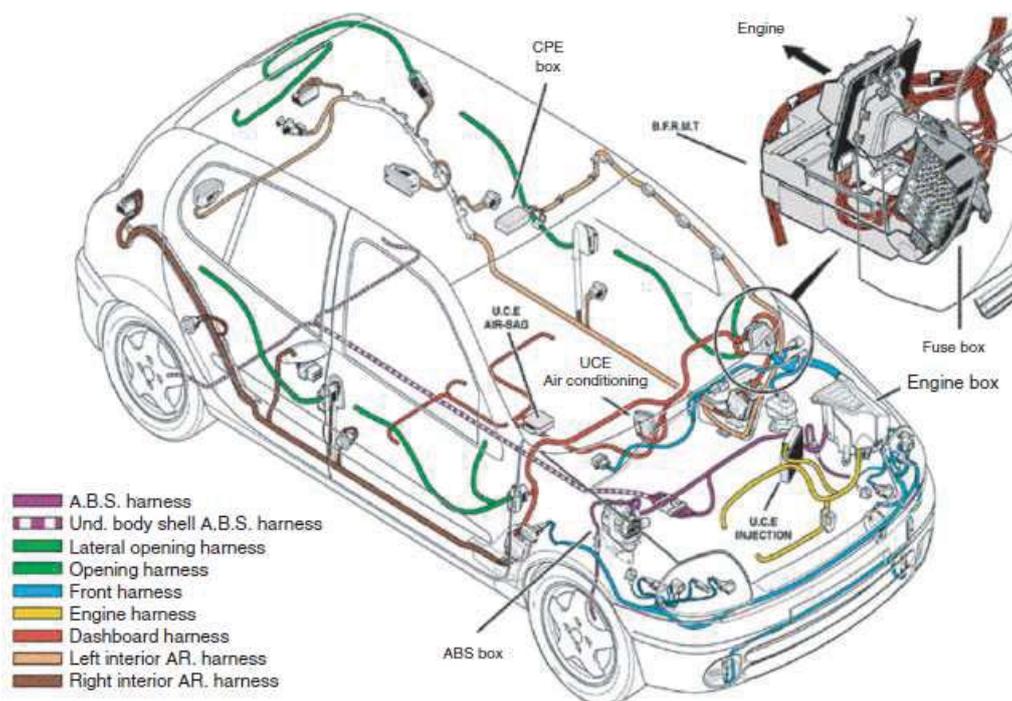
Fonte: Pahl et al., 2005

O projeto modular apresenta vantagens e desvantagens, sendo que para Back (2008) uma das vantagens está na fase de desenvolvimento do produto, pois o projeto modular apresenta a possibilidade de ser projetado e produzido paralelamente, tendo uma redução significativa no tempo de desenvolvimento do mesmo. A utilização de módulos proporciona um processo de fabricação mais avançado, apresentando vantagens como maior precisão na fabricação, racionalização de recursos, maior

agilidade de atendimento aos usuários, facilidade de atualização tecnológica, diagnóstico de falhas, além da reposição e reparo de módulos.

Conforme Da Cunha (2010), na indústria automotiva a quantidade de módulos varia conforme a complexidade de cada modelo, variando normalmente de 9 a 15 conjuntos de redes elétricas de acordo com o modelo, motorização, e opcionais, conforme podemos verificar na figura 4.

Figura 4 – Divisão modular de redes elétricas na indústria automotiva



Fonte: Da Cunha, 2010

Uma abrangência mais completa do sistema modular é apresentada por Pahl et al. (2005), analisando os pontos de vista de fabricante e usuário.

Para os fabricantes, prevalecem vantagens nos diversos setores da empresa, tais como:

- o setor de custos pode relacionar os custos de engenharia somente nos projetos de itens adicionais, não previstos no sistema modular, simplificando os orçamentos;
- é possível simplificar as preparações de trabalho, resultando em um melhor controle de prazo de entrega;
- é possível reduzir o prazo de entrega, através da produção simultânea dos módulos básicos, enquanto o departamento de projeto trabalha nos itens especiais;

- os blocos podem ser fabricados em tamanhos pré-estabelecidos que atendam a todas as necessidades do produto, independente de um pedido exclusivo, tornando mais ágil o processo de produção.

O usuário também percebe vantagens, como menor prazo de entrega, sistema de pós-vendas mais encorpado, possibilitando agilidade no serviço de reposição de peças e detecção de problemas dos clientes, além da redução das falhas dos componentes, conforme o amadurecimento do produto. Para Agard (2002) o projeto modular permite a ocorrência um grande número de produtos diferentes, utilizando um número limitado de componentes modulares.

Algumas desvantagens também são percebidas por fabricantes e usuários. Do ponto de vista dos fabricantes, o sistema modular torna-se limitado em algumas situações como:

- necessidades especiais de clientes não são completamente satisfeitas em comparação com o projeto específico, perdendo flexibilidade de mercado;

- projetos específicos com baixa escala de produção podem não se justificar economicamente, devido ao alto custo de desenvolvimento dos projetos;

- a definição de um sistema modular ótimo, em muitos casos é difícil, já que devem ser levados em conta não só os pontos de vista do fabricante, mas também do usuário.

O usuário encontra desvantagens devido à dificuldade de atendimento de necessidades especiais, e em certas ocasiões os maiores volumes que os de um produto desenvolvido exclusivamente para uma determinada função, trazem impactos negativos no momento da utilização ou possíveis manutenções.

2.6 Elaboração da lista de requisitos

Para Pahl et al. (2005) a elaboração da lista de requisitos é feita em duas etapas. Na primeira, são definidos e documentados os requisitos óbvios. Na segunda, quando necessária, aumenta o nível de detalhamento com o auxílio de métodos apropriados.

Na formulação da lista de requisitos, os objetivos e condições precisam ser destacados claramente, sendo desdobrados em necessidades e vontades.

O termo **necessidades** representa os itens que precisam ser satisfeitos sob qualquer circunstância, ou seja, sem o seu atendimento à solução prevista não é aceitável em hipótese alguma.

As **vontades** devem ser consideradas na medida do possível, eventualmente com a concessão de que para isso é aceitável um limitado trabalho adicional. Em certas circunstâncias classificam-se as vontades como alta, média e baixa relevância.

Como exemplo, podemos citar o sistema de proteção contra curto-circuito da carroceria, em que é obrigatório cada carga ter seu sistema de proteção adequado. Porém este sistema pode ser composto por dois tipos de componentes: através da central elétrica convencional (formada por relés e fusíveis), ou através do sistema multiplex, formado por semicondutores e de maior confiabilidade, Maryanka (2011). Nesse caso, é uma necessidade a proteção contra curto-circuito e a escolha de um dos sistemas de proteção é definido pela vontade do cliente.

Não tendo ainda a solução definida, deve-se formular as necessidades e vontades nos aspectos **qualitativos e quantitativos**. Nos aspectos quantitativos significa resumir todas as informações quantitativas, tais como tamanho do lote, quantidade de peças, tempo, potência, etc. Os aspectos relacionados à qualidade, apresentam todas as variações sobre os desvios admissíveis, resistência, condições de operação, isolamento elétrica, etc.

2.7 Identificação dos requisitos

O autor Pahl et al. (2005) expõe uma dificuldade inicial na elaboração da lista de requisitos de um determinado produto, sendo esta, dependente da qualidade e quantidade de subsídios e dados fornecidos pela empresa no momento da formação dos requisitos. Dependendo do ramo, uma parte dos requisitos pode ser descrita pela sua característica. A outra parte depende diretamente do desejo do cliente.

Requisitos implícitos aparecem como uma das grandes dificuldades pois não são solicitados pelo cliente e, quando não atendidos, geram efeitos muito negativos. Esse mesmo autor define cinco requisitos básicos típicos, conforme descrito a seguir.

Requisitos básicos: são requisitos implícitos, onde o atendimento deste requisito é considerado natural, pois são muito importantes para os clientes. Decidem o sucesso ou

o fracasso de um produto, portanto são muito importantes para os setores de desenvolvimento de projetos.

Requisitos técnicos e específicos do cliente: são manifestados pelos clientes e frequentemente de forma precisa. O cliente utiliza como parâmetro para comparação entre produtos e a valoração de cada parâmetro geralmente é determinada pelos clientes. Ex: Um motor deve ter uma potência de 15kW e no máximo 40 kg.

Requisitos de atratividade: são requisitos implícitos, em que frequentemente os clientes nem se dão conta deles, mas servem como diferenciação entre os outros produtos, sem causar impactos nos custos.

Complementar / ampliar os requisitos: o autor apresenta dois métodos para complementar e ampliar os requisitos, que são o trabalho segundo uma linha mestra com uma lista de características principais, e a técnica do cenário.

- **Trabalho segundo uma linha mestra:** é criada uma lista de características principais formada por pontos concretos de determinadas tarefas, em que a associação de conhecimento entre os pontos podem levar a requisitos relevantes.

- **Técnica do cenário:** é analisado o ciclo de vida do produto, onde em cada fase é desenvolvido um cenário onde são formuladas algumas perguntas, como por exemplo, “quem pode utilizá-lo?”, ou então, “como pode ser conservado ou utilizado?”. É a partir das respostas que podem ser derivados os requisitos dos produtos.

2.8 Desenvolvimento da pré-automação

Pré-automação ou autonomação no Sistema Toyota de Produção, conforme descrito por Shingo (1996) como “automação com toque humano”, tem a capacidade de separar os trabalhadores das máquinas através de sistemas que detectam anormalidades da produção. Segundo o autor, existem 23 estágios entre o trabalho puramente manual e a automação completa, sendo que até o vigésimo estágio, são utilizadas técnicas simples de automação. Porém para o sistema estar completamente automatizado, as máquinas devem ter a capacidade de detectar e corrigir seus próprios problemas. Na fase de detecção de problemas, existe a viabilidade técnica e econômica para que possa ser justificado este investimento. Na fase de correção de seus próprios problemas, além de ser muito complicada tecnicamente, o custo pode ser muito elevado, e por consequência, esta fase de automação dificilmente é aprovada financeiramente.

É comum encontrar equipamentos que possuem 90% do seu sistema automatizado, em que são utilizadas técnicas simples de automação, agregadas a sistemas de detecções de falhas, deixando a correção destas por parte de funcionários especializados.

2.9 Estoque natural e necessário

Conforme Shingo (1996), estoque natural ocorre como resultado de determinadas práticas de produção, como previsões incorretas de demanda, superprodução e produção em lotes.

Estoque necessário ocorre devido às ineficiências do processo produtivo e resultam em três tipos de acúmulo de estoque: quando o ciclo de produção é maior que o ciclo de entrega do produto, gerando estoque pela produção antecipada; quando o estoque é produzido como precaução em relação às flutuações de demanda; e quando o estoque é produzido para compensar o deficiente gerenciamento da produção e as esperas provocadas pela inspeção e transporte.

Tanto o estoque natural quanto o necessário causam perdas e devem ser cuidadosamente analisados e eliminados até chegar ao ponto em que não causem impactos negativos como atrasos ou queda nas taxas de operações.

2.10 Produção Just-in-time

Para Erdmann (1998, p.77) “o Just-in-time é uma filosofia de produção desenvolvida após a II Guerra Mundial pela Toyota Motor Company, orientada para a eliminação de desperdícios no processo de produção”.

O termo *Just-in-time* significa a produção necessária em quantidades necessárias e no tempo correto. Conforme Monden (1984), no processo de montagem das peças de um carro, por exemplo, os subconjuntos necessários do processo precedente de produção devem chegar na linha de produção no tempo e quantidades necessárias para montagem dos mesmos.

Os objetivos básicos do *Just-in-time* conforme Erdmann (1998) e Pettersen (2008) podem ser descritos a seguir:

- reduzir o tempo de espera entre a conversão de matéria-prima em produto final;

- redução contínua de estoques;
- redução do tempo de setup de máquinas e ferramentas;
- redução do tamanho dos lotes de produtos, permitindo maior flexibilidade dos processos.

A conseqüente diminuição de custos e aumento de produtividade faz com que o *Just-in-time* seja cada vez mais utilizado, obtendo vantagens competitivas em relação a organizações convencionais.

2.11 Sistema Kanban

O sistema Kanban é definido por Monden (1984) como “um meio de informação que controla harmoniosamente a produção dos produtos necessários nas quantidades necessárias e no tempo necessário, em todo o processo de uma fábrica e também entre companhias”. Para Monden (1984) e Ramnath (2010), o Kanban é uma ferramenta para se obter produção no tempo exato. É um cartão, e é utilizado principalmente em dois tipos: O Kanban de *requisição* e o Kanban de *ordem de produção*.

Kanban de requisição: especifica o tipo e quantidade de produto que o processo subseqüente deverá utilizar do processo precedente.

Kanban de ordem de produção: especifica o tipo e a quantidade do produto que o processo precedente deverá produzir.

Para Shingo (1996) “o Kanban é um sistema de controle visual auto-regulador e simplificado, que se concentra no chão de fábrica e faz com que seja possível responder a mudanças na produção simples e rapidamente”.

Para facilitar o entendimento, Shingo (1996) faz uma comparação entre supermercados e o sistema Kanban, e encontra algumas similaridades:

1. os consumidores escolhem diretamente as mercadorias e compram suas favoritas;
2. o trabalho dos empregados é menor, pois os próprios consumidores levam suas compras a caixas registradoras;

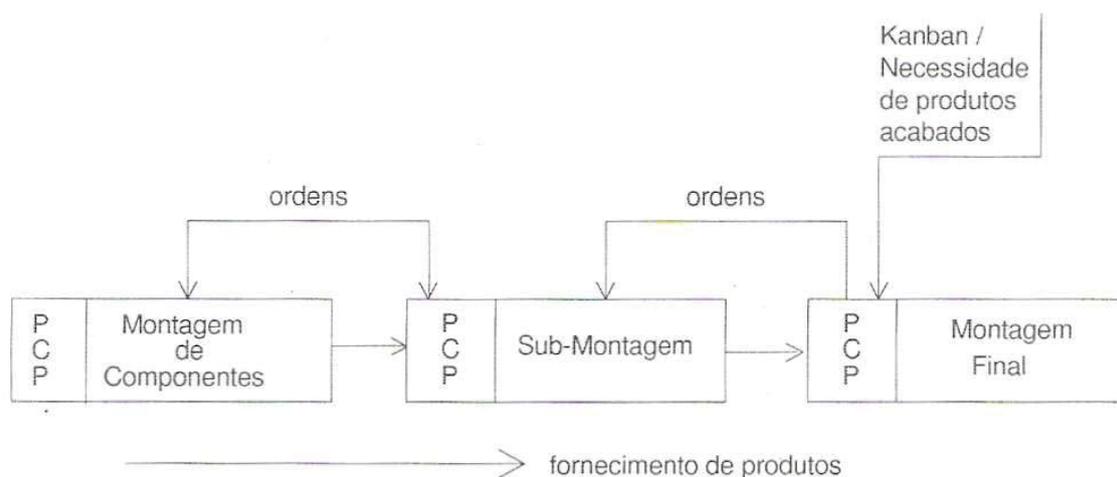
3. ao invés de utilizar um sistema de reabastecimento estimado, o estabelecimento repõe somente o que foi vendido, reduzindo desta forma os estoques.

O sistema Kanban utiliza como principal característica o item 3, repondo somente o que foi utilizado, reduzindo os estoques.

Os dois autores citados, em comum acordo, tentam argumentar que o sistema Kanban é apenas uma ferramenta de controle utilizada pelo Sistema Toyota de Produção, deixando bem claro que existe uma visão errônea que o Sistema Toyota de Produção seja simplesmente um sistema Kanban.

A figura 5 ilustra resumidamente o princípio de utilização do sistema Kanban, onde temos a Sub-Montagem como cliente da Montagem de Componentes, e a Montagem Final como Cliente da Sub-Montagem.

Figura 5 – Princípio do Kanban



Fonte: Erdmann, 1998

Pode-se encontrar, conforme Lage (2008) algumas variações do sistema, como o sistema Kanban CNE (controlado pelo nível de estoque), com somente um sinalizador de ordem de produção, em que apresenta como vantagem com relação aos demais modelos de sistema a sua simplicidade, devido a supressão dos sinalizadores de requisição, contendo apenas uma área de estocagem. Nenhuma estação de trabalho é programada e a produção é puxada pelo consumo dos produtos finais.

2.12 Terceirização

O surgimento da terceirização no Brasil iniciou com a chegada das primeiras empresas multinacionais. Para Erdmann (1998) as grandes empresas provocaram o surgimento de diversas pequenas outras, que passaram a produzir vários tipos de componentes para as grandes empresas da época.

O objetivo principal da terceirização é que a empresa contratante se dedique nas atividades que realmente possam trazer vantagens competitivas, especializando-se no seu ramo de negócio, limitando suas atividades e reduzindo o número de processos, assim como suas estruturas administrativas e delegando para outras empresas contratadas as funções que podem ser consideradas complementares.

Para Amato Neto (1995) *apud* Erdmann (1998) o termo terceirização refere-se ao ato de transferir a responsabilidade por uma determinada demanda, que pode ser um determinado serviço a ser realizado de uma empresa para outra. A empresa contratante deixa de realizar determinadas atividades com recursos próprios e passa para empresas contratadas, conhecidas como terceiras.

A terceirização pode ser utilizada na compra de produtos ou serviços especializados, a serem utilizados nas atividades da empresa contratante. A empresa contratante volta a sua atenção à sua atividade fim, deixando tarefas de apoio a serviço de terceiros.

A terceirização ganha importância no momento em que as empresas passam a racionalizar seus recursos, redefinir suas operações e trabalhar com estruturas mais flexíveis.

Para Abreu (2000) a criação da fábrica de ônibus e caminhões Volkswagen em Resende, foi uma expressão avançada na experimentação de integração de atividades terceirizadas. Em Resende, os fornecedores de componentes foram envolvidos em um empreendimento conjunto com a VW para estabelecer um "sistema modular" de produção. Este sistema envolveu os fornecedores como parceiros no financiamento da fábrica e na organização e montagem de seus componentes na fábrica.

Esta "fábrica modular" representou um novo conceito interessante em fabricação de veículos. A VW alegou que o seu novo sistema de 'montagem modular' foi governado por um "fractal conceito", esta expressão representa na matemática uma ruptura completa e radical com tudo o que se passou antes. Em Resende, dos 1.500

funcionários reunidos na planta, 1.300 estariam trabalhando para oito empresas subcontratadas. Os pneus e rodas deviam ser produzidos e montados através da colaboração entre três empresas, Iochple-Maxion, Bridgestone, e Borlen. A Rockwell foi responsável pela instalação de eixos e choque absorventes. As unidades de transmissão e motores foram reunidos em um colaboração entre Cummings e a empresa alemã MWM. A construção da Cabine de pintura ficou por conta da Eisenmann. A direção e trabalho elétrico foi feito pela VDO.

Em cada módulo, a empresa (ou empresas) tinha responsabilidade pelo fornecimento de peças, subconjuntos e sistemas de operação de produção. Em cada etapa da montagem no processo, essas empresas estavam a organizar a entrega e o fornecimento de componentes, e coordenar a montagem final e instalação destes em veículos e chassis.

2.13 Diagramas elétricos

Para elaboração de um projeto elétrico devem ser levados em conta dois aspectos fundamentais para a instalação:

1. a localização dos componentes a serem instalados na planta, como serão passados os eletrodutos, a quantidade, o diâmetro, a cor de fios e os eletrodutos a serem utilizados na instalação;
2. o diagrama de funcionamento da instalação, mostrando explicitamente todas as ligações da instalação.

Por não ser possível representar com clareza estes dois aspectos em um único esquema, a instalação é representada por dois esquemas, multifilar e unifilar, sendo que estes devem estar acompanhados de legendas e simbologias que auxiliem na interpretação e no entendimento dos diagramas.

2.14 Fios e cabos condutores

Para Mamede Filho (2010), a maioria das instalações industriais emprega o cobre como o elemento condutor dos fios e cabos elétricos. Os fios e cabos são isolados, em sua maioria, com os compostos isolantes de cloreto de polivinila (PVC), o etileno-propileno (EPR) e o polietileno reticulado (XLPE), em que cada um possui suas

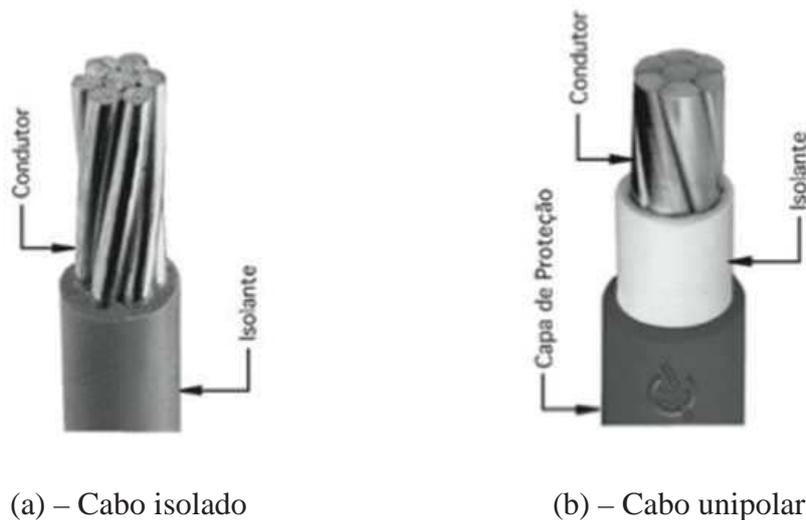
próprias características elétricas e mecânicas, que caracterizam as suas condições de utilização.

Os condutores são chamados *isolados* quando dotados de uma camada isolante, sem capa de proteção. São denominados *unipolares* os condutores que são dotados de uma camada isolante, protegida por uma capa, normalmente constituída por material de PVC.

Quando um cabo é constituído por vários condutores e protegido por uma capa externa é considerado cabo *multipolar*.

As figuras 6a e 6b mostram um cabo de cobre isolado em PVC e um cabo de cobre unipolar, também com isolamento de PVC.

Figura 6 – Figura (a) refere-se a cabo isolado e figura (b) refere-se a cabo unipolar.



(a) – Cabo isolado

(b) – Cabo unipolar

Fonte: Mamede Filho, 2010

Para efeito da norma NBR 5410 os condutores com isolamento de XLPE que atendam a NBR 7285, compreendendo condutores isolados e cabos multiplexados, são considerados cabos unipolares e multipolares, respectivamente.

Os cabos unipolares e multipolares devem atender às seguintes normas:

- cabos com isolamento em PVC: NBR NM 247-5;
- cabos com isolamento em EPR: NBR 7486;
- cabos com isolamento em XLPE: NBR 7287.

Os cabos não propagadores de chamas, livres de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos podem ser condutores isolados, cabos unipolares e multipolares.

2.15 Dimensionamento de condutores

O dimensionamento dos condutores deve ser realizado com extremo cuidado no sistema elétrico. Para Mamede (2010) “O dimensionamento de um condutor deve ser precedido de uma análise detalhada das condições de sua instalação e da carga a ser suprida”. O dimensionamento inadequado pode causar riscos na instalação, principalmente quando o projeto de proteção é deficiente.

O autor cita alguns fatores que influenciam no dimensionamento de um condutor:

- tensão nominal;
- frequência nominal;
- potência ou corrente da carga a ser suprida;
- fator de potência da carga;
- tipo de sistema;
- método de instalação dos condutores;
- natureza da carga: Iluminação, motores, capacitores, retificadores, etc.;
- distância da carga ao ponto de suprimento;
- corrente de curto-circuito.

Para um dimensionamento ser completo, não basta apenas estar bem dimensionado o condutor, deve-se também ter os demais componentes de proteção com o dimensionamento adequado para a carga.

2.16 Critérios para dimensionamento da seção mínima dos condutores

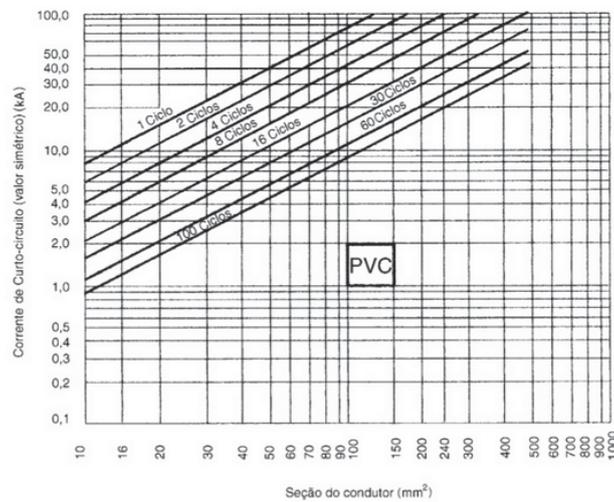
Para Cotrim (2003), a seção mínima dos condutores elétricos deve ser conforme a NBR 5410 (2004), e satisfazer os seguintes critérios:

- capacidade de condução de corrente;

- limites de queda de tensão;
- capacidade de condução de corrente de curto-circuito por tempo limitado.

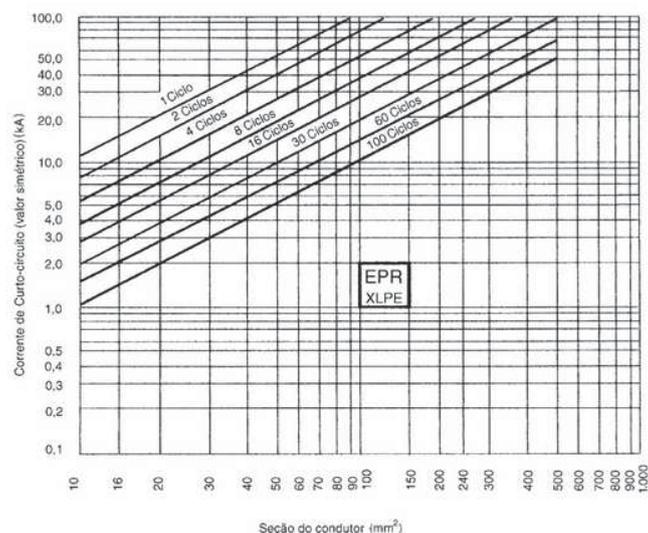
Inicialmente, são calculados os critérios de capacidade de corrente e limite de queda de tensão do condutor. Após o dimensionamento dos sistemas de proteção, baseado nas correntes de curto-circuito e demais fatores influenciadores, são confrontados os tempos de duração com os valores máximos obtidos pelo isolamento dos condutores utilizados. As isolações dos condutores apresentam um limite máximo de temperatura em regime de serviço contínuo. Os gráficos das figuras 7 e 8 se referem à capacidade máxima de corrente de curto-circuito a isolações de PVC 70°C e XLPE ou EPR 90°C.

Figura 7 - Capacidade máxima da corrente de curto-circuito para condutores de PVC 70°C.



Fonte: Mamede, 2010

Figura 8- Capacidade máxima da corrente de curto-circuito para condutores de EPR ou XLPE 90°C.



Fonte: Mamede, 2010

2.17 Critérios básicos para divisão dos circuitos

Conforme Mamede (2010), em toda instalação elétrica, para ter um desempenho satisfatório, devem ser levadas em consideração algumas técnicas de divisão e seccionamento de circuitos.

1. Toda instalação deve ser dividida, de acordo com as necessidades, em vários circuitos, de forma a satisfazer às seguintes condições:

Segurança: evitar qualquer perigo e limitar as consequências de uma falta a uma área restrita; evitar o risco de realimentação inadvertida através de outro circuito;

Conservação de energia: evitar os inconvenientes que possam resultar de um circuito único, tal como um só circuito de iluminação; facilitar o controle do nível de iluminamento; trabalhos contínuos visando a diminuição de desperdícios;

Funcionais: divisão dos circuitos para as diversas finalidades de cargas;

Manutenção: facilitar as verificações e ensaios;

2. Devem ser criados circuitos específicos para certas partes das instalações, de modo que esses circuitos não sejam afetados por defeitos em outros circuitos.
3. Devem ser criadas condições nas centrais de distribuição e nos condutos que permitam futuras instalações.

2.18 Descrição de uma carroceria de ônibus

De acordo com a FABUS (Associação Nacional dos Fabricantes de Ônibus), os ônibus são classificados conforme o Anexo I do CTB (Código de Trânsito Brasileiro), instituído pela Lei 9.503, de 23/Setembro de 1.997.

O ônibus é caracterizado como um veículo automotor de transporte coletivo, com capacidade para mais de vinte passageiros, e que, em virtude de adaptações para obter maior comodidade dos mesmos, pode transportar um número menor de pessoas.

Para a FABUS, as empresas fabricantes de carroçarias para ônibus no Brasil, têm condições de atender encomendas para quaisquer tipos de ônibus, sobre os mais diversos modelos de chassis existentes. O Brasil é, atualmente, o quarto maior produtor mundial de ônibus, atrás da China, Índia e Rússia.

Segue na figura 9 o volume de produção de ônibus das empresas associadas à FABUS no período de janeiro a outubro de 2014. Pode-se enfatizar que a maior parte da produção refere-se à linha de ônibus urbanos, chegando a 59,42% do total produzido.

Figura 9: Produção de carrocerias de ônibus, janeiro a outubro de 2014.

EMPRESA ASSOCIADA	Urbanos Novos - Usados	Rodoviários Novos - Usados	Intermunicipal Novos - Usados	Micro-Ônibus Novos - Usados	Mini-Ônibus Novos - Usados	Especiais Novos - Usados	Tróleibus Novos - Usados	SUB-TOTAL Novos - Usados	TOTAL
MARCOPOLO	594 0 594	2649 0 2649	961 0 961	774 0 774	0 0 0	0 0 0	0 0 0	4978 0 4978	4978
MARCOPOLO RIO	4190 0 4190	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	4190 0 4190	4190
COMIL	1139 0 1139	792 0 792	371 0 371	274 0 274	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2576 0 2576	2576
CAIO INDUSCAR	6132 0 6132	205 0 205	0 0 0	148 0 148	0 0 0	0 0 0	0 0 0	6485 0 6485	6485
IRIZAR	0 0 0	527 0 527	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	527 0 527	527
NEOBUS	1319 0 1319	314 0 314	0 0 0	922 0 922	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2555 0 2555	2555
MASCARELLO	637 0 637	388 0 388	263 0 263	982 0 982	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2270 0 2270	2270
T O T A L:	14011 0 14011	4875 0 4875	1595 0 1595	3100 0 3100	0 0 0	0 0 0	0 0 0	23581 0 23581	23581
% em relação Total:	59,42%	20,67%	6,76%	13,15%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	

Fonte: Mapa de produção de carrocerias (FABUS)

De acordo com o chassi sobre o qual é encarroçado, pode ser de piso baixo na região das portas (*low entry*) ou todo ele com piso baixo (*low floor*). Também pode ter sistema de ajoelamento (*knelling*), o qual sob comando do motorista, rebaixa alguns centímetros à frente (lado direito) do ônibus, facilitando o embarque/desembarque dos passageiros.

O ônibus urbano pode ser também, midi, mini, micro, articulado ou bi-articulado. Pode ter como opcional, ar condicionado e outros acessórios/equipamentos.

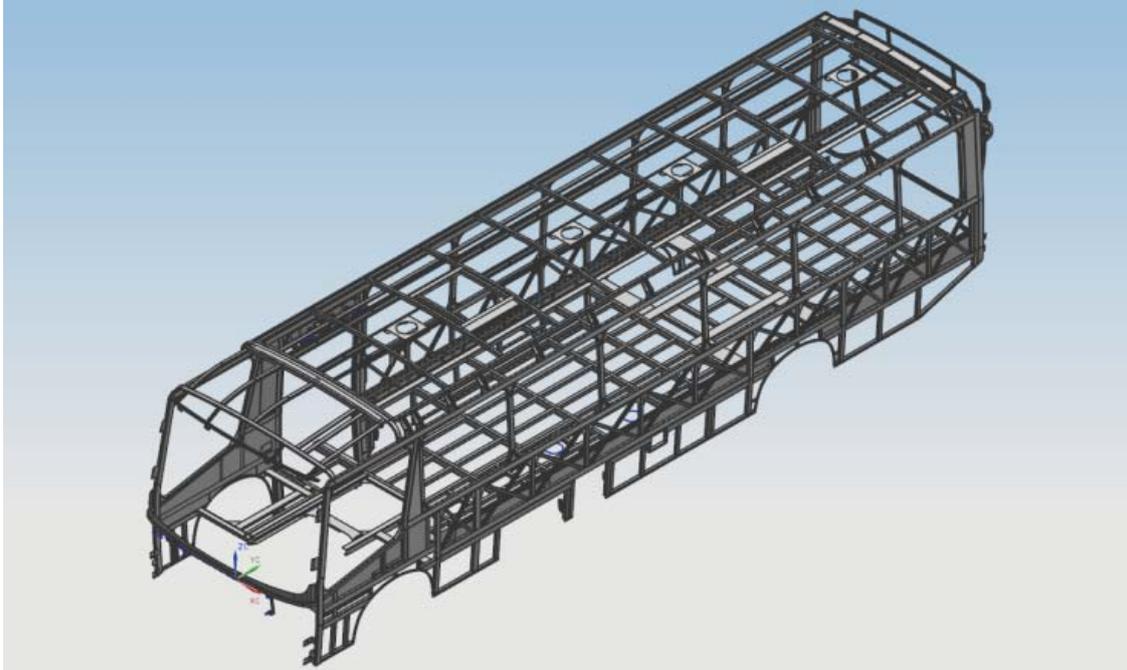
O projeto da carroceria leva em consideração as normas vigentes, as características construtivas do chassi utilizado, o arranjo estrutural da carroceria, o layout interno do ônibus (planta baixa), assim como as partes funcionais de mecânica, elétrica, e climatização.

Conforme Walber (2009), o arranjo estrutural de uma carroceria de ônibus é formado por sete partes estruturais, sendo estes os seguintes:

- frente
- traseira
- teto
- base superior / inferior
- lateral direita / esquerda

A união destes elementos recebe a denominação de Casulo, onde a sua principal função é dar forma e rigidez a carroceria. Segue abaixo na figura 10 a ilustração de um casulo.

Figura 10: Imagem de um casulo.



Fonte: Autor

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO

Este capítulo tem o objetivo de elaborar e consolidar o conceito de projeto elétrico para construção de ônibus urbanos baseado em metodologia de projeto, utilizando o sistema modular. Assim, será apresentado o sistema convencional de projetos, juntamente com o procedimento de desenvolvimento do novo sistema elétrico da carroceria, contemplando as etapas de projeto de engenharia, fabricação das redes elétricas e montagem do sistema elétrico na carroceria. Para efeito de comparação é realizada uma análise dos dois sistemas hoje utilizados na empresa: convencional e modular.

3.1 Apresentação do problema de projeto

Nos sub-capítulos a seguir, será apresentado o conceito de sistema elétrico convencional, assim como as principais dificuldades encontradas na utilização deste sistema em um processo produtivo de alta produtividade.

3.1.1 Sistema elétrico convencional

O sistema elétrico convencional é utilizado na empresa desde o surgimento da mesma, sendo adotada esta metodologia em todos os modelos de carrocerias fabricadas pela empresa atualmente. Este sistema consiste em um arranjo de definições gerais, considerando manuais de encarroçamento de chassis, normas, manuais de componentes, esquemas elétricos e cálculos de engenharia. Estas informações são encaminhadas ao setor de fabricação e montagem das redes elétricas de maneira formal, através de comunicações internas, memorandos, e-mails e esquemas de montagem, porém, não são inclusas em projetos de engenharia.

Toda a gestão de materiais a serem utilizados nas redes elétricas, definições de comprimentos de redes, tipos de fios e conectores e toda a logística de utilização e solicitação de material é realizada através do setor de fabricação de redes elétricas por meio de ordens de compra manuais. Este procedimento, apesar de ser uma maneira de fabricação muito ágil quando se necessita grandes variações de projeto, traz também algumas dificuldades. Na sequência serão apresentadas as principais dificuldades encontradas no sistema elétrico convencional.

3.1.2 Ausência de projetos elétricos

O fato de não disponibilizar projetos elétricos individuais para cada carroceria, traz impactos de falta de informação do início ao fim do processo. O projeto de engenharia é o ponto inicial do processo de fabricação da carroceria e, nele, devem estar inclusas as instruções de montagem e a lista de materiais a ser utilizada para cada necessidade. Após a etapa de engenharia, é executada a etapa de planejamento e controle de produção (PCP). Na ausência destas informações no momento do planejamento, a necessidade é apresentada somente na execução de fabricação da rede elétrica ou na montagem da carroceria, portanto, na necessidade de materiais especiais ou na falta de materiais normais de produção, ocorrem atrasos, improvisações e demais impactos negativos em geral na linha de montagem.

3.1.3 Administração de insumos

A multiplicidade de modelos de carrocerias e variações de funções acaba gerando também uma grande diversidade de componentes a serem utilizados nas redes elétricas. O setor de fabricação de redes elétricas tem a responsabilidade de manter a logística de mais de 300 códigos de componentes, como terminais, conectores, eletrodutos, cabos de diversas cores, etc. Podemos verificar na figura 11 uma parte dos cabos utilizados para produção.

A programação de compra destes insumos é feita através de Kanban, porém, depende de um fator predominante que é a disponibilidade de material dos fornecedores. Devido à alta variedade de materiais, os fornecedores mantêm um estoque mínimo dos insumos com maior rotatividade. Já os com menor utilização são fabricados de acordo com cada pedido.

Dependendo do tamanho das frotas de carrocerias a serem produzidas, o estoque disponível na empresa não é suficiente para a produção das redes elétricas, e o prazo de chegada do material solicitado ao fornecedor não é compatível com a data de fabricação e montagem das redes elétricas. Este fator acaba gerando uma despadronização do sistema elétrico nas frotas de um mesmo cliente.

Figura 11 – Insumos utilizados na fabricação das redes elétricas convencionais



Fonte: Autor

3.1.4 Ausência de gabaritos

O *layout* atual de trabalho do setor de fabricação de redes elétricas utiliza uma grande mesa como bancada de trabalho. Essas mesas possuem espaço adequado para fixação dos rolos de cabos utilizados nas redes elétricas, e um sistema de medição de comprimento de redes através de trena. (Verificar Figura 12).

Esse sistema pode fabricar qualquer tipo de rede elétrica, tornando muito ágil a fabricação de redes diversas, porém, quando se necessita de um padrão de fabricação, ele pode se mostrar falho, uma vez que a padronização desejada fica a cargo do montador.

Figura 12 – Bancadas de trabalho do sistema elétrico atual



Fonte: Dados da empresa

3.1.5 Redes individuais carro a carro

Este problema é decorrente das situações descritas nos capítulos anteriores, em que cada falha vai apresentando uma determinada consequência. O conjunto geral de redes elétricas aplicada na carroceria é praticamente individual para uma determinada carroceria, independente do modelo ou variação. Devido a inexistência do projeto elétrico individual, o operador pode variar sua montagem de acordo com a disponibilidade de material, assim como a mudança de operador pode alterar a forma construtiva da rede pela falta de gabarito.

O impacto destes problemas já é sentido na linha de montagem, trazendo dificuldade de ligação do sistema elétrico. Porém o ponto mais crítico é no cliente final, já que o mesmo apresenta grandes dificuldades de entendimento do sistema elétrico na realização das manutenções, onde cada carro possui uma instalação diferenciada, variando as cores dos condutores, pontos de passagem das redes elétricas.

3.2 Sistema elétrico desejado

O sistema elétrico modular se enquadra na característica de projeto de evolução, onde a partir de uma necessidade já existente (funcionamento do sistema elétrico da carroceria), foram elaboradas novas soluções em projeto, processo de fabricação e montagem das redes elétricas da carroceria.

O novo sistema elétrico da carroceria não deverá ser um sistema exclusivo carro a carro, possibilitando a programação de fabricação das redes elétricas através do sistema Kanban, assim como, deve atender as necessidades descritas nas especificações do projeto, com o intuito de desenvolver um novo sistema que de acordo com Meybodi (2005) tenham poucas mudanças de projetos, menos tempo de desenvolvimento, menos custo de desenvolvimento e menos custo de fabricação.

3.3 Lista de requisitos do sistema elétrico

A lista de requisitos do sistema elétrico inicia a partir das principais necessidades do sistema, conforme os itens abaixo:

- projeto do funcionamento do sistema elétrico;
- projeto de fabricação de redes elétricas;
- projeto de instalação das redes na carroceria;
- projeto de manutenção;
- toda documentação deve ser facilmente identificada;
- projeto único para todas as variações estruturais;
- atender ao volume máximo de capacidade da planta de fabricação;
- atender a todas as variações de marcas e componentes eletrônicos embarcados;
- a instalação elétrica deve ter vida útil de acordo com o tempo de utilização da carroceria;
- o projeto deverá ser confiável e assertivo, contendo informações completas.
- deverá ter um curto prazo de tempo para a realização do projeto de cada carroceria.

3.4 Ponto inicial do projeto de uma carroceria de ônibus

O projeto do sistema elétrico de uma carroceria inicia-se nas primeiras etapas de elaboração das características do ônibus, que é o preenchimento do pedido junto ao cliente. Com as características construtivas e funcionais selecionáveis devidamente esclarecidas, objetivas e com linguagem acessível ao vendedor e ao cliente, cria-se um

ambiente de venda mais seguro com relação ao que está sendo solicitado e ao que realmente será montado no ônibus. Finalizada a etapa comercial, o pedido entra na etapa de projeto de engenharia que, por sua vez, realiza a análise técnica das necessidades e transcreve as informações ao processo produtivo através de projetos claros, completos e objetivos.

3.5 Especificações do projeto

O projeto elétrico deve atender às seguintes necessidades, independente da característica da carroceria solicitada pelo cliente. Deve ter informações totais sobre o sistema elétrico da carroceria e sua documentação deve contemplar o diagrama elétrico, que é a lógica de como a parte elétrica funciona. O projeto de pontos de passagem das redes elétricas, com as informações de seu posicionamento dentro da carroceria do ônibus e, por fim, o projeto de engenharia, que deve ser utilizado para fabricação das redes elétricas.

O volume de utilização das redes elétricas deve atender à capacidade total de fabricação de carrocerias de ônibus urbanos, partindo de um volume mínimo de uma unidade por dia e podendo chegar até quarenta, considerando todas as variações estruturais e componentes eletrônicos e chassis contemplados na tarefa de vendas da carroceria.

A qualidade da rede elétrica deverá ter vida útil conforme a carroceria do ônibus, sem que ocorram danos oriundos de infiltrações, superaquecimento, atritos, curto-circuito. O sistema de manutenção deve prever a identificação total do sistema elétrico, como a identificação e função de cada fio (diagrama elétrico de manutenção), identificação e posicionamento de cada conector na carroceria, ponto de passagem e identificação das redes elétricas. E por fim a reposição de peças do sistema elétrico, possibilitando a substituição parcial ou completa do sistema elétrico, incluindo as redes elétricas.

As características apresentadas nos capítulos seguintes podem ou não ser selecionadas pelo cliente de acordo com as suas necessidades. Estas variações de carrocerias e componentes devem ser consideradas nos projetos elétricos, uma vez que trazem impactos nas características funcionais e construtivas da rede elétrica.

3.6 Principais variações entre carrocerias e componentes

1. Variações de portas

A grande maioria dos ônibus urbanos utiliza duas a três portas de acesso entrada/saída de passageiros, porém existem aplicações em que a quantidade de portas varia de uma a cinco portas. Além da variável de quantidade, tem-se ainda o posicionamento das portas, de acordo com a planta baixa (*layout* interno) e o comprimento da carroceria, ocorrendo variações de distância entre uma porta e outra. O sistema de acionamento da porta pode alternar entre acionamento elétrico, acionamento pneumático e acionamento eletro-pneumático e porta com ou sem elevador.

2. Variações de comprimento de carroceria

As variações de comprimento do sistema elétrico devem estar de acordo com a disponibilidade construtiva de cada modelo de carroceria, que pode iniciar com 10,5m e chegar ao máximo de 14m.

3. Variações de Chassi

O chassi é o conjunto que move o ônibus. Envolve toda a sustentação da carroceria, com suspensão, transmissão, motor, câmbio, sistema de freios, etc. O projeto elétrico deve atender a todas as variações de chassis, uma vez que a escolha do mesmo é estabelecida por cada cliente em função de sua necessidade. Os principais fabricantes de chassis utilizados em ônibus urbanos são Mercedes Bens, Volkswagen (MAN), Volvo, Scania, Agrale e Iveco.

4. Legislação

Deve atender a todas as normas da legislação brasileira de construção de carrocerias de ônibus urbanos, como as normas NBR15570, NBR14022, além das regionais de cada estado ou cidade, como por exemplo, o Departamento de Transportes Rodoviários do Rio de Janeiro (DETRO), e a Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC) de Porto Alegre.

5. Variação de componentes

A quantidade de componentes utilizados nas carrocerias é variável e bastante complexa, devido ao fato de que cada cliente possui uma característica própria de utilização de componentes eletrônicos. Os componentes podem ser alterados quanto à sua utilização de diversas formas, desde a quantidade de componentes utilizados, funcionalidade, marcas e modelos e posicionamento na carroceria. Segue abaixo algumas variações comuns de componentes elétricos e eletrônicos utilizadas nas carrocerias.

5.1 Sistemas de acionamento de cargas

A interface utilizada entre o motorista e a carroceria define a arquitetura elétrica principal a ser utilizada na carroceria. Existem duas opções: sistema de acionamento de cargas por teclas convencionais, utilizando central elétrica com relés e fusíveis, e o sistema multiplexado, utilizando módulos eletrônicos programáveis, e acionamento de cargas através de semicondutores, com protocolo de comunicação serial síncrono (CAN) em que conforme Guimarães (2002), todos os módulos podem se tornar mestre em um determinado momento e escravo num outro.

5.2 Componentes eletrônicos gerais

Referente a componentes eletrônicos embarcados, existem diversas empresas com vastos *portfólios* de produtos, em que cada cliente se identifica com determinadas empresas ou produtos e solicita a utilização em suas carrocerias, sendo que cada produto eletrônico possui uma característica própria de instalação, tamanho físico e conexão elétrica com a carroceria.

Os principais componentes eletrônicos utilizados são os bloqueadores de portas, itinerários eletrônicos, validadores, elevadores, componentes de iluminação e sinalização, sistemas de áudio e vídeo.

3.7 Ciclo de vida do produto

O ciclo de vida dos componentes do sistema elétrico do ônibus tem as seguintes fases: projeto, fabricação das redes elétricas, embalagem, transporte, montagem no ônibus, utilização, manutenção, desativação e reciclagem. Porém, alguns componentes não são fabricados para passarem por manutenção e acabam sendo substituídos e descartados, como nos casos de componentes eletrônicos mais avançados.

O tempo de vida de uma versão do sistema elétrico é variável de acordo com o mercado. Conforme Zilio (2014), a indústria brasileira de ônibus encontra-se em momento de transição, em que o uso de novas tecnologias vem agindo como combustível desta mudança. Tem-se como exemplo, sistemas que eram amplamente utilizados até o ano de 2005, como a iluminação interna utilizando lâmpadas fluorescentes que, posteriormente, passaram a ser em led e ter controle de intensidade via *Pulse Width modulation* (PWM). Recentes melhorias ocorreram também com itinerários eletrônicos e com a sinalização externa. No momento, encontra-se em fase final a transição dos sistemas de acionamento das cargas da carroceria, quando se encerra o ciclo do sistema de central elétrica com teclas, relés e fusíveis, para o avanço ao acionamento transistorizado, através do sistema multiplexado.

Os projetos das redes elétricas devem atender às necessidades de qualquer aplicação, nascendo com o início do ciclo de vida de uma nova tecnologia, e acompanhando a tecnologia substituída até o último dia de sua utilização.

3.8 Planejamento da qualidade desejada

Desde a venda da carroceria até o descarte da mesma, tem-se vários usuários do sistema elétrico, que são os seguintes: setor de vendas, engenharia, custos, fabricação, montagem, cliente final e equipe de manutenção, em que cada um tem um interesse em particular com o sistema.

Foi definido como prioridade de qualidade no projeto elétrico, o baixo índice de manutenção do sistema junto ao cliente final. Para isto, alguns parâmetros dos usuários dos demais processos necessitam ser alterados. Estes parâmetros serão apresentados nos sub-capítulos a seguir.

3.9 Requisitos iniciais de projeto

Após os levantamentos de necessidades e especificações de como o sistema deve funcionar, inicia-se a parte de adequação dos setores para a implantação do novo sistema.

Para cada setor, é realizada uma análise, levando em consideração sua importância e influência no sistema. São realizadas adequações em seus processos para que suas necessidades sejam atendidas de uma maneira que não ocorram situações inesperadas para o sistema.

Dentro da corporação, existem diversos setores que influenciam o sistema elétrico indiretamente. Estes setores estão ligados ao rendimento e qualidade da instalação do sistema, uma vez que a sua influência no sistema pode apenas gerar atrasos na instalação da rede elétrica na carroceria. Como exemplo, no setor de fabricação onde, caso ocorra o atraso de um componente mecânico que interage com o sistema elétrico, o mesmo não poderá ser instalado, trazendo transtornos de atrasos e retrabalhos em linha de montagem.

Os setores diretamente ligados ao sistema elétrico tiveram suas estruturas mapeadas, e grande parte necessitou de alguns ajustes para que o sistema ocorra com fluência. Os principais setores influenciadores no sistema elétrico são os seguintes:

Setor de vendas: responsável pela comunicação entre o cliente e a engenharia. Utiliza como uma de suas ferramentas de trabalho a tarefa de vendas das carrocerias, que conforme a necessidade de cada cliente resulta em uma ficha de montagem exclusiva para cada venda.

Setor de engenharia: responsável pela elaboração dos projetos a partir das necessidades descritas na ficha de montagem. Os projetos de engenharia são referência para orçamentos, custos, compras, fabricação e montagem das carrocerias. É de responsabilidade da engenharia também a elaboração das tarefas de vendas, juntamente com o setor comercial.

Setor de fabricação de redes elétricas: responsável pela execução dos projetos de redes elétricas conforme os projetos da engenharia, fabricação de gabaritos para fabricação das redes, testes lógicos de ligações elétricas para conferência das redes, testes de conexão de terminais e soldas da rede elétrica. Identificação e embalagem das redes elétricas.

Setor de montagem: responsável pela instalação das redes elétricas nas carrocerias conforme projeto de engenharia. Ligação dos componentes eletrônicos, elaboração de procedimentos operacionais padrão, conferência de controles de qualidade. O trabalho do setor de montagem inicia-se no começo do processo produtivo da linha de montagem e finaliza no último posto de trabalho do sistema elétrico no processo produtivo, após a aprovação da carroceria no teste final de funcionamento do sistema elétrico.

Setor de compras e PCP: são responsáveis por todo o desenvolvimento e programação de compra de materiais utilizados no sistema produtivo. Utilizam como referência de compra as demandas solicitadas através dos projetos de engenharia. Trabalham com uma grande variação de componentes e fornecedores.

Setor de pós vendas e assistência técnica: é a interface entre cliente e empresa após a entrega final das carrocerias. No caso de ter dúvidas sobre a utilização, ou na incidência de algum problema, esse setor dá suporte ao cliente e solicita as ações internas de melhoria e correções dos itens verificados em campo.

3.10 Concepção do projeto

Para ter um sistema elétrico completo e eficiente, leva-se em consideração no momento da elaboração do projeto, todas as suas áreas influenciadoras. Para dividir o problema em diversas etapas, o projeto foi elaborado para os vários setores da empresa, onde foram encontradas dificuldades e soluções para cada área da organização.

3.10.1 Setor de vendas

A correta elaboração do pedido de uma carroceria é fundamental para que o processo ocorra com naturalidade. Para que o desenvolvimento das características de venda da carroceria seja bem sucedido, os representantes de vendas e os clientes necessitam compreender claramente o que está sendo oferecido. Para isto, é utilizada uma ferramenta de trabalho chamada de configurador de tarefa de vendas.

Para ter um sistema elétrico eficiente é necessário ter um conhecimento prévio do que poderá ser utilizado na configuração da carroceria, portanto é de extrema importância que o setor trabalhe com tarefas conhecidas pela engenharia. Para que essa

condição seja atendida, a tarefa de vendas deve ser elaborada juntamente pelo setor de engenharia e comercial.

Na tarefa de vendas constam todas as características de produtos disponíveis para fabricação, assim como as regras de utilização de cada atividade. Para facilitar a identificação de produtos disponíveis e necessidades novas de clientes, a tarefa é dividida da seguinte maneira:

Itens normais, opcionais, ou restritos: são itens já previstos pela engenharia, portanto já existe um projeto para atender a tarefa solicitada.

Itens especiais: são tarefas novas solicitadas pelos clientes. Este item é analisado tecnicamente e financeiramente quanto à sua viabilidade de utilização e, se necessário, é criado um projeto específico para o atendimento de sua necessidade. Conforme aumenta a demanda de solicitação do item, este pode vir a fazer parte de tarefas restritas, opcionais ou normais.

A figura 13 mostra a ilustração de um item restrito, e um normal ou opcional respectivamente, assim como a figura 14 representa solicitação de um elemento especial.

Figura 13 – Ilustração de item restrito + normal ou opcional

184 - Instalação Elétrica	
184.413 - Posição Do Validador	* DOIS, UM ANTES DA CATRACA LE (PD) E UM ANTES DA CATRACA LD (PD)
184.1081 - Sistema Multiplex	Sim (Com Painel De Visualização)

Fonte: Autor

Figura 14 – Ilustração de item especial

Observações:
186 - Sinalização: 186.515 - Campanha: Botoeiras Wi-Fi;

Fonte: Autor

3.10.2 Setor de engenharia

O setor de engenharia tem como objetivo elaborar as soluções técnicas para as necessidades de cada cliente ou pedido. Desde a entrada de uma nova solicitação até a entrega do produto final ao cliente existem diversas etapas informacionais a serem consideradas na elaboração de uma carroceria, nas quais grande parte delas têm relação direta com setor de engenharia.

Principais etapas informacionais:

- solicitação do cliente;
- interpretação da solicitação por parte do setor de vendas;
- descrição da solicitação por parte do setor de vendas;
- interpretação por parte da engenharia;
- desenvolvimento do projeto de engenharia;
- interpretação do projeto por parte dos setores de fabricação e montagem;
- execução da fabricação e montagem.

O setor de engenharia é o responsável pelo fluxo de informações desde a descrição da solicitação por parte do setor de vendas até a interpretação do projeto por parte dos setores de fabricação e montagem.

Como ferramentas de comunicação de engenharia, podem ser consideradas duas principais: tarefa de vendas como comunicação entre engenharia e comercial, e projetos como comunicação entre engenharia e fábrica.

Baseado no fato da empresa possuir o setor de engenharia elétrica com uma quantidade limitada de profissionais, onde a grande variação de projetos compromete a qualidade e eficiência dos mesmos, faz-se necessário o auxílio de ferramentas de trabalhos eficientes, juntamente com metodologias de projeto adequadas à necessidade da organizacional.

3.10.2.1 Elaboração dos projetos

Todo projeto deve delimitar os objetivos, o ponto de início e o seu final.

A elaboração do projeto elétrico modular deve considerar todos os setores e usuários do sistema.

O ponto de partida do projeto elétrico modular consiste em elaborar as descrições utilizadas na ferramenta de comunicação com o mercado com clareza, minimizando a incidência de dúvidas entre o que está sendo solicitado pelo cliente e o que está sendo interpretado pela engenharia. Em um segundo momento, é delimitado o que é mais utilizado pelo mercado, classificando as tarefas por demanda de consumo. As tarefas são classificadas pela engenharia como itens normais, opcionais, ou restritos.

Conforme a procura pelo item passa a ser uma necessidade de diversos clientes, poderá receber uma nova classificação, ampliando a disponibilidade do mesmo para o mercado, através da classificação do item como opcional ou normal.

Uma vez conhecidas as tarefas a serem utilizadas na carroceria, pode-se quantificar e elaborar a metodologia de projeto a ser utilizada. Para dar consistência aos projetos de engenharia, além de levar em consideração as especificações do projeto, também foram utilizados dois artifícios para produção em larga escala, que são a padronização e automação dos projetos de engenharia.

3.10.2.2 Padronização dos projetos

Com o intuito de ter uma quantidade limitada de projetos por carro, entramos no conceito de projeto modular, em que se avalia cada função utilizada na carroceria através do conceito de produto modular.

Os projetos foram divididos em quatro partes:

Projetos básicos: são utilizados em todos os carros. Apesar de demandar um esforço maior, no sentido de atender a todas as condições de utilização, sua programação é simples e basicamente não tem restrições quanto à sua utilização. Os projetos básicos compõem praticamente 40% dos projetos necessários na montagem de uma carroceria.

Projetos auxiliares: são as interligações utilizadas nas carrocerias. São elaborados para atender às variações construtivas da carroceria. Geralmente são utilizados em conjunto com os projetos básicos, direcionando estes para a aplicação desejada. São os projetos auxiliares os grandes responsáveis pelas diferenciações de funcionamento entre os itens opcionais.

Projetos adaptativos: são projetos complementares. Geralmente é o ponto final de um ramo da rede elétrica. Sua principal utilização é diferenciar algum detalhe de conexão entre os componentes finais. Normalmente são pequenos projetos de fácil elaboração e fabricação, e sua programação de utilização depende diretamente das marcas e modelos dos componentes a serem utilizados nas carrocerias.

Projetos especiais: são as aplicações pontuais solicitadas pelos clientes. Em um primeiro momento são utilizados somente para uma aplicação especial e são

classificados como restritos a uma determinada condição ou cliente. Os tempos de projeto destes itens variam conforme o nível de complexidade da solicitação, uma vez que para o desenvolvimento de um projeto novo é necessário cumprir com eficiência todas as etapas informacionais descritas anteriormente, além de atender as especificações do projeto.

O projeto especial pode ser desde um componente adicional a ser incorporado no sistema, como pode chegar a ser de uma carroceria completamente nova.

3.10.2.3 Projeto de engenharia

O projeto de engenharia parte do princípio estrutural de montagem das carrocerias, onde ocorrem cinco montagens interdependentes uma das outras. São basicamente: Teto, frente, traseira, laterais, e base.

O projeto elétrico deve levar em consideração essa característica estrutural, em que as mesmas interferem diretamente na montagem das redes elétricas.

No sistema elétrico, ocorre uma solução equivalente à estrutural. O problema foi dividido em partes, ou seja, foi encontrado um conceito de divisão de redes conforme o arranjo estrutural da carroceria. O sistema elétrico foi dividido em seis partes principais, interdependentes entre si, semelhante ao sistema estrutural. O sistema elétrico analisa as seguintes partes principais: teto, frente, traseira, painel, inferior, e central elétrica. Conforme o arranjo de cada parte principal, encontra-se a configuração a ser utilizada na carroceria.

O arranjo de cada parte principal é formado por um conjunto de redes, onde este é formado por uma ou mais rede base, auxiliar, adaptativa ou especial.

Redes especiais podem ser incorporadas ao projeto quando alguma necessidade muito específica é solicitada, ou não está prevista no arranjo.

Teto: o arranjo elétrico do teto é formado pelas seguintes redes:

Redes do teto base: são redes padronizadas, que fazem a comunicação entre a rede da central elétrica e as demais cargas e redes a serem acionadas no teto.

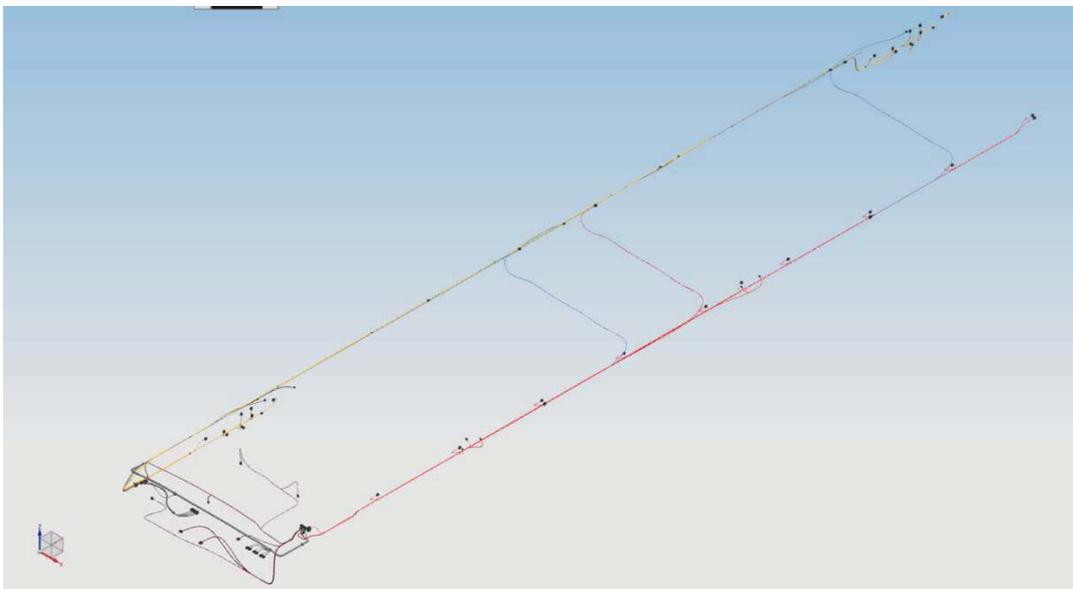
Redes do teto auxiliares: são redes padronizadas, com variações quanto a sua utilização. Fazem conexão entre as redes base do teto e as demais redes adaptativas, como portas, ventiladores, posto do cobrador, etc.

Redes adaptativas: são redes padronizadas que fazem a comunicação entre as redes base ou auxiliares, e as cargas em geral, como conexões entre modelos de luminárias, itinerários, etc. A figura 15 apresenta um exemplo de uma rede de teto:

Composição da ilustração:

- redes base: lateral direita (amarelo), lateral esquerda (vermelho), cabine (cinza);
- rede auxiliar: ventilador (azul dianteira);
- rede adaptativa: cobrador (azul traseira).

Figura 15 – Projeto elétrico Teto em 3D.



Fonte: Autor

Frente: o arranjo elétrico da frente é constituído pelas seguintes redes:

Rede da frente base: é uma rede padrão onde a mesma é utilizada para todos os modelos de carroceria.

Redes auxiliares ou adaptativas: fazem a comunicação da rede da frente base com a central elétrica, ou interface com o chassi. Estas redes variam conforme a configuração do chassi a ser utilizado.

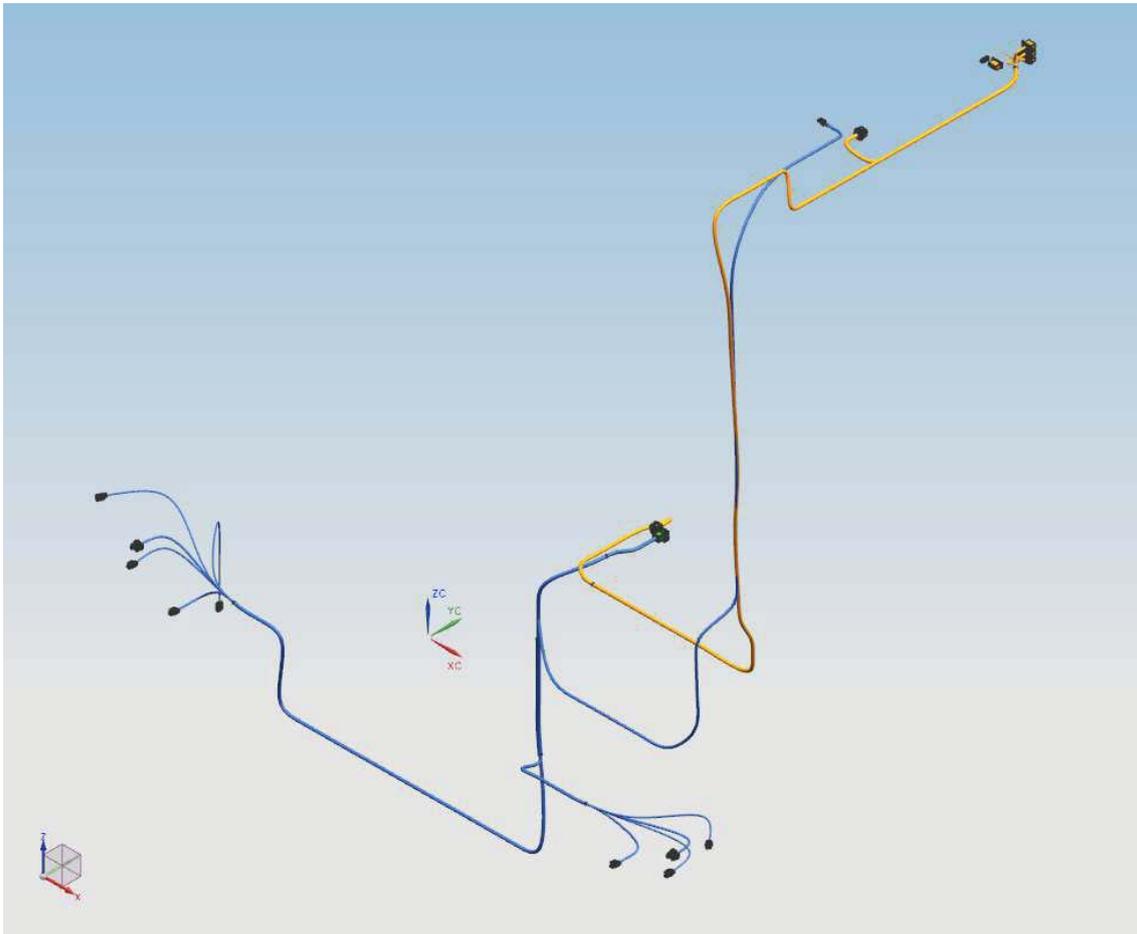
Pode-se verificar através da figura 16 uma rede da frente:

Composição da ilustração:

- rede base: sinalização dianteira (azul);

- rede auxiliar: comunicação com a central elétrica (amarelo).

Figura 16 – Projeto elétrico Frente em 3D.



Fonte: Autor

Traseira: o arranjo elétrico da traseira é semelhante ao arranjo da rede da frente, porém, sua única diferença é que não há interface com as demais redes do carro, conectando-se somente ao chassi, sendo formada pelas seguintes redes:

Rede base: é uma rede padrão onde é utilizada para todos os modelos de carroceria.

Redes adaptativas: fazem a comunicação da rede da traseira com o chassi. Estas redes variam conforme a configuração do chassi a ser utilizado.

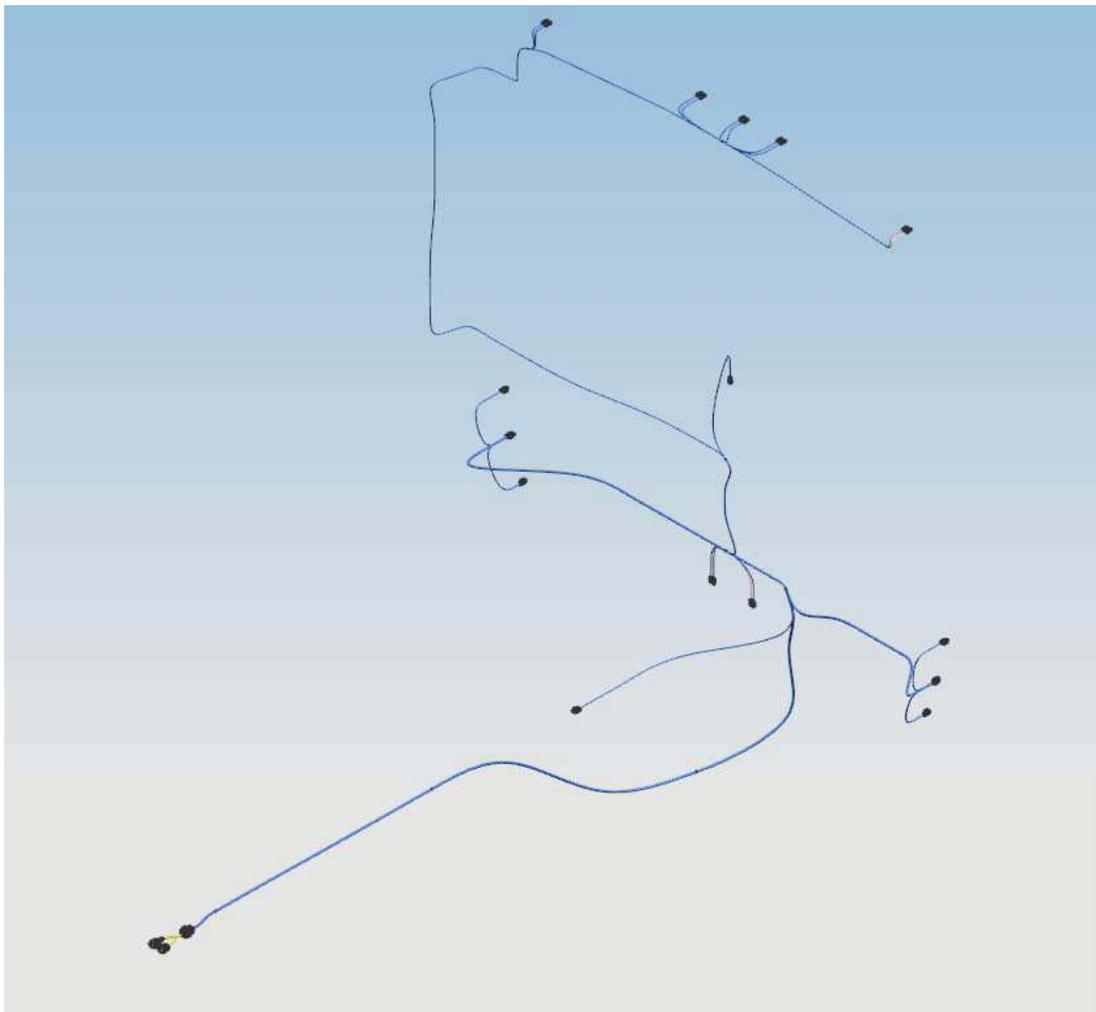
Segue na figura 17, um exemplo de uma rede da traseira:

Composição da ilustração:

- rede base: sinalização traseira (azul);

- rede adaptativa: comunicação com o chassi (amarelo).

Figura 17 – Projeto elétrico da traseira em 3D.



Fonte:Autor

Painel: o arranjo elétrico do painel é constituído pelas seguintes redes:

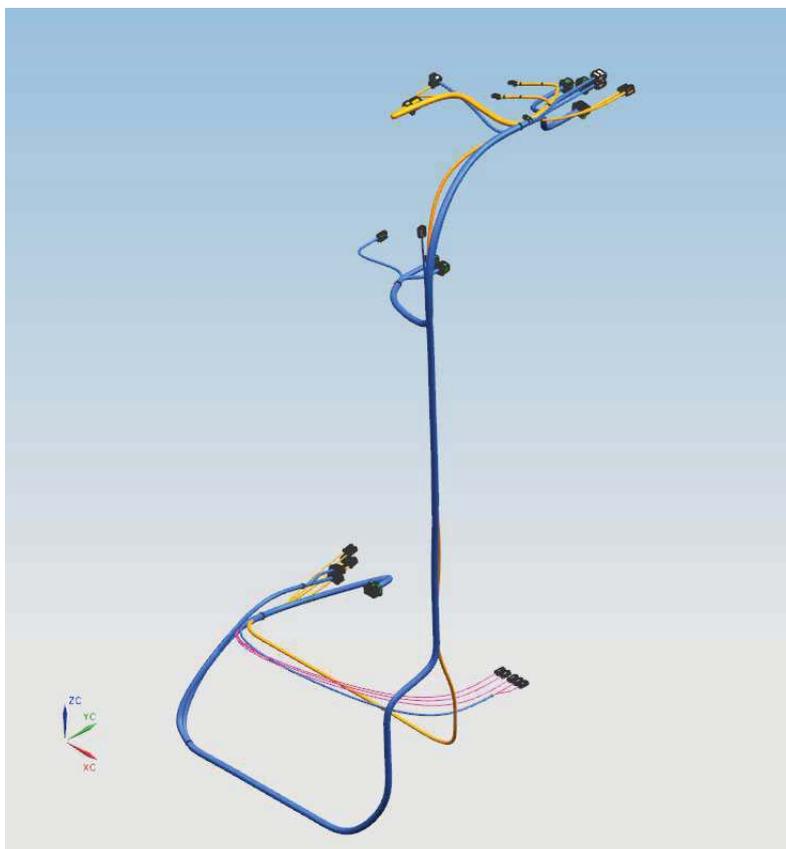
Redes base: são redes padronizadas, que fazem a comunicação entre a rede da central elétrica e os componentes do painel, como rádio, bloqueadores de portas, itinerários, etc., assim como a conexão entre as redes da central elétrica e as redes inferiores.

Redes adaptativas: são redes padronizadas que fazem a comunicação entre as redes base ou auxiliares, e as variações de componentes do painel. São normalmente usadas para diferenciar as conexões entre as diversas marcas de componentes utilizados pelos clientes.

A figura 18 apresenta a seguinte composição de redes do painel:

- Rede base: componentes básicos do painel e comunicação com as redes inferiores (Azul);
- Rede adaptativa: componentes do sistema multiplex (azul).

Figura 18 – Projeto elétrico do painel em 3D.



Fonte: Autor

Rede Inferior: o arranjo elétrico da rede inferior é formado pelas seguintes redes:

Rede base padrão: é uma rede base padronizada, que faz a comunicação entre a rede do painel e os componentes da parte inferior da carroceria, como elevador, catraca, itinerários, etc.

Rede de alimentação: é constituída por redes auxiliares padronizadas, que fazem a alimentação do sistema elétrico da carroceria. Tem seu início na caixa de baterias e finaliza na central elétrica.

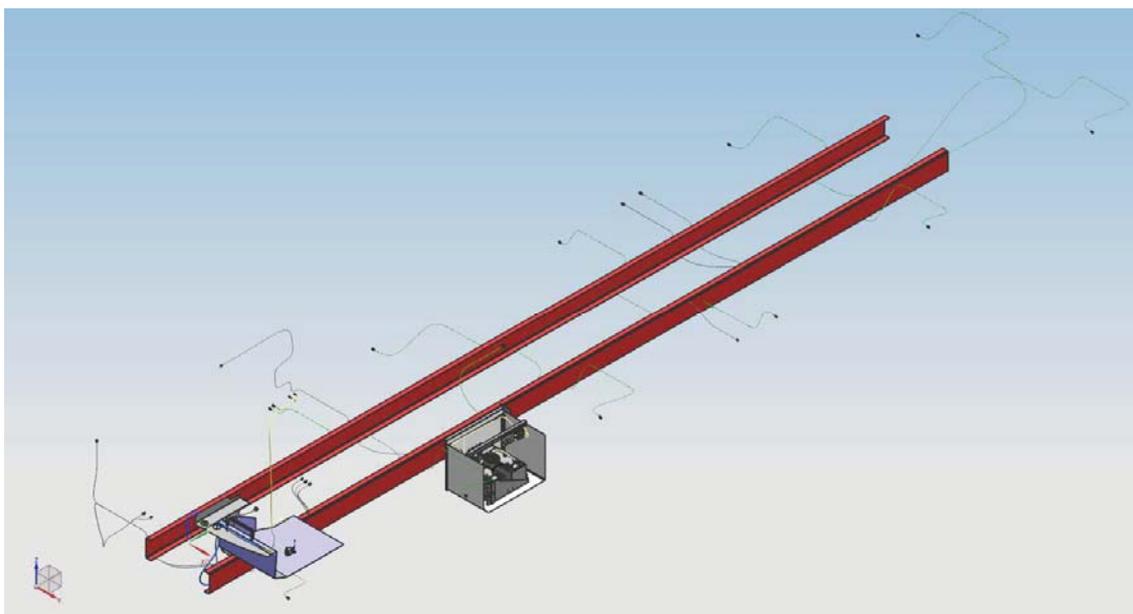
Rede de sinalização externa: é constituída por uma rede base padronizada, associada com redes adaptativas, as quais fazem a ligação de todos os componentes da

sinalização externa lateral da carroceria, partindo do ponto de alimentação do chassi. Verifica-se o conjunto destas redes na figura 19.

Composição da ilustração:

- Redes base: componentes padronizados da parte inferior (cinza), e sinalização externa (verde);
- Rede auxiliar: rede de alimentação (amarelo).

Figura 19 – Projeto elétrico Inferior em 3D.



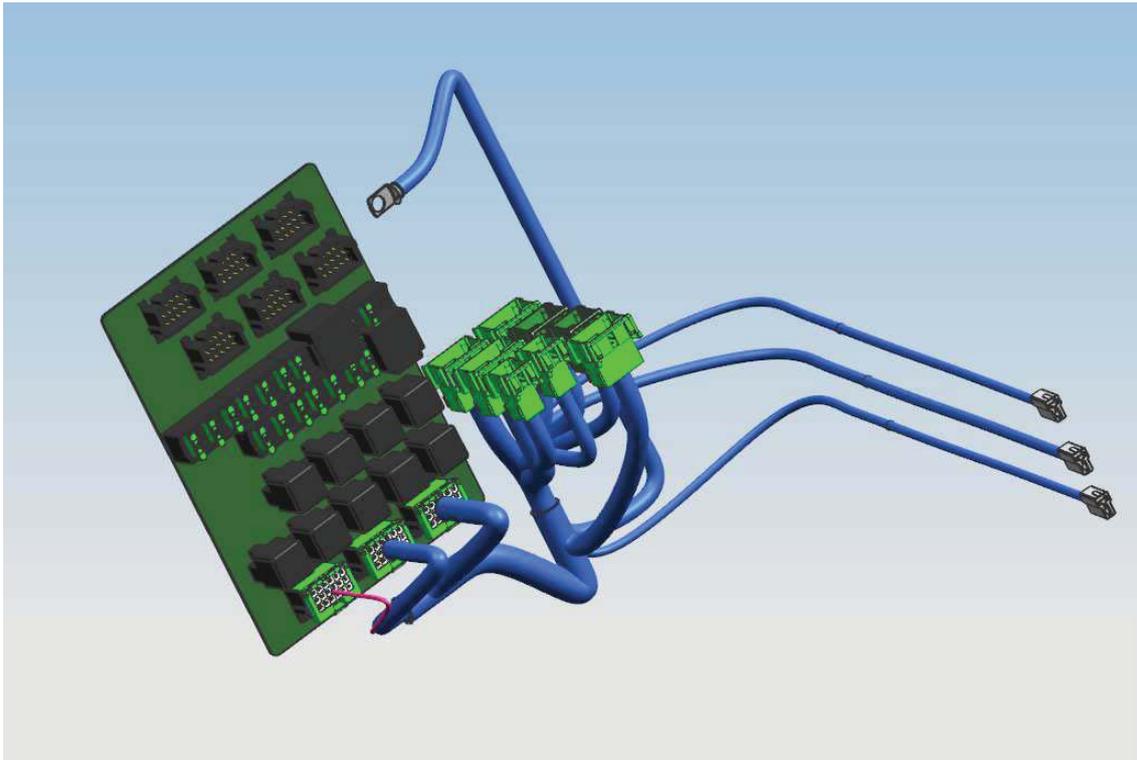
Fonte: Autor

Rede central elétrica

O arranjo elétrico do painel é formado pelas seguintes redes:

As redes da central elétrica são formadas por redes auxiliares, onde estas são responsáveis por toda parte lógica de funcionamento das demais redes do carro. A rede da central elétrica possui comunicação direta e indireta com as demais redes da carroceria, exceto com a rede traseira e sinalização externa. As principais variações das redes da central elétrica ocorrem devido a fatores ligados a modelos de chassi, placas de central elétrica, e marcas de sistemas multiplexados (Figura 20).

Figura 20 – Projeto elétrico da Central elétrica em 3D.



Fonte: Autor

3.10.2.4 Softwares de projetos

Os recursos de ferramentas disponíveis para execução de projetos apresentam resultados diretos na qualidade, eficiência, assertividade, e tempo de elaboração dos mesmos. Para ter um setor de engenharia elétrica competitivo no ramo de carrocerias de ônibus, onde o mercado solicita soluções eficientes em um curto prazo de tempo, é necessária a utilização de ferramentas que proporcionem segurança e agilidade na elaboração dos projetos.

Os projetos elétricos, para apresentar uma estrutura adequada para a construção de uma carroceria de ônibus, necessitam ter basicamente as seguintes informações:

- lógica de ligação dos componentes da carroceria;
- projeto de fixação, pontos de passagem, e comprimento das redes elétricas;
- projeto de fabricação de redes elétricas.

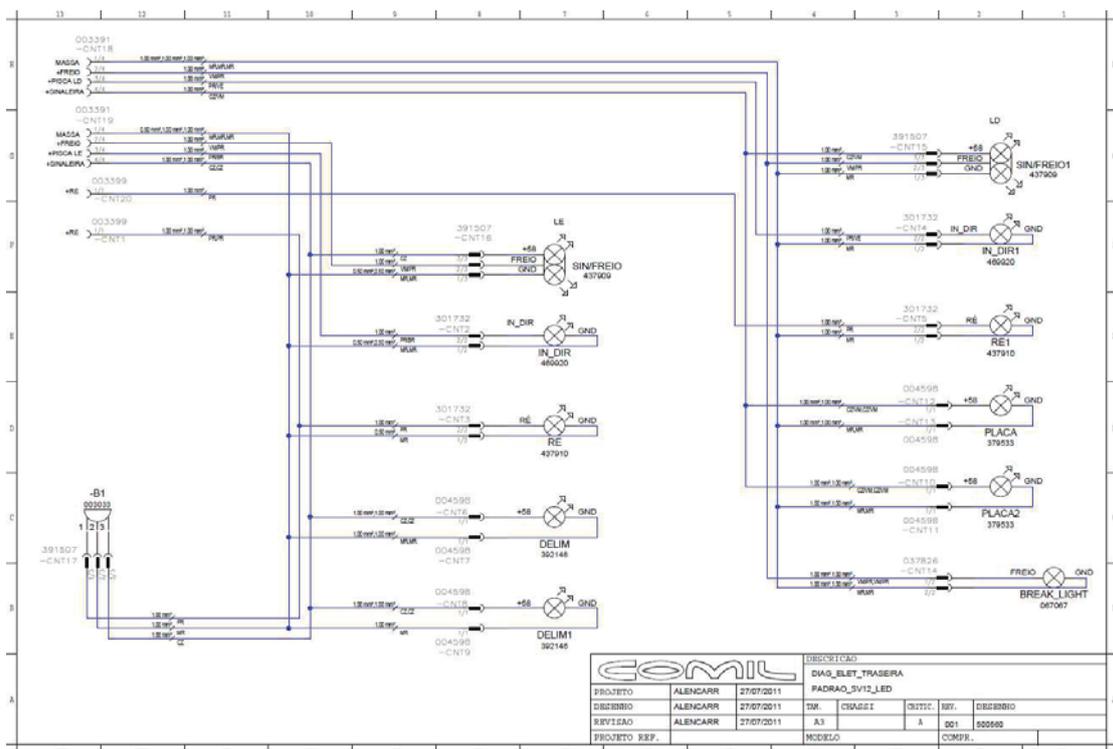
Tendo como objetivo ter os projetos elétricos completos para todos os modelos de carroceria, sendo estes elaborados dentro dos prazos de entrega dos projetos para abastecimento da fábrica, verificou-se a necessidade de utilização de novos recursos em

ferramentas de projeto, uma vez que a ferramenta utilizada não proporcionava agilidade e segurança ao projetista pelo motivo de não pertencer à mesma plataforma de trabalho.

Para chegar às condições desejadas foram então desenvolvidos novos recursos de *softwares*, trazendo o projeto elétrico para a mesma plataforma de projetos dos demais sistemas da carroceria. Esta necessidade somente tornou-se possível através da integração de duas famílias de softwares: E3 (Zuken), e NX (Siemens).

A família da Zuken é o ponto inicial do projeto, através da elaboração dos diagramas elétricos, utilizando o programa E3 Cable. Os diagramas elétricos são responsáveis por toda a lógica de ligação e o cálculo de dimensionamento de capacidade de corrente dos condutores. Contém informações de conectores (função, tipo, nomenclatura, quantidade de pinos utilizados), e condutores (seção, cor, identificação, função). Para visualizar melhor a elaboração do diagrama elétrico, o mesmo é apresentado na figura 21.

Figura 21 - Diagrama elétrico completo gerado através do software E3 Cable



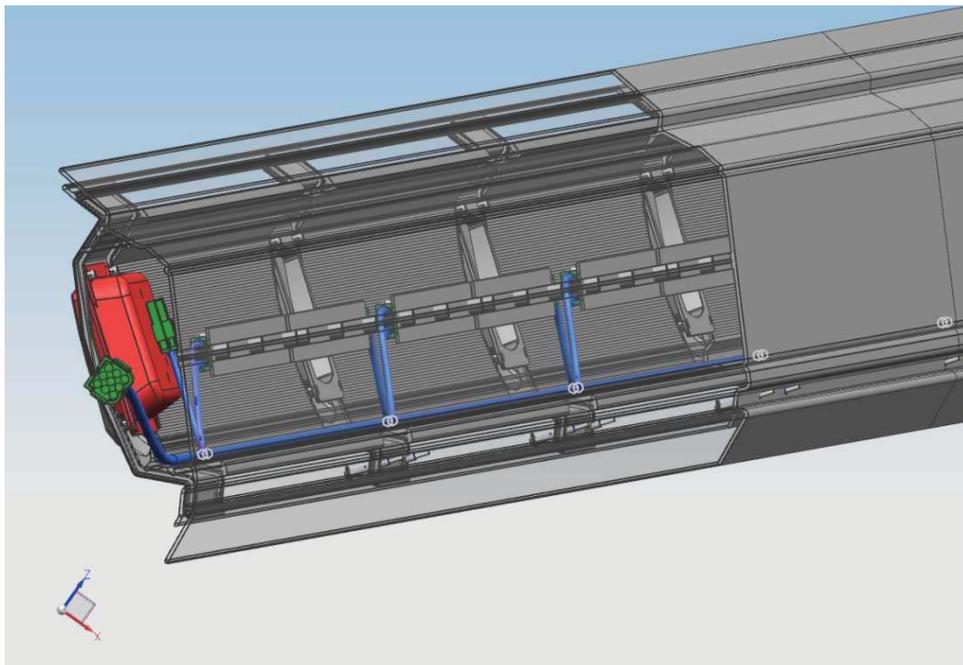
Fonte: Autor

Concluída a etapa de elaboração do diagrama elétrico, o mesmo deve ter suas informações exportadas para a etapa de roteamento das redes elétricas sendo, para isso, utilizado o programa NX Routing Electrical da família Siemens. Para a realização desta

interface de comunicação entre os dois programas é utilizado o programa Routing Bridge, configurado em conjunto entre as empresas Comil, Cim-team e Siemens, para que o diagrama elétrico tenha um formato de leitura adequado para o software de projetos 3D, em um ambiente comum com os demais projetos de fabricação da carroceria do ônibus.

O software Routing Electrical é responsável pelo projeto das redes elétricas e utiliza as informações importadas dos diagramas elétricos na plataforma em 3D, como podemos verificar na figura 22. Os conectores são identificados e posicionados na carroceria conforme suas necessidades. São traçados os pontos de passagem por onde devem percorrer as redes elétricas e então realizado o roteamento dos fios. Neste momento tem-se o projeto tridimensional das redes elétricas com informações referentes aos pontos de passagem, fixação, volume de ocupação, quantidade, comprimento e características dos fios.

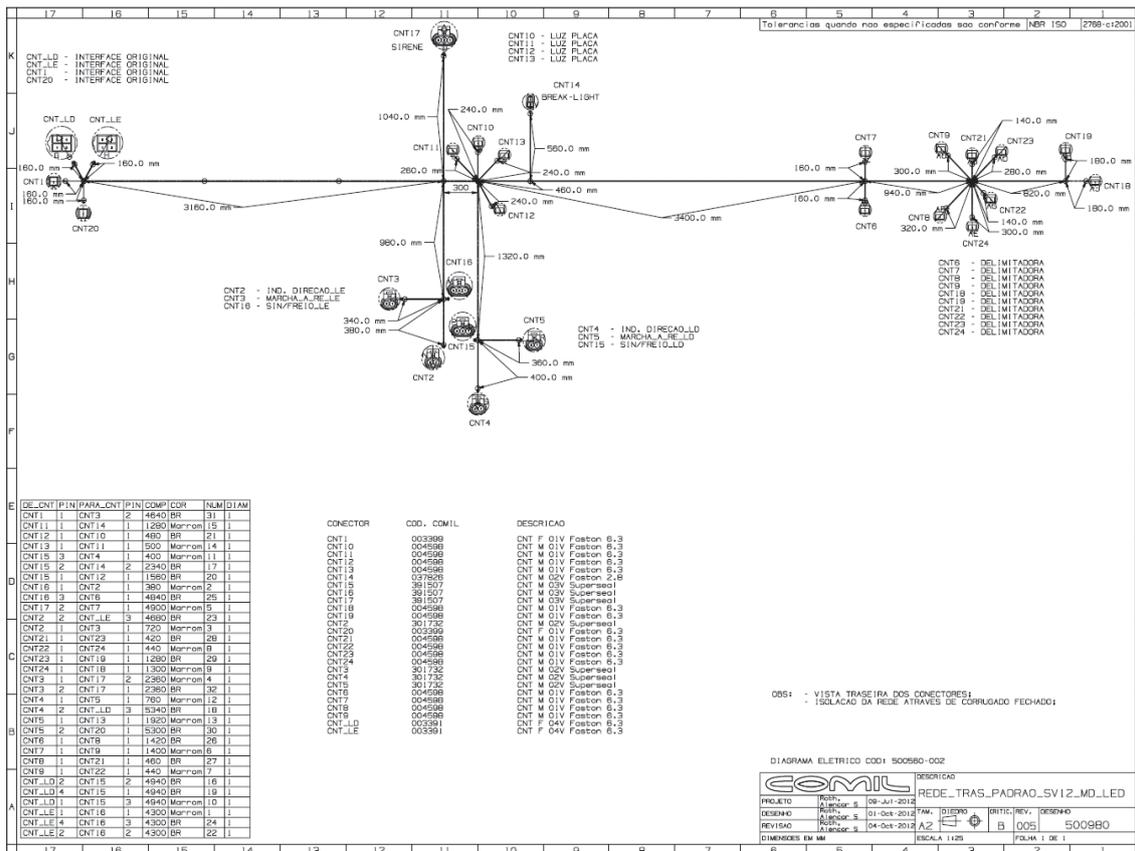
Figura 22 - Projeto de rede elétrica utilizando o software Routing Electrical



Fonte: Autor

Para finalizar o projeto, a rede elétrica desenhada em 3D é planificada e expandida para o formato 2D, iniciando, assim, o processo de detalhamento. Nesta etapa são expostas as informações necessárias para a fabricação da rede elétrica, contendo todos os dados acumulados no diagrama elétrico e roteamento em 3D. (Figura 23).

Figura 23 - Detalhamento da rede elétrica utilizando o software Routing Electrical



Fonte: Autor

3.10.2.5 Automação dos projetos

Devido à alta demanda de projetos de carrocerias, juntamente com a complexidade de compreensão do sistema elétrico das mesmas, foi necessário desenvolver uma ferramenta para assegurar a segurança de acerto dos projetos e proporcionar tempo de elaboração adequado à demanda de projetos das carrocerias. Para isso foi desenvolvido um sistema de automação dos projetos elétricos.

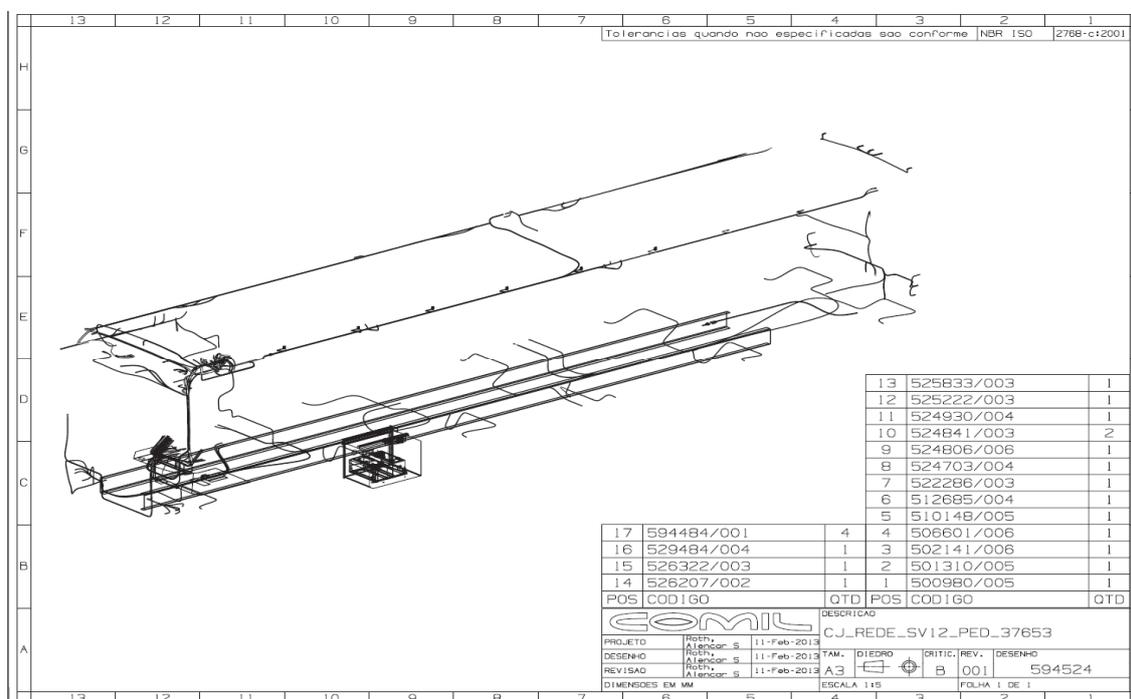
Com o auxílio dos softwares de customização de projetos no NX desenvolvido na empresa, foram criadas as lógicas de utilização de cada projeto de rede elétrica. Estas lógicas são referenciadas conforme as tarefas de vendas selecionadas pelo cliente na elaboração do pedido da carroceria. Todos os projetos elétricos criados pela engenharia são cadastrados em um software customizado pela empresa, no qual a utilização de cada projeto varia conforme a característica de carroceria solicitada pelo cliente. Baseados neste princípio, são programados automaticamente todos os projetos a serem utilizados

sem a interferência do projetista, sendo levada em consideração apenas a lista de características escolhidas pelo cliente em cada pedido de carroceria (DNA).

Como exemplo pode-se citar a quantidade variável de ventiladores no salão: utilizando um ou oito ventiladores, serão aplicados somente 2 projetos, sendo um base e um adaptativo. O que irá mudar efetivamente é a quantidade de fabricação das redes elétricas, sendo obrigatória a utilização da rede base. A quantidade de redes adaptativas irá variar conforme o número de ventiladores.

Esta automação proporcionou uma nova visão dos projetos elétricos pela empresa, uma vez que tendo sido selecionadas tarefas conhecidas pela engenharia, qualquer pessoa pode elaborar o projeto das redes elétricas da carroceria, uma vez que é necessário somente informar ao sistema as características do seu pedido. O projeto final automatizado informará todas as redes elétricas a serem utilizadas na carroceria, sendo este o projeto completo da carroceria, o qual é estruturado pelo setor de PCP e encaminhado para o setor de fabricação e montagem das redes elétricas. A figura 24 apresenta o modelo final de um projeto elétrico automatizado.

Figura 24 – Projeto elétrico automatizado via templates



Fonte: Autor

3.10.3 Terceirização de serviços

Para implementar um projeto inovador, o qual utiliza novas tecnologias de fabricação, necessita-se de grandes investimentos em equipamentos, área de instalação de gabaritos, treinamentos e, principalmente, de uma equipe com conhecimentos adequados para a implantação de uma fábrica de redes elétricas, para atender a atual necessidade de projetos. Como o foco é produzir carrocerias de ônibus, foi-se à busca de empresas parceiras capacitadas para implantação deste novo sistema de fabricação de redes elétricas.

Na etapa de implantação do projeto a empresa optou pela terceirização de duas etapas de fabricação, que são o setor de fabricação de redes elétricas e o de montagem das redes elétricas na carroceria.

3.10.4 Setor de Fabricação

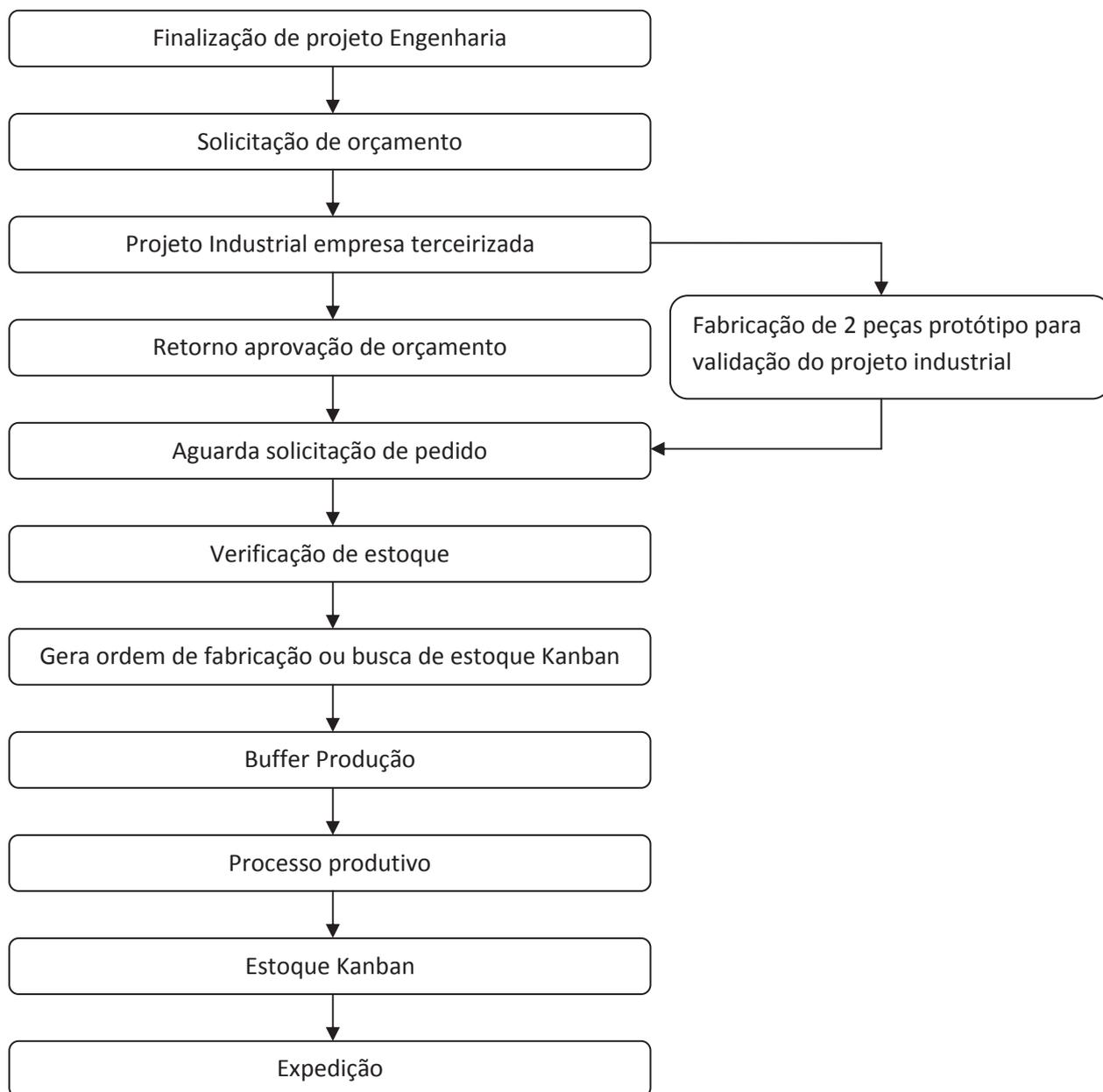
O setor de fabricação é a primeira etapa de fabricação após liberado os projetos de engenharia, sendo este responsável pela fabricação das redes elétricas.

O sistema organizacional adotado pela da fábrica de redes elétricas inicia-se a partir da finalização de etapa de engenharia e de solicitação de pedido do PCP, onde cada novo projeto possui sua devida solicitação e aprovação de orçamento. As empresas trabalham em regime de custo aberto para facilitar o entendimento mútuo dos reais custos envolvidos na fabricação de redes elétricas.

Quando temos uma rede já desenvolvida, esta é cadastrada conforme seu volume de utilização, sendo essa classificada como padrão, variável e especial. No momento do pedido de fornecimento da rede, esta pode estar disponível para o fornecimento, como nos casos das redes padronizadas, ou poderá entrar no fluxo de produção, como nos casos de redes especiais.

Na figura 25 verifica-se os procedimentos adotados na fábrica de redes elétricas a partir do projeto de engenharia e PCP.

Figura 25 - Sistema de Organização da fábrica de redes elétricas



Fonte: Autor

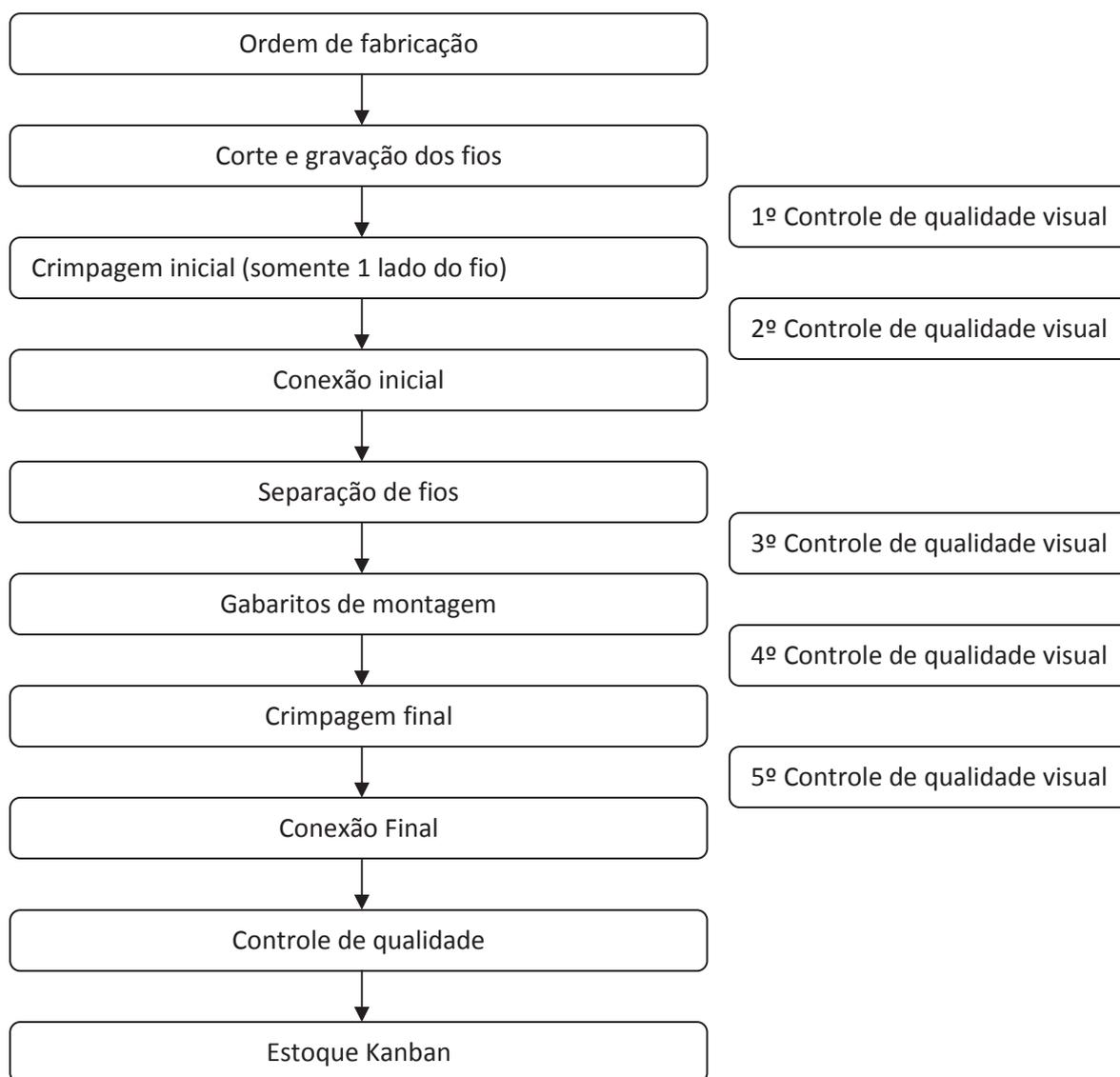
Na etapa de fabricação, ou processo produtivo, é de extrema importância que todas as redes elétricas tenham total fidelidade ao projeto de engenharia, pois qualquer diferenciação entre projeto e rede elétrica causa transtornos no funcionamento, montagem da carroceria e assistência técnica.

Para garantir a fidelidade ao projeto, todas as redes são montadas através de gabaritos, que garantem as características físicas, como comprimentos, quantidades e

tipos de materiais do corpo e ramos das redes elétricas. Ao término da construção da rede elétrica no gabarito, a mesma já está em seu formato real de utilização, faltando somente a etapa de crimpagem e conexão.

Para a fabricação dos gabaritos existe o projeto industrial, que parte das características funcionais do projeto de engenharia. É então criado um novo projeto com informações direcionadas para fabricação dos gabaritos, etapas de fabricação, corte gravação, crimpagem, conexão, emendas, isolamento e montagem das redes. A figura 26 apresenta as principais etapas de fabricação.

Figura 26 – Sistema de fabricação de redes elétricas

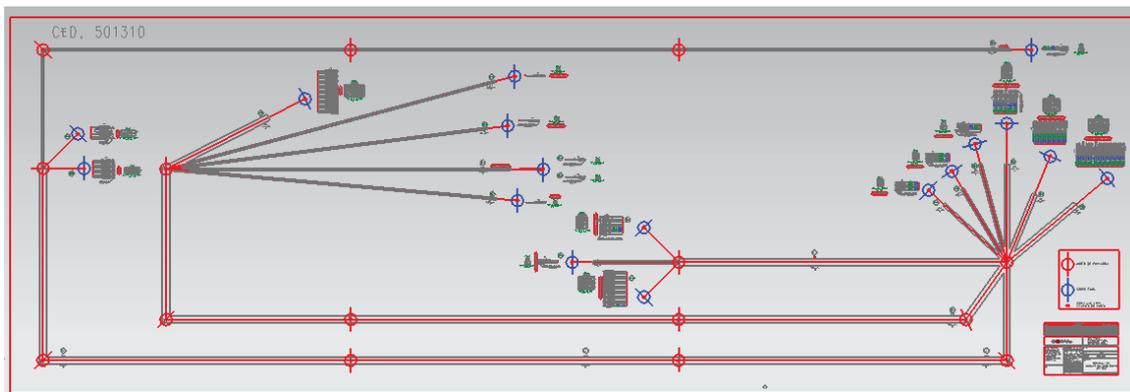


Fonte: Autor

3.10.4.1 Projeto industrial

O projeto industrial é elaborado a partir das características solicitadas no projeto de engenharia (ver Figura 27). A base do sistema de fabricação inicia-se a partir deste projeto, onde são considerados os tempos de montagem, a quantidade de componentes a ser utilizado, e o projeto do gabarito de montagem da rede elétrica. A partir deste projeto que é possível elaborar o orçamento completo da rede elétrica.

Figura 27 – Projeto elétrico Industrial



Fonte: Autor

3.10.4.2 Gabarito de fabricação

Os gabaritos são as estruturas que garantem o padrão de montagem das redes elétricas. No momento do desenvolvimento de um projeto de rede, normalmente são feitos lotes pilotos desta rede elétrica para validação da mesma. Estes projetos-pilotos podem sofrer pequenas alterações no momento de sua implantação na carroceria, incluindo funções, aumentando folgas de comprimento de redes, alterando conectores e ligações, etc. Neste ambiente teste, os gabaritos não são definitivos pois podem sofrer alterações a qualquer momento. Segue na figura 28 a ilustração de um gabarito provisório.

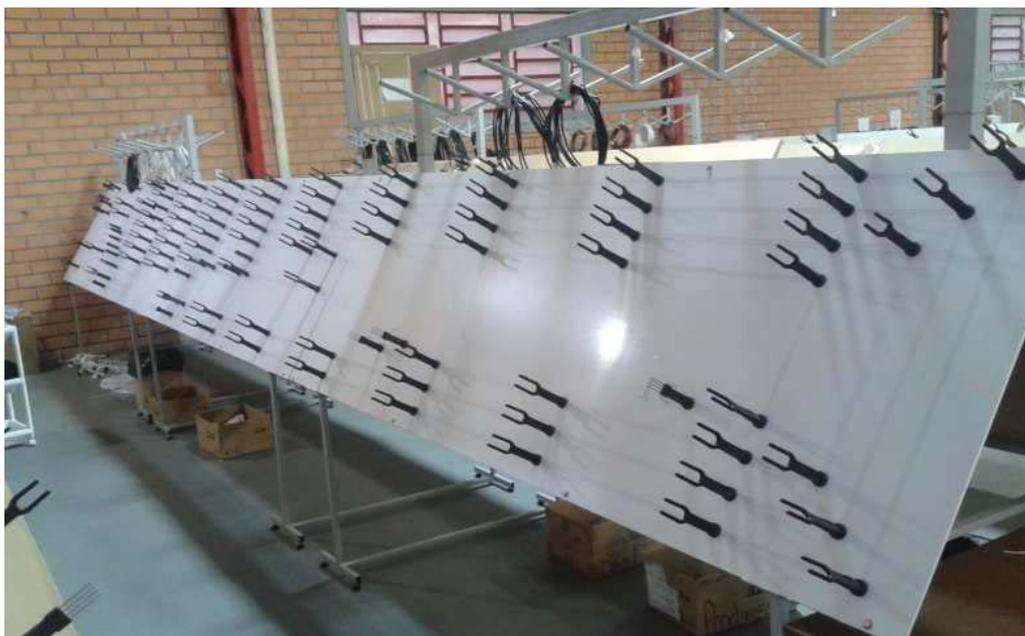
Figura 28 – Gabarito de fabricação de redes elétricas provisório



Fonte: Autor

A partir do momento que esta rede se torna um componente padrão do sistema elétrico da carroceria, ou seja, quando é testada, aprovada e não sofrerá alteração em um curto espaço de tempo, são fabricados gabaritos definitivos, os quais contemplam todas as informações de montagem e componentes a serem utilizados de maneira clara e objetiva, conforme figura 29.

Figura 29 - Gabarito de fabricação de redes elétricas definitivo



Fonte: Autor

3.10.4.3 Corte e marcação dos fios

O processo de corte e marcação dos fios inicia-se a partir do projeto industrial. Cada código de fabricação de rede elétrica necessita da elaboração de um projeto de corte e marcação dos fios, no qual são inclusos a seção, quantidade, comprimento e marcação de cada condutor.

Essa etapa do processo produtivo é responsável pelo ritmo inicial de fabricação das redes elétricas, na qual sua velocidade de processo é fundamental para o abastecimento de matéria-prima para as demais etapas.

Cada diâmetro de condutor a ser utilizado deve ter uma regulação específica de corte e marcação e este tempo de *setup* é considerado alto em relação à necessidade produtiva do equipamento. Devido a este motivo, atualmente, são utilizadas três máquinas de corte e marcação para atender a demanda necessária com segurança e sem gerar tempo ocioso aos processos subsequentes. A figura 30 apresenta um modelo de impressora conjugada com a medição e corte dos cabos. Após a impressão e corte, os cabos são identificados e armazenados aguardando a sequência do processo produtivo, conforme mostra a figura 31.

Figura 30 – Máquina de corte e marcação de fios



Fonte: Autor

Figura 31 – Varal de armazenamento de fios após setor de corte e marcação



Fonte: Autor

3.10.4.4 Crimpagem

O setor de crimpagem é responsável pela montagem do terminal adequado na extremidade de cada fio. Para isso, são utilizadas máquinas equipadas com as prensas de terminais, conforme figura 32, que variam conforme cada modelo de terminal, diâmetro do condutor e quantidade de conectores a serem crimpados em um mesmo terminal.

Esta etapa inicia em sequência ao processo de corte, através do procedimento de crimpagem inicial, onde são montados os terminais somente em uma extremidade do condutor. Em seguida, os condutores são encaminhados para continuidade do processo produtivo, retornando novamente ao setor de crimpagem após passar no setor de montagem para finalizar a etapa de crimpagem, como apresentado na figura 33.

Essa divisão de etapas é necessária devido ao procedimento de montagem das redes, pois com terminais crimpados dos dois lados dos condutores não é possível a passagem dos mesmos pelos eletrodutos fechados, conforme solicitado em projeto.

Figura 32 – Setor de crimpagem de terminais (prensas de crimpagem)



Fonte: Autor

Figura 33 – Mesa de conexão (setor de crimpagem)



Fonte: Autor

3.10.4.5 Montagem

O setor de montagem recebe as redes após a crimpagem inicial e as encaminha as mesmas para montagem em painéis de escala 1:1. Os painéis são utilizados como gabaritos de montagem, os quais dão validade ao comprimento e numeração dos fios. Nesta etapa do processo são passados os tubos de proteção das redes, realizadas as conexões e inseridas as etiquetas de identificação dos conectores. A figura 34 apresenta a montagem de uma rede elétrica protótipo em um painel provisório. A partir da aprovação da rede elétrica protótipo em linha de montagem, é fabricado o gabarito definitivo, com informações completas e adequada a leitura do operador, conforme apontado na figura 35.

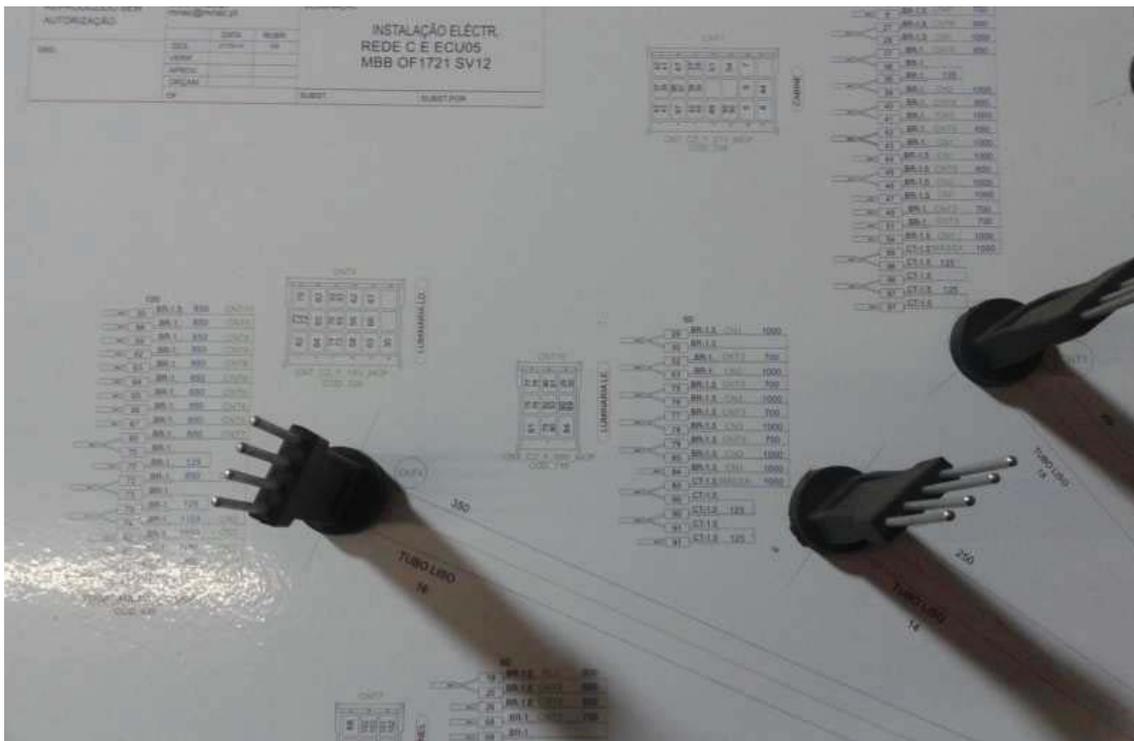
Após a finalização do processo de montagem a rede elétrica é retornado novamente as prensas de terminais de crimpagem para finalização das conexões.

Figura 34 – Montagem de uma rede elétrica em gabarito



Fonte: Autor

Figura 35 – Marcações de orientação nos gabaritos definitivos



Fonte: Autor

3.10.4.6 Controle de qualidade

O controle de qualidade é realizado constantemente após a finalização de cada etapa de fabricação por meio dos funcionários que estão recebendo o material para a montagem através de controle de qualidade visual.

Ao final do processo produtivo, existe o setor de qualidade, onde são verificadas as redes elétricas depois de finalizadas em todas as fases de fabricação. Nesta etapa são realizados os testes elétricos em cada pino de conexão da rede elétrica, através de uma Giga de teste, além de uma inspeção visual, analisando as características físicas da rede, como comprimentos, etiqueta, numeração de fios, etc.

3.10.4.7 Estoque

No controle de estoque utiliza-se um conceito particular referente à aplicação do sistema elétrico modular, que é o sistema de programação da fabricação de redes elétricas através do sistema Kanban.

Foi realizado um mapeamento de projeto, no qual são indicadas quais redes são consideradas padrão e podem ser fabricadas independentemente das características de

cada carroceria. Para essa característica de rede pode ser gerada a ordem de fabricação mensal, sendo que o controle das mesmas pode ser baseado no mix de produção.

Regra semelhante foi utilizada nas redes variáveis, mantendo um estoque mínimo conforme sua porcentagem de aplicação na carroceria, através do mapeamento de características solicitadas pelos clientes.

Nas redes variáveis foram encontrados pontos comuns no momento da elaboração dos projetos. Estes pontos foram respeitados para todos os modelos de redes variáveis com aplicações semelhantes, oportunizando um novo processo de fabricação considerando pré-montagens.

Nas pré-montagens, 70% das redes são iguais e 30% variáveis. Esse valor proporciona ter 70% das redes variáveis pré-montadas considerando o mesmo volume das redes padrão, sendo que ficam apenas 30% a serem fabricadas conforme a necessidade de cada pedido. Demais redes especiais são fabricadas conforme necessidades especiais e não são estocadas, apenas por breves períodos entre finalização do processo produtivo e envio para montagem da carroceria. Segue na figura 36 algumas redes em seu local de armazenamento.

Figura 36 – Estoque



Fonte: Autor

3.10.4.8 Embalagem

As embalagens são elaboradas utilizando o conceito de Kit de montagem. Devido à necessidade da entrega das redes elétricas em lugares e datas distintas, para que não ocorra a falta ou perda do material, elas são divididas em dois volumes e encaminhadas para o devido posto de montagem da carroceria. O kit de montagem é dividido da seguinte maneira:

Volume 1: é encaminhado para o setor inicial de montagem das redes elétricas, ainda no setor de preparação de chassi, antes de entrar em linha de montagem e contempla as redes inferiores da carroceria.

Volume 2: Contempla as demais redes elétricas utilizadas e é encaminhado ao primeiro posto da linha de montagem da parte elétrica da carroceria.

Cada volume tem a identificação do número da carroceria destinada para sua instalação, evitando maiores problemas com a identificação de qual rede deve ser montada em cada carroceria.

Figura 37 – Embalagem em kit por carroceria



Fonte: Autor

3.10.5 Linha de montagem

Para organizar a montagem das redes elétricas na carroceria é preciso um levantamento de todas as necessidades de montagem, juntamente com os postos de trabalho disponíveis para realização das tarefas.

Para direcionamento de realização das tarefas nos tempos e postos de trabalho corretos, foi elaborada uma matriz tarefa/dependência, sendo esta uma variação da matriz de interação entre módulos utilizada por Viero (2013), na qual relaciona-se as tarefas a serem realizadas com relação à dependência para início da mesma. A partir desta matriz foi possível analisar e ajustar as tarefas a serem realizadas ordenadamente, adiantando ao máximo o início de execução da mesma. A matriz tarefa/dependência é mostrada na tabela 1, cujo funcionamento é apresentado a seguir:

Tabela 1 – Matriz tarefa-dependência

TAREFA	DEPENDÊNCIA																																					
	PROJETO ELÉTRICO	REDE DO TETO	REDE INFERIOR	REDE DO PAINEL	REDE TRASEIRA	REDE DA FRENTE	REDE CENTRAL ELÉTRICA	REDE INTERFACE CHASSI	RETRADA/ARMAZ. COMPONENTES ORIGINAIS CHASSI	MONTAGEM COMPONENTES CENTRAL ELÉTRICA	PASS. REDE INFERIOR (PREPARAÇÃO CHASSI)	APOÓS A PASSAGEM DO POSTO DE SOLDA CHAPEAMENTO	APOÓS ACOPLAMENTO E ANTES DA FIBRA TRASEIRA	PASSAGEM REDE TRASEIRA	RETRADA ISOLAÇÃO REDE INFERIOR (CHAPEAMENTO)	PASSAGEM REDE DO TETO	INSTALAÇÃO DA CENTRAL ELÉTRICA	FURAÇÃO DA LATERAL (CHAPEAMENTO)	MONTAGEM REDE DO PAINEL	APRESILHAMENTO REDE INFERIOR	MONTAGEM CAIXA DE BATERIAS	LIGAÇÃO DO CARRO	ISOLAÇÃO ELÉTRICA PARA PINTURA	MONTAGEM COMPONENTES ILUMINAÇÃO	MONTAGEM COMP. CHAPA DE PAINEL (PRÉ MONTAGEM)	INSTALAÇÃO CHAPAS DE PAINEL	MONTAGEM REDE DA FRENTE	INSTALAÇÃO SINALIZAÇÃO EXTERNA	MONTAGEM POSTO DO COBRADOR	MONTAGEM REDE VALIDADOR	FINALIZAÇÃO REDE INFERIOR	REVISÃO FUNCIONAL	CONTROLE DE QUALIDADE					
PROJETO ELÉTRICO	0	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
REDE DO TETO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
REDE INFERIOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
REDE DO PAINEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
REDE TRASEIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
REDE DA FRENTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
REDE CENTRAL ELÉTRICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
REDE INTERFACE CHASSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
RETRADA/ARMAZ. COMPONENTES ORIGINAIS CHASSI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MONTAGEM COMPONENTES CENTRAL ELÉTRICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PASS. REDE INFERIOR (PREPARAÇÃO CHASSI)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
APOÓS A PASSAGEM DO POSTO DE SOLDA CHAPEAMENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	15	16	0	18	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
APOÓS ACOPLAMENTO E ANTES DA FIBRA TRASEIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PASSAGEM REDE TRASEIRA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RETRADA ISOLAÇÃO REDE INFERIOR (CHAPEAMENTO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PASSAGEM REDE DO TETO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTALAÇÃO DA CENTRAL ELÉTRICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FURAÇÃO DA LATERAL (CHAPEAMENTO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTAGEM REDE DO PAINEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
APRESILHAMENTO REDE INFERIOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTAGEM CAIXA DE BATERIAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIGAÇÃO DO CARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ISOLAÇÃO ELÉTRICA PARA PINTURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTAGEM COMPONENTES ILUMINAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTAGEM COMP. CHAPA DE PAINEL (PRÉ MONTAGEM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTALAÇÃO CHAPAS DE PAINEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTAGEM REDE DA FRENTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTALAÇÃO SINALIZAÇÃO EXTERNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTAGEM POSTO DO COBRADOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTAGEM REDE VALIDADOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FINALIZAÇÃO REDE INFERIOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REVISÃO FUNCIONAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONTROLE DE QUALIDADE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor

São listadas todas as tarefas a serem realizadas, tanto na coluna de tarefas, como na linha de dependências. A partir deste ponto podemos traçar uma linha nula entre as

respectivas tarefas da coluna dependência e da linha tarefa. Este ponto vai diferenciar a tarefa que está adiantada e atrasada em relação à sua necessidade de montagem.

A numeração indicará qual dependência deve estar completa para a realização da tarefa. Temos como exemplo as tarefas de fabricação de redes, nas quais todas dependem exclusivamente de ter o projeto liberado para fabricação. Outro exemplo é a tarefa de montagem da central elétrica, que para iniciá-la é necessária a finalização das dependências de estar fabricada a rede da central elétrica e retirados/armazenados os componentes originais do chassi.

Tendo todas as tarefas ordenadas e indicadas em sequência na planilha tarefa/dependência, posteriormente é realizado o planejamento da montagem nos postos de trabalho da linha de produção, levando em consideração em cada tarefa a condição física de execução em cada posto de trabalho. A tabela 2 apresenta a situação da linha de montagem quando utilizado o sistema elétrico convencional, que apresenta uma quantidade maior de funcionários e um maior acúmulo de tarefas no posto final de trabalho com relação à tabela 3, a qual apresenta a linha de montagem projetada.

Tabela 2 – Linha de montagem antes do projeto modular

LINHA DE MONTAGEM ELÉTRICA CONVENCIONAL	
LINHA DE TRABALHO 1	
(POSTO DE TRABALHO 1) RETIRADA DE COMPONENTES	
FUNCIONÁRIO (1)	POSTO A
FUNCIONÁRIO (2)	POSTO B
(POSTO DE TRABALHO 2) PASSAGEM REDE INFERIOR	
FUNCIONÁRIO (3)	POSTO A
FUNCIONÁRIO (4)	POSTO B
LINHA DE TRABALHO 2	
(POSTO DE TRABALHO 3) PASAGEM REDE TRASEIRA	
FUNCIONÁRIO (5)	
LINHA DE TRABALHO 3	
(POSTO DE TRABALHO 4) MONTAGEM REDE DO TETO	
FUNCIONÁRIO (6, 7)	
(POSTO DE TRABALHO 5) RET. PROT. REDE INFERIOR	
FUNCIONÁRIO (5)	
(POSTO DE TRABALHO 4 e 5) MONT. REDE C.E. + PAINEL	
FUNCIONÁRIO (8, 9, 10)	

Continuação da Tabela 2

LINHA DE TRABALHO 4	
(POSTO DE TRABALHO 6) APRESILHAMENTO REDE IFERIOR	
FUNCIONÁRIO (11)	
(POSTO DE TRABALHO 6) MONTAGEM REDE CAIXA DE BATERIAS	
FUNCIONÁRIO (12)	
(POSTO DE TRABALHO 6) LIGAÇÃO DO CARRO	
FUNCIONÁRIO (13)	
LINHA DE TRABALHO 5	
(POSTO DE TRABALHO 7) MONTAGEM/TESTE DAS BARRAS DE LED	
FUNCIONÁRIO (14)	
FUNCIONÁRIO (15)	
(POSTO DE TRABALHO 8) MONTAGEM CHAPAS DE PAINEL	
FUNCIONÁRIO (16)	
LINHA DE TRABALHO 6	
(POSTO DE TRABALHO 9) TESTE FUNCIONAL	
FUNCIONÁRIO (17)	
(POSTO DE TRABALHO 10) REVISÃO FUNCIONAL	
FUNCIONÁRIO (18)	
FUNCIONÁRIO (19)	
(POSTO DE TRABALHO 11) REVISÃO FINAL	
FUNCIONÁRIO (20)	

Fonte: Autor

Tabela 3 – Linha de montagem projetada

LINHA DE MONTAGEM ELÉTRICA PROJETADA	
LINHA DE TRABALHO 1	
(POSTO DE TRABALHO 1) RETIRADA DE COMPONENTES / PASSAGEM REDE INFERIOR	
FUNCIONÁRIO (1)	POSTO A
FUNCIONÁRIO (2)	POSTO B
(POSTO DE TRABALHO 2) MONTAGEM C.E. / ORGANIZAÇÃO DOS COMPONENTES	
FUNCIONÁRIO (3)	
LINHA DE TRABALHO 2	
(POSTO DE TRABALHO 3) PASSAGEM REDE TRASEIRA	
FUNCIONÁRIO (4)	

Continuação da Tabela 3

LINHA DE TRABALHO 3
(POSTO DE TRABALHO 4) MONTAGEM REDE DO TETO
FUNCIONÁRIO (4)
(POSTO DE TRABALHO 4) REDE C.E. + PAINEL + FRENTE
FUNCIONÁRIO (5)
FUNCIONÁRIO (6)

LINHA DE TRABALHO 4
(POSTO DE TRABALHO 5) APRESILHAMENTO REDE IFERIOR
FUNCIONÁRIO (7)
(POSTO DE TRABALHO 5) MONTAGEM REDE CAIXA DE BATERIAS
FUNCIONÁRIO (8)
(POSTO DE TRABALHO 6) LIGAÇÃO DO CARRO / QUALIDADE / PROCESSO
FUNCIONÁRIO (9)
(POSTO DE TRABALHO 6) ISOLAÇÃO ELÉTRICA P/PINTURA
FUNCIONÁRIO (7)

LINHA DE TRABALHO 5
(POSTO DE TRABALHO 7) MONTAGEM/TESTE DAS BARRAS DE LED
FUNCIONÁRIO (10)
(POSTO DE TRABALHO 7) MONTAGEM CHAPAS DE PAINEL
FUNCIONÁRIO (11)
(POSTO DE TRABALHO 7) FINALIZAÇÃO REDE INFERIOR
FUNCIONÁRIO (10)
(POSTO DE TRABALHO 7) TESTE/REVISÃO FUNCIONAL
FUNCIONÁRIO (11)

LINHA DE TRABALHO 6
(POSTO DE TRABALHO 8) FINALIZAÇÃO REDE VALIDADOR
FUNCIONÁRIO (10)
(POSTO DE TRABALHO 9) CONTROLE DE QUALIDADE
FUNCIONÁRIO (12)

Fonte: Autor

Devido ao fato de ser um processo com diversas etapas de montagem e o envolvimento de uma grande quantidade de pessoas de diferentes setores, é comum a ocorrência de retrabalhos no processo produtivo. O correto mapeamento do sistema apresenta todos os pontos críticos e retrabalhos ocorridos na realização das tarefas. O planejamento adequado das tarefas a partir do mapeamento pode reduzir a quantidade de postos de trabalho e a quantidade de funcionários envolvidos no processo, resultando em um sistema produtivo mais eficiente.

3.10.6 Setor de compras e PCP

Os setores de compras e PCP são influenciadores diretos no sistema elétrico, independente se este é composto por produção interna ou terceirizado. O setor de compras faz a primeira negociação com os fornecedores, trabalhando com orçamentos, homologações, *lead time* de entrega de produtos, etc. Já o PCP é responsável pela programação de compra dos componentes a serem utilizados pela linha de produção. Estas tarefas citadas partem da demanda de projetos elaborados pela engenharia, ou seja, a partir do projeto é elaborada uma lista de componentes a serem comprados.

Trabalhando-se com o sistema elétrico internamente temos uma grande quantidade de componentes a serem controlados pelo PCP, e na falta de qualquer item necessário para fabricação das redes gera atrasos em todo o sistema produtivo da empresa.

Considerando o sistema elétrico terceirizado, em que a empresa compra a rede elétrica completa da carroceria, existe uma quantidade menor de itens a serem controlados, uma vez que o PCP irá programar os conjuntos completos sem considerar os insumos que são contemplados para sua fabricação.

Ao trabalhar exclusivamente com redes elétricas terceirizadas e programando as redes necessárias para montagem da carroceria em forma de kit de montagem, pode-se eliminar o estoque de insumos da empresa ou diminuir seu volume dos mesmos para uma eventual reposição.

3.10.7 Setor de Assistência técnica de pós-vendas

Indiferente do sistema a ser utilizado, pode-se dizer que um projeto realmente funciona quando a assistência técnica não recebe demandas de trabalho no respectivo item.

O projeto elétrico modular tem como especificações ter a vida útil da rede elétrica em conformidade a vida útil da carroceria, assim como o sistema ter o diagrama de manutenção e possibilidade de reposição de peças (redes elétricas).

Destas três especificações direcionadas ao setor de pós-vendas, duas são amplamente utilizadas e desejadas pela grande maioria das empresas fabricantes de produtos: o manual de manutenção, e a vida útil estendida dos componentes.

A especificação que traz maior inovação e impacto ao setor de pós-vendas da carroceria é a possibilidade de reposição de redes elétricas. Independente do ano de fabricação ou modelo de produto escolhido, uma vez projetado e montado o sistema elétrico modular, este pode ser rastreado, através do projeto elétrico e etiquetas de fabricação utilizadas em cada rede, com informações precisas da rede elétrica instalada na carroceria.

Este item proporciona segurança ao cliente usuário da carroceria e, na ocorrência de uma avaria mais grave na rede elétrica, existe a possibilidade de sua reposição praticamente imediata.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de Janeiro de 2013 a Junho de 2014 foram montadas aproximadamente 1200 unidades de carrocerias utilizando o projeto elétrico modular. Os resultados obtidos serão apresentados com base nas carrocerias fabricadas neste período.

4.1 Viabilidade econômica

Comparando o projeto elétrico modular com o convencional e, desconsiderando inicialmente o alto volume de fabricação de redes elétricas (no qual o projeto convencional carro a carro se torna inviável) pode-se analisar o projeto modular da seguinte forma:

Fios: o projeto modular reduz os custos em relação ao sistema convencional, devido ao fato de possuir cor padronizada independente da quantidade de fios e funções, trazendo uma redução de custos desta matéria-prima.

Componentes (conectores e terminais): o projeto modular utiliza componentes de melhor qualidade, porém, em menor quantidade em relação ao projeto convencional. A relação quantidade por qualidade não apresenta impactos nos custos desta matéria-prima, e também não aponta diferenças de custos entre as mesmas.

Montagem: o projeto convencional apresenta um menor volume ocupacional em espaços de passagem das redes com relação ao projeto modular, facilitando a passagem das mesmas. Porém, o projeto modular reduz a quantidade de problemas elétricos ocorridos no processo de fabricação, assim, considerando o sistema elétrico projetado, há redução de postos de trabalho e de funcionários envolvidos no processo, apresentando redução de custos de mão-de-obra.

Pós-vendas: o projeto modular se destaca nos diagramas elétricos e na reposição de redes elétricas. O projeto convencional não proporciona reposição. Essa etapa não apresenta redução de custos que possa ser mensurada de forma direta, devido a este motivo não será contemplada no projeto de viabilidade, porém, o projeto elétrico modular apresenta maturidade do produto, auxiliando em novas vendas após o primeiro contato com os clientes.

Serão apresentados de modo simplificado os levantamentos de custos envolvidos, comparando o sistema elétrico fabricado internamente (convencional) e o terceirizado (modular). Os dados a seguir não serão apresentados na sua íntegra para preservar os dados internos da empresa, devido a isto, serão substituídos por valores de referência. Esta comparação apresenta variáveis utilizadas na aprovação da viabilidade financeira, apresentando valores proporcionais ao de referência (100%), que condiz ao valor total de montagem da carroceria da época em que estava sendo realizada a aprovação financeira.

Em um primeiro momento, são levantados os dados gerais de entrada, com os valores de disponibilidade de mão-de-obra por pessoa (número de horas/mês), produção a ser realizada (quantidade de carros/mês) e valor da hora da mão-de-obra (valor da hora/pessoa).

Os valores relativos ao custo de mão-de-obra por carroceria são uma relação entre o número de pessoas no setor de instalação e fabricação, a quantidade de carros por mês e o valor da hora da mão-de-obra. A partir desta relação os valores chegam a 33% do custo total do sistema elétrico da carroceria.

O custo de materiais elétricos diversos adquiridos para fabricação das redes elétricas foi calculado através da divisão do custo total de materiais comprados, pela quantidade de carrocerias fabricadas no ano e, encontrado um valor de 67% do custo total do sistema elétrico da carroceria.

A partir destes levantamentos encontra-se o custo interno de fabricação e montagem, através da soma dos valores de mão-de-obra com os materiais utilizados, a fim de encontrar o valor total da parte elétrica da carroceria, chegando ao valor de referência (100%). Neste cálculo não são levados em consideração os valores de custo de estoque, PCP, assistência técnica, logística e avarias em componentes originais, pois são dados que não tem valores mensurados, apesar de apresentarem impacto nas despesas da empresa. Devido a esta dificuldade de apresentação destes valores, os mesmos não serão representados nos valores de produção interno nem terceirizado.

Os valores de fornecimento do conjunto de redes elétricas fabricadas pela empresa terceirizada, juntamente com o valor de mão-de-obra terceirizada de instalação a partir da linha de montagem projetada, chega a 74% do total da parte elétrica da carroceria fabricada internamente.

Finalmente, realizada a comparação entre os dois sistemas produtivos, encontra-se um valor que apresenta redução de custo de aproximadamente 26% na utilização do sistema terceirizado com relação ao sistema interno de fabricação.

4.2 Terceirização de tarefas

A partir do momento em que se tem um sistema elétrico padronizado, abre-se a possibilidade de terceirização de alguns serviços, como a fabricação de redes elétricas e montagem das mesmas na carroceria.

Foi então criada uma empresa parceira, a qual proporciona uma nova visão no conceito de fabricação de redes, nas inovações no processo produtivo, nos sistemas de qualidade, nos componentes utilizados, e nos valores agregados ao produto, bem como uma série de melhorias que se apresentam juntamente com o amadurecimento do projeto. Estas melhorias também são percebidas na montagem das redes elétricas em linha de produção, através da implantação de uma empresa terceira, trazendo conhecimentos diferenciados no processo de montagem das redes elétricas na carroceria e garantindo estabilidade de qualidade ao produto final.

A montagem através de empresas terceirizadas, além de possibilitar um valor fixo pré-estabelecido por carro, independente do mix de produção, apresenta uma grande vantagem financeira quanto a avarias ocorridas em componentes originais no processo de montagem. Neste caso, a empresa terceirizada é responsável pela integridade do componente e, nos casos de avarias também é de sua responsabilidade o ressarcimento deste componente. Os prejuízos anuais contabilizados por danos de componentes originais pela falta de cuidado no manuseio podem chegar a valores altíssimos, ultrapassando a casa das centenas de milhares de reais.

4.3 Comparativo entre o sistema elétrico convencional e o modular aplicado na empresa

Os dois sistemas elétricos apresentam grandes diferenciações quando comparados. Algumas das principais características serão discutidas a seguir.

4.3.1 Diminuição de estoques e desperdício de materiais

Com o fornecimento da rede elétrica pronta, sendo aplicada diretamente na carroceria, tem-se uma grande diminuição de insumos utilizados na fabricação das redes, reduzindo a utilização de itens, facilitando a programação e o controle dos mesmos (este é o caso de insumos de componentes de fabricação de redes elétricas, como terminais, conectores, fios, etc.). Através do sistema modular necessita-se a compra de 1 código de rede. Já no sistema convencional, considerando a fabricação interna, são necessários para a programação de uma rede elétrica simples aproximadamente 40 itens. Considerando que são utilizadas em média 23 redes por carro, necessitaríamos em média a programação de aproximadamente 920 componentes. Para esta quantidade de itens, o PCP apresenta dificuldades em prever a programação, uma vez que estes itens são programados manualmente através da necessidade de cada setor. Este procedimento abre espaço para erros de programação e desperdício de componentes, uma vez que sem ter o prévio conhecimento de consumo, a compra de componentes pode ser bastante superior à real aplicação.

Nos casos de falta de algum destes insumos de fabricação de redes, as mesmas não são entregues em linha de montagem no devido momento de instalação, causando atrasos e retrabalhos na linha de montagem.

Em resumo, a dificuldade de controle de itens acaba trazendo prejuízo para a empresa em dois sentidos, na falta de componentes, gerando atrasos em processo de montagem, e na compra demasiada de componentes, situação esta mais comum, porém, gerando grandes quantidades em estoque e desperdícios que acabam não sendo detectados e tratados da maneira adequada.

4.3.2 Apresentação de custo real da rede elétrica

No início da operação do sistema elétrico modular, o setor responsável pelo custo da carroceria foi surpreendido na hora do orçamento do sistema elétrico. As redes elétricas orçadas anteriormente (redes elétricas produzidas internas através do sistema convencional) custavam aproximadamente 25% da rede elétrica projetada. Neste momento são consideradas duas situações: o que é orçado para utilizar no carro e o que realmente é utilizado.

Foi verificado que o setor de compras tinha um valor por carro muito mais elevado que o orçado, ou seja, uma grande divergência de informações que impactavam diretamente nos resultados da empresa. A partir deste momento foi feito um levantamento minucioso sobre os materiais utilizados para montagem do sistema elétrico, chegando num valor muito próximo ao utilizado no sistema elétrico modular.

Outra situação impactante no custo e no resultado final da empresa, é o custo dos componentes originais danificados no processo de produção. No orçamento não são considerados danos nestes componentes e, quando isso ocorre, tem-se um alto custo de substituição, muitas vezes causando também atrasos no processo produtivo. A partir da implantação do sistema modular tivemos uma grande redução na quantidade de componentes originais danificados em processo, tornando o valor de orçamento a realidade de custo do sistema elétrico.

4.3.3 Documentação do sistema elétrico

A presença do diagrama elétrico real utilizado na construção da carroceria apresenta grandes vantagens para as diversas áreas que participam do processo produtivo, utilização e manutenção. A documentação do funcionamento do sistema em detalhes apresenta uma grande maturidade de construção da carroceria. Nos casos simples de manutenção, o diagrama tem sido muito esclarecedor para os gerentes de garagens de ônibus, apresentando eficiência e agilidade nos casos de instalação de componentes adicionais, substituição de peças defeituosas e dúvidas de funcionamento. No sistema elétrico modular, a assistência técnica muitas vezes tem resolvido problemas à distância, através de breves explicações por telefone e encaminhamento do diagrama via e-mail, situação esta que seria impossível na utilização do sistema elétrico convencional devido a inexistência de um padrão de montagem, resultando em dúvidas no assistente no momento de uma instrução via telefone.

4.3.4 Sistema elétrico padronizado, sendo utilizado como diferencial de vendas

O sistema elétrico modular, após entrada no mercado, e verificadas e comprovadas as melhorias de utilização em relação ao sistema elétrico convencional,

passou a ser utilizado como argumento de vendas das carrocerias que contemplam este sistema.

Atualmente, nos modelos de carrocerias que não dispõem deste tipo de tecnologia, comumente encontramos certa diferença de fabricação e montagem das redes elétricas, variando desde a forma de montagem das redes na carroceria, aos componentes utilizados na fabricação das mesmas. Este procedimento acaba gerando transtornos de manutenção já bem conhecidos pelos clientes e suas garagens de manutenção.

No conceito de redes elétricas modulares, os diagramas elétricos podem ser apresentados inicialmente ao cliente ainda no momento da negociação da carroceria, e no momento da entrega das mesmas é realizada uma entrega técnica ao cliente, sendo demonstrados os procedimentos de manutenção do sistema elétrico e entregue toda documentação do sistema elétrico instalado no modelo de carroceria.

4.3.5 Baixo índice de problemas com as montadoras

Uma relação importante, porém pouco mencionada quanto a correta instalação do sistema elétrico são as garantias das montadoras. Cada montador possui um manual de encarroamento específico, o qual contém informações de montagem que devem ser respeitadas e, em caso de infração em algum item, haverá a perda da garantia parcial ou total do chassi.

No período avaliado durante a implementação de redes elétricas, foi verificada uma queda de problemas listados no *Pre Delivery Inspection* (PDI) das montadoras (MBB, VW), trazendo benefícios como baixo índice de retrabalhos e diminuição de custos de mão-de-obra especializada das montadoras na correção de problemas gerados no processo produtivo.

4.4 Vantagens obtidas através do projeto elétrico modular

- padronização de conectores *Multiple Contact Point* (MCP) nos principais pontos de conexão, aumentando a qualidade e vida útil da mesma;
- padronização de conectores Superseal (selados) nas redes inferiores, elevando a isolamento da rede quanto a fatores ambientais;

- utilização de corrugados fechados e pontos de emendas isoladas nas redes inferiores, isolando a rede quanto a fatores ambientais;
- cabos de alimentação e eletrodutos de redes inferiores com isolamento resistente a alta temperatura, devido a passagens próximas ao motor e escapamento;
- utilização de fios na cor branca com sua identificação impressa ao longo da isolamento do condutor;
- presença de diagrama elétrico;
- presença de diagrama unifilar;
- nova central elétrica, com equipamentos e funções atualizadas de acordo com a necessidade de mercado;
- projeto de prevenção contra incêndio na incidência de curto-circuito;
- projeto automatizado (*templates*);
- precisão na elaboração de projetos de engenharia;
- tempo de projeto (completo) aproximadamente 10 minutos;
- projeto de redes com componentes totalmente estruturados;
- custo individual por carro;
- redução de quantidade de códigos de fios;
- redução de estoque físico;
- redução de estoque financeiro;
- etiquetas em cada conector indicando a função do mesmo;
- etiqueta de rastreabilidade da rede, indicando a data de fabricação, o código e revisão do projeto utilizado para fabricação da mesma;
- impressão de numeração de identificação em cada conector;
- reposição de peças na rede elétrica;
- possibilidade de homologação do sistema elétrico na comunidade europeia.

4.5 Comparativo entre o sistema de fabricação interno x terceirizado

Durante a implantação do projeto tivemos a oportunidade de vivenciar novas formas de realizar o processo produtivo da carroceria, porém com o mesmo resultado final, que é o ônibus pronto. Nos tópicos a seguir serão apresentadas as principais diferenças entre manter um sistema de fabricação interno e contratar uma empresa terceirizada.

4.5.1 Projeto de engenharia

Considerando sistema interno ou terceirizado de fabricação, tem-se como responsabilidade da Comil o projeto elétrico das carrocerias. Mesmo em parceria com empresas especializadas na fabricação e montagem de redes elétricas, este conhecimento e propriedade pertencem à Comil. Parcerias podem melhorar o processo, sugerir melhorias nos projetos, nos sistemas organizacionais, porém não têm o domínio nem autonomia sobre o projeto do produto.

Itens como programação de equipamentos de utilização industrial, como CLP para rotina de testes, o qual ocupa demanda de engenharia, assim como o projeto industrial de fabricação, referente ao processo de fabricação das redes, e elaboração de gabaritos, tornam-se responsabilidades da empresa terceirizada.

4.5.2 Áreas de apoio

As áreas de apoio são essenciais para o correto desenvolvimento do projeto, contribuindo com segurança e controle no processo de fabricação.

Considerando o processo interno de fabricação, é necessária a presença constante da engenharia industrial, a qual é responsável pela elaboração dos procedimentos operacionais padrão, dos gabaritos de fabricação das redes, do *layout* interno de organização do sistema de fabricação, definições de funções de funcionários, dos tempos de tarefas, do equilíbrio de linha e das funções relacionadas ao controle do chão de fábrica, assim como necessitam inspetores de qualidade para verificar se não ocorrem desvios ou erros nos processos de fabricação e montagem. O planejamento e controle de produção deve fazer toda a logística de materiais e estoques.

Considerando também o processo terceirizado, todas as funções descritas anteriormente devem ser cumpridas, porém sob a responsabilidade da empresa

terceirizada. Neste caso, o planejamento e controle de produção da Contratante devem encaminhar as demandas para à terceirizada.

4.5.3 Treinamentos

Processo interno: necessidade constante de treinamentos de leitura de projetos, e execuções de montagem;

Terceirizado: somente realiza a função o funcionário devidamente qualificado, sendo o treinamento realizado por conta da empresa terceirizada.

4.5.4 Linha de montagem

Processo interno:

- custo de avaria de componentes originais por conta da Comil;
- processo setorizado, com várias equipes com diferentes funções, causando transtornos de montagem e funcionamento;

Terceirizado:

- custo de avaria de componentes originais por conta da empresa terceirizada;
- menor quantidade de funcionários e setores dentro da empresa;
- garantia da entrega do carro com a parte elétrica totalmente testada (compra do carro pronto);

4.5.5 Fabricação de redes elétricas

Para realizar o projeto elétrico modular internamente são necessários altos investimentos em equipamentos, em treinamentos e em infra-estrutura. Devido a este motivo não se pode fazer um comparativo entre realizar o processo internamente ou terceirizar o serviço.

4.6 Aplicação do sistema Kanban na fabricação e montagem das redes elétricas

O projeto elétrico modular proporcionou um grande entendimento dos momentos de fabricação de cada rede elétrica. Ao iniciar o processo de fabricação de cada rede a partir de sua ordem de fabricação, tem-se um tempo muito alto entre a

solicitação e entrega da rede elétrica, podendo ocorrer erros e atrasos na montagem da carroceria.

Para solucionar estes problemas, é utilizado o controle de fabricação de redes elétricas com base no sistema Kanban de fabricação, proporcionando menor tempo de entrega, sem sobrecarregar o processo produtivo com horas extra ou super dimensionamento de mão-de-obra de fabricação das redes.

O sistema de controle de fabricação foi elaborado da seguinte forma:

- as redes elétricas foram classificadas em redes padrão, variáveis, especiais, e variáveis-padrão.
- entra em consideração o mix de carros por dia e por semana. Esta informação proporciona saber a quantidade de redes em estoque necessária para elaborar o kit de redes elétricas da carroceria.

4.7 Projeto elétrico modular na Assistência técnica

Foram solicitadas até o presente momento poucas intervenções devido ao sistema elétrico modular. Os casos mais comuns são as solicitações de informações de passagem de redes elétricas e pontos de espera das redes de preparação de instalação de componentes, cuja solução é feita através do fornecimento do diagrama elétrico.

Ocorrem casos onde um determinado componente ou conexão da carroceria apresenta falhas de funcionamento. Nesse caso, é então elaborado um procedimento de teste na rede elétrica, onde este é encaminhado juntamente com o diagrama elétrico.

Um único caso de intervenção nas redes elétricas foi praticamente uma prova da modularidade do sistema elétrico, onde um determinado lote de componentes utilizados na central elétrica apresentava falhas de funcionamento. Como o fornecedor do componente não tinha a solução para resolver o problema, foi então alterado a central elétrica com relés e fusíveis para o sistema multiplexado, onde se alterou completamente as características do sistema elétrico. Em anexo segue esta assistência realizada no cliente. Em situações normais com redes elétricas convencionais, esta possibilidade seria praticamente nula.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Pode-se ressaltar que o objetivo geral de propor um novo conceito de projeto de produto e processo produtivo do sistema elétrico foi alcançado, uma vez que o procedimento implantado no decorrer do trabalho apresentou diversas melhorias relativas ao sistema convencional aplicado anteriormente na empresa.

O conceito de projeto elétrico modular surpreendeu positivamente quanto ao seu desenvolvimento e aplicação, possibilitando utilizar informações completas da parte elétrica de cada carroceria.

A partir da automatização do projeto elétrico modular foi possível elaborar o projeto elétrico completo da carroceria em menos de 10 minutos, contemplando o processo burocrático de liberação de projetos da empresa. Conjugado com a redução do tempo de projeto, a automatização aumentou a precisão na elaboração de praticamente 100% dos projetos liberados.

Tendo um projeto elétrico consistente conforme se apresentou o projeto elétrico modular, pode-se moldar o processo produtivo conforme as necessidades da empresa. São abertas as possibilidades de terceirização ou não do processo produtivo, e com uma ou várias empresas, ou seja, têm-se o processo produtivo mapeado e controlado.

Durante a terceirização do processo produtivo, observa-se um aumento significativo de qualidade na parte elétrica da carroceria, porém, a parceria entre empresas, que compartilham o mesmo espaço com processos de montagem diferenciados, têm que ser muito bem estruturada com regras e documentos, com o objetivo de esclarecer e delimitar as atividades de cada empresa parceira.

Os benefícios do projeto elétrico modular são evidenciados em diversos setores da empresa, como o de vendas, de engenharia, de custos, de produção, de pós-vendas, etc. Os clientes que já possuem o sistema instalado em suas carrocerias percebem maior maturidade do sistema elétrico da carroceria, vindo a solicitar o mesmo sistema em outros modelos de carrocerias.

Conforme Costlow (2014), fios e cabos ajudam as equipes de projeto a adicionar recursos eletrônicos e funções, mas as redes elétricas adicionam uma boa quantidade de peso, enquanto suas conexões podem ser causas de falhas. Isso está levando os desenvolvedores para examinar maneiras de reduzir o tamanho e o peso de fios e cabos.

Como perspectiva de trabalhos futuros, têm-se a possibilidade de criar uma evolução do projeto elétrico modular para projeto elétrico inteligente, tendo este as características construtivas do sistema modular, conjugado com o controle de cada ramo da rede elétrica, sendo possível analisar cada carga instalada, assim como se as redes elétricas estão montadas corretamente na carroceria, contemplando as informações de conexão, e cargas do sistema. Em um procedimento de manutenção, é dispensável o procedimento com o diagrama elétrico convencional, pois o sistema terá condições de informar qual é o problema, aonde ele se encontra, e como solucioná-lo. Será este mais um grande avanço na tecnologia de carrocerias de ônibus, diminuindo o tempo de detecção do problema e manutenção.

Outra perspectiva futura complementar é agregar no conjunto de softwares utilizados para realização do projeto elétrico, a utilização do software Saber Harness, conforme descrito por Hessler (2008) o mesmo complementa a parte de simulação do projeto elétrico e controles de zonas de temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Alice; BEYNON, Huw; RAMALHO, José Ricardo. **‘The Dream Factory’:
VW’s Modular Production System in Resende, Brazil.** *Work, Employment &
Society* Vol. 14, No. 2, UK, 2000

AGARD Bruno; TOLLENAERE Michel. **Design of wire harness for mass
customization.** Clermont-Ferrand, França, 2002.

ANJOS, Eduardo Giovannetti dos. **A evolução da eletrônica embarcada na indústria
automobilística brasileira.** Engenharia de processos industriais, ênfase em engenharia
Automotiva. Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de
tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410:** instalações
elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15570:**
Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para
transporte coletivo de passageiros. Rio de Janeiro 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14022:**
Acessibilidade em veículos de características urbanas para o transporte coletivo de
passageiros. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 247-5:** Cabos
isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V,
inclusive Parte 5: Cabos flexíveis (cordões) (IEC 60227-5, MOD) Rio de Janeiro, 2009.

AMATO NETO. João. Reestruturação industrial, terceirização e redes de
subcontratação. **Revista de Administração de empresas.** São Paulo, v.35, n.2, p.33-42,
mar./abr.,1995. *Apud* ERDMANN, Rolf Hermann. **Organização de sistemas de
produção.** Florianópolis, SC: Editora Insular, 1998.

BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Aciars; SILVA, Jonny C. da. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Editora Manole, 2008.

BALDWIN, Carliss Y.; CLARK, Kim B. Design Rules. **The Power of Modularity**. Massachusetts Institute of Technology, 2000.

BARBARÁ, Saulo; FREITAS, Sydney. **Design – Gestão, Métodos, Projetos, Processos**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2007.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto**. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

COTRIM, Ademaro A.M.B. **Instalações Elétricas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

COSTLOW, Terry. **Trimming wiring harnesses becomes design focus**. Automotive engineering magazine, 2014.

DA CUNHA, C.; AGARD, B.; KUSIAK, A. **Selection of modules for mass customisation**. International Journal of Production Research, Vol. 48, No. 5, 2010.

ERDMANN, Rolf Hermann. **Organização de sistemas de produção**. Florianópolis, SC: Editora Insular, 1998.

GUIA PMBOK. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. Pennsylvania EUA: Project Management Institute, 2008.

GUIMARÃES, A.A. **O Protocolo CAN: Entendendo e Implementando uma Rede de Comunicação Serial de Dados baseada no Barramento “Controller Area Network”**. Universidade de São Paulo, 2002.

HESSLER, Jenny. **Harness design tool**. Automotive engineering magazine, 2008.

LAGE JUNIOR, Muris and GODINHO FILHO, Moacir. **Adaptações ao sistema kanban: revisão, classificação, análise e avaliação**. *Gest. Prod.* [online]. 2008, vol.15, n.1, pp. 173-188. ISSN 0104-530X.

LAIR, Joyce. **Harnessing the wind**. Automotive engineering magazine, 2008.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2010.

MEYBODI, Mohammad Z. **The impact of just-in-time practices on new product development: a managerial perspective**. School of Business, Indiana University Kokomo, USA, 2005.

MONDEN, Yasuhiro. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais (IMAM), 1984.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jorg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PETTERSEN, Jostein. **Defining lean production: some conceptual and practical issues**. Division of Quality Technology and Management and Helix VINN Excellence Centre, Linkoping University, Linkoping Sweden, 2008.

RAMNATH B. Vijaya. **Application of kanban system for implementing lean manufacturing (a case study)**. Journal of engineering Research and studies, 2010

TEIXEIRA PINTO, Rodrigo; BAUER, Pavol. **The Role of Modularity Inside the North Sea Transnational Grid Project: Modular Concepts for the Construction and Operation of Large Offshore Grids.**: Electrical Power Processing Group, Technical University of Delft, 4 Mekelweg 2628CD Delft. The Netherlands, 2011.

MARYANKA, Yair; **Using Power Line Communication for Harness Reduction in Automotive**. Yamar Eletronics Ltd. Israel, 2011.

ZILIO, Tiago M.; **Desenvolvimento de uma metodologia de Gestão dimensional para carroceria de ônibus**. Universidade de Passo Fundo. Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação. Passo Fundo, 2014.

ROMEIRO FILHO, Eduardo; FERREIRA, Cristiano V.; MIGUEL, Paulo A. C.; GOUVINHAS, Reidson P.; NAVEIRO, Ricardo M.; **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2010.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Artes médicas; Bookman, 1996.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. **Product Design and Development**. 5 ed. McGraw-Hill Irwin New York: 2012.

VIERO, Carlos F.; **Metodologia de Projeto para arranjo estrutural de Carroceria de Ônibus através de Sistemas Modulares: um estudo de caso**. Universidade de Passo Fundo. Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação. Passo Fundo, 2013.

WALBER, Márcio. **Avaliação dos Níveis de Vibração Existentes em Passageiros de Ônibus Rodoviários Intermunicipais, Análise e Modificação Projetual**. Rio Grande do Sul: Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

APÊNDICE A – Relatório de intervenção em campo do sistema elétrico modular.

Relatório da resolução do problema elétrico.

Foi solicitado o auxílio da engenharia, juntamente com a assistência técnica Comil na solução do problema de campo relatado pelo cliente Rodoviária Caxangá, o qual tinha problemas de funcionamento com o sistema de campainhas e acionamento do elevador. Após realizadas alguns retrabalhos em campo na tentativa de solucionar o problema do cliente, por parte da empresa X, foi decidido então, como última alternativa a troca da central elétrica pelo sistema multiplex.

A troca do sistema da central elétrica foi realizada pela assistência e engenharia Comil.

Podemos dividir este relatório em duas partes, referente ao sistema de central elétrica e o sistema de segurança (bloqueio de portas e corte de aceleração), pois são sistemas com funcionamento independentes.

Central elétrica:

Ao chegar no cliente, encontramos o sistema da central elétrica instalado no carro com os pontos de alimentação das câmeras ligados no cabo de alimentação da mesma, utilizando o ponto de alimentação +30 na central elétrica da carroceria, +15 e massa na central elétrica MBB. A instalação dos equipamentos de monitoramento do cliente, apesar de estarem com aspecto visual desagradável, conforme estavam instalados no carro, não estavam influenciando no funcionamento da central elétrica. Segue abaixo fotos antes da intervenção:



Figura 1: Central eléctrica antes da intervenção.



Figura 2: Painel do carro antes da intervenção

O procedimento realizado no cliente foi a troca dos componentes (CENTRAL ELÉTRICA X + TECLAS pelo componente MULTIPLEX Y). Para isto foi necessário além da troca dos componentes, a substituição da rede de interface entre central eléctrica e multiplex.



Figura 3: Componentes adicionados no sistema

A troca do sistema elétrico ocorreu com sucesso, sem nenhuma falha de conexão ou troca de ligação nas redes elétricas, exatamente conforme previsto em projeto. Após a substituição dos componentes da CENTRAL ELÉTRICA X pelo MULTIPLEX Y, as funções da central elétrica voltaram a funcionar corretamente, inclusive o sistema de campainhas e elevador.



Figura 4: Procedimento de troca da central elétrica pelo multiplex.



Figura 5: Componentes retirados do sistema



Figura 6: Central elétrica após a intervenção



Figura 7: Painel após a intervenção

Foram realizadas medições de corrente elétrica das cargas, onde as mesmas apresentaram características normais de utilização.

Foram testadas as demais funções exercidas pela central elétrica, como iluminação do salão, limpador de pára-brisas, etc. Todas as cargas apresentaram perfeito estado de funcionamento.

Sistema de segurança

O sistema de bloqueio de portas e corte de aceleração não apresenta interferência com o funcionamento da central elétrica, devido a pertencer a um circuito elétrico independente da mesma.

O sistema de bloqueio de portas e corte de aceleração estavam modificados, devido a visitas anteriores e tentativas de correção do problema dos componentes da central elétrica. Devido a este motivo os sistemas de segurança do carro não estavam ativados. Segue abaixo fotos dos pontos alterados no sistema de bloqueio, junto as eletroválvulas na caixa de vista do carro.



figura 8: intervenção anterior no sistema do bloqueador de portas

Os três carros trabalhados apresentavam montagens distintas do sistema de segurança:

Ligação diferenciada do sistema original do primeiro carro: Foi instalado um relé auxiliar para ligação das três eletroválvulas de bloqueio das portas, juntamente com o corte do fio de sinal de portas do bloqueador, onde inibia o funcionamento do mesmo. O sistema de corte de aceleração também utilizava um relé adicional, e estavam com os sensores de portas desligados.

Ligação diferenciada do sistema original do segundo carro: Foi instalado um relé auxiliar para ligação das três eletroválvulas de bloqueio das portas, juntamente com o corte do fio de sinal de portas do bloqueador, onde inibia o funcionamento do mesmo. O sistema de corte de aceleração estava com os sensores de portas desligados.

Ligação diferenciada do sistema original do terceiro carro: Foi instalado um relé auxiliar para ligação da eletroválvula de bloqueio da porta do elevador. O sistema de corte de aceleração estava com os sensores de portas desligados.

O sistema de segurança foi retrabalhado e reativado, habilitando novamente o bloqueador de portas através da reativação do fio de sinal de portas do bloqueador, ajuste dos circuitos de alimentação das eletroválvulas de bloqueio, e ligação dos sensores de portas.

Considerações finais:

Os carros foram apresentados novamente ao Cliente em perfeito estado de funcionamento, ou seja, com todas as funções originais em perfeito estado de funcionamento, onde em cada carro o Cliente fez um teste de rodagem e aprovação do mesmo.

Após a troca dos componentes da CENTRAL ELÉTRICA X pelo MULTIPLEX Y, o problema relatado pelo cliente (mau funcionamento do sistema de campainhas e elevador) foram resolvidos.