

Fabricação de carrocerias de ônibus utilizando projeto elétrico modular

Alencar Silveira Roth (Universidade de Passo Fundo) alencar.roth@gmail.com
Jocarly Patrocínio de Souza (Universidade de Passo Fundo) jocarly@upf.br

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, 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.

Bus manufacturing project using the concept of modular design

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.

Key-words: electrical system, modular project, buses.

1. Introdução

O sistema elétrico das carrocerias de ônibus deve respeitar características construtivas conforme resoluções e normas nacionais e regionais, tais como o Conselho Nacional de Trânsito (Contran) e órgãos gestores público regional, que procuram estabelecer as melhores características de transporte para cada região do Brasil. No caso de exportação também se

deve respeitar as normas e características construtivas do país de destino da carroceria. Além disso, os clientes, por sua vez, procuram incorporar características individuais de componentes e funcionalidades para aperfeiçoar seu produto, procurando identificar suas frotas com as necessidades de seus usuários.

Atualmente para atender estas necessidades específicas de construção das carrocerias são realizados 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.

O sistema convencional de sistemas elétricos individuais por pedido, até então utilizado começa se ser questionado nos dias atuais em função dos novos lay-outs produtivos das empresas e também devido ao fato de apresentarem diversas falhas em todas as etapas de projeto e de fabricação. Assim, para atender esta nova demanda surge a necessidade de elaboração de um sistema elétrico consistente, incorporando as necessidades das diversas áreas das empresas, iniciando la no processo de 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.

2. O Projeto 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 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.

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.

2.1 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 1 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.

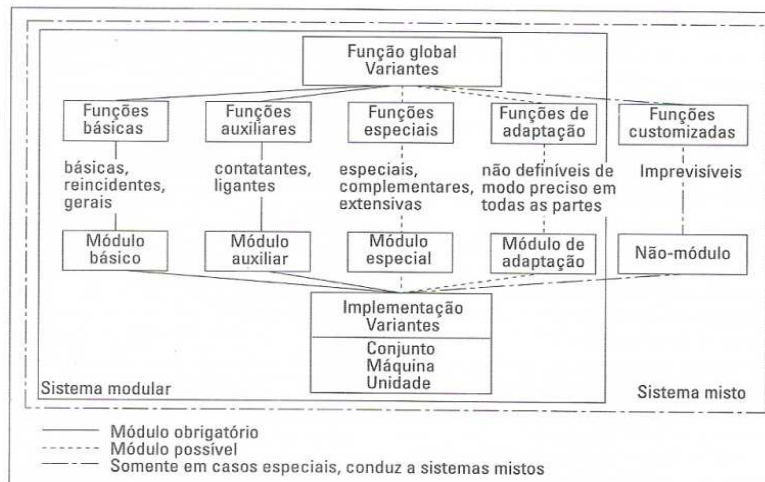


Figura 1 – Espécies de funções e módulos em sistemas modulares e mistos, Pahl et al., 2005

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.

3 Desenvolvimento do sistema elétrico

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.

3.1 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 da carroceria;
- 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.

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.

3.2 Especificações do sistema elétrico

O projeto elétrico, 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. Principais variações entre carrocerias e componentes:

Variações de 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 eletropneumático e porta com ou sem elevador.

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.

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. Os principais fabricantes de chassis utilizados em ônibus urbanos são Mercedes Bens, Volkswagen (MAN), Volvo, Scania, Agrale e Iveco.

Legislação: Deve atender a todas as normas da legislação brasileira de construção de carrocerias de ônibus urbanos, como as normas NBR15570, NBR 15320, NBR14022, além das regionais de cada estado ou cidade, como por exemplo, o Departamento de Transportes Rodoviários do Rio de Janeiro (DETRORJ), e a Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC) de Porto Alegre.

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.

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.

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. 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.

3.3 Setor 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 2 mostra a ilustração de um item restrito, e um normal ou opcional respectivamente, assim como a figura 3 representa solicitação de um elemento especial.

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)

Figura 2 – Ilustração de item restrito + normal ou opcional

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

Figura 3 – Ilustração de item especial

3.4 Setor de Engenharia

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:

- 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.

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. Com o intuito de ter uma quantidade limitada de projetos por carro, aplica-se 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. O projeto especial pode ser desde um componente adicional a ser incorporado no sistema, como pode chegar a ser de uma carroceria completamente nova.

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 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. Segue na figura 4 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.

Rede auxiliar ou adaptativa: faz 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. Composição da ilustração:

- Rede base: sinalização dianteira (azul), Rede auxiliar: comunicação com a central elétrica (amarelo).

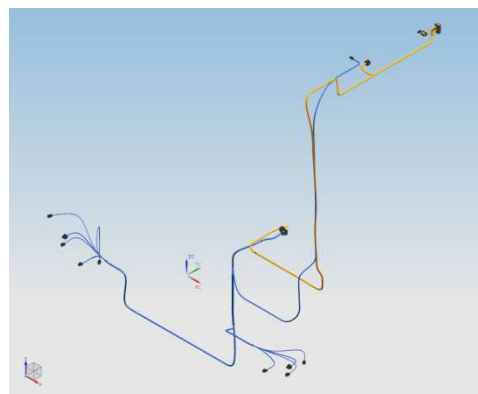


Figura 4 – Projeto elétrico Frente em 3D.

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.

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).

O projeto das redes elétricas utiliza as informações importadas dos diagramas elétricos na plataforma em 3D, como podemos verificar na figura 5. 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.

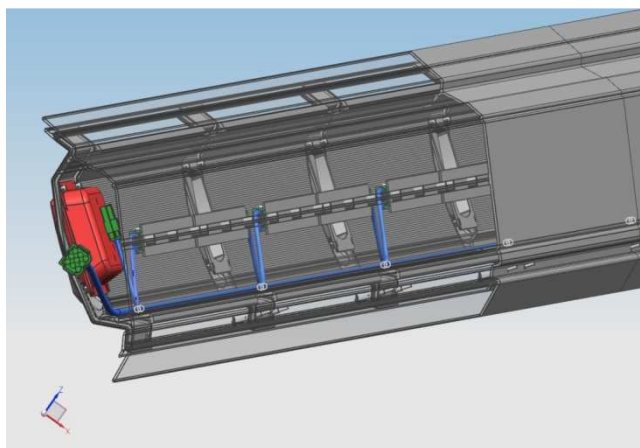


Figura 5 - Projeto de rede elétrica utilizando o software Routing Electrical

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 6).

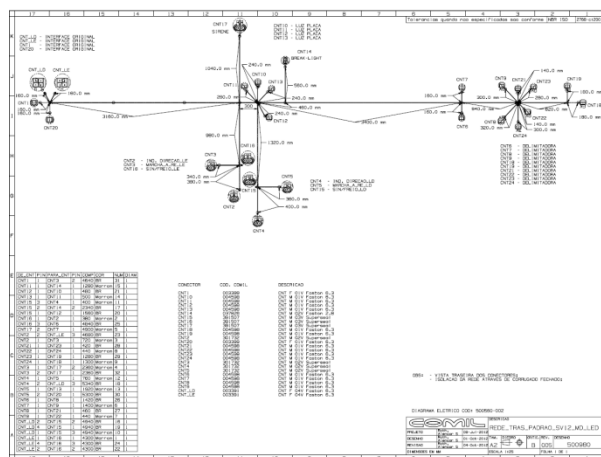


Figura 6 - Detalhamento da rede elétrica utilizando o software Routing Electrical

3.5 Setor de Fabricação e montagem

O setor de fabricação é a primeira etapa de fabricação após liberado os projetos de engenharia, sendo este responsável pela fabricação das 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. Segue na figura 7 o fluxo de organização do setor de fabricação de redes elétricas.

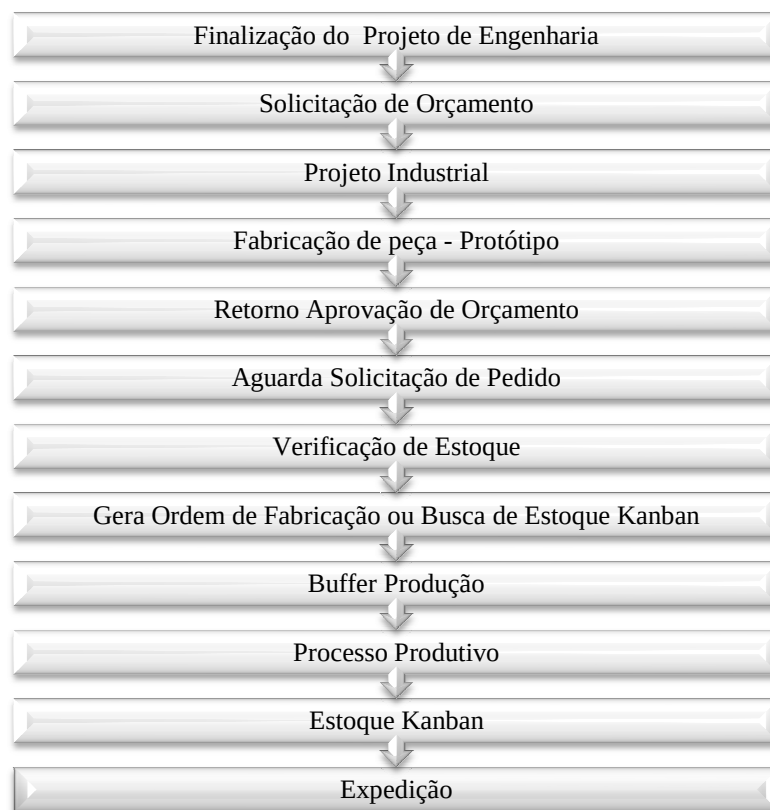


Figura 7 - Sistema de organização da fabricação de redes elétricas

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.

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.

DEPENDÊNCIA	TAREFA																																		
	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)	APÓS A PASSAGEM DO POSTO DE SOLDA CHAPEAMENTO	APÓS 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	
REDE DO TETO	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	
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	
REDE DO PAINEL	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	
REDE TRASEIRA	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	
REDE CENTRAL ELÉTRICA	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	
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	
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	
MONTAGEM COMPONENTES CENTRAL ELÉTRICA	0	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	
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	
APÓS 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
APÓS 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	
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	
RETRADA ISOLAÇÃO REDE INFERIOR (CHAPEAMENTO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	18	19	20	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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
MONTAGEM 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	
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	
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	
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	

Tabela 1 – Matriz tarefa-dependência

3.6 Resultados Obtidos e conclusão

Aplicando-se o conceito de projeto modular no processo de projeto, desenvolvimento e construção de carrocerias de ônibus urbano, pode-se observar os seguintes resultados quando comparados com o processo convencional:

- Diminuição de estoques e desperdício de materiais
- Apresentação de custo real da rede elétrica
- Documentação do sistema elétrico
- Sistema elétrico padronizado, sendo utilizado como diferencial de vendas
- Baixo índice de problemas com as montadoras
- Aplicação do sistema Kanban na fabricação e montagem das redes elétricas
- Acertividade na elaboração de projetos de engenharia;
- Projeto de redes com componentes totalmente estruturados;

- Custo individual por carro;
- Redução de quantidade de códigos de componentes;
- Etiqueta de rastreabilidade da rede, indicando a data de fabricação, o código e revisão do projeto utilizado para fabricação da mesma;
- Reposição de peças na rede elétrica;
- Histórico individual completo do sistema elétrico utilizado em cada carroceria;

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

Referências

BACK, NELSON; OGLIARI, ANDRÉ; DIAS, ACIARES; 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.

PAHL, GERHARD; BEITZ, WOLFGANG; FELDHOUSEN, JORG; GROTE, KARL-HEINRICH.*Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.* São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

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.

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.

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.

ROTH, A. S.*Projeto elétrico modular para construção de ônibus urbanos: Estudo de caso.* Universidade de Passo Fundo. Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação. Passo Fundo, Brasil, 2014.