

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

Renato Zambonato Júnior

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE REFERÊNCIA PARA LINHAS DE
MANUFATURA DE PRODUTOS MODULARES

Passo Fundo

2015

Renato Zambonato Júnior

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE REFERÊNCIA PARA LINHAS DE
MANUFATURA DE PRODUTOS MODULARES**

Orientador: Prof. Dr. Nilson Maziero

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projetos e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2015

Renato Zambonato Júnior

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE REFERÊNCIA PARA LINHAS DE
MANUFATURA DE PRODUTOS MODULARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 04 de Setembro de 2015

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Nilson Maziero
Orientador

Professor Doutor Antônio Carlos Valdiero
Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul - UNIJUI

Professor Doutor Márcio Walber
Universidade de Passo Fundo – UPF

Professor Doutor Charles Leonardo Israel
Universidade de Passo Fundo - UPF

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me permitir cumprir esta jornada com capacidade e saúde.

Ao professor Doutor **Nilson Luiz Maziero**, meu orientador, pela atenção e profissionalismo durante todo o processo, que, sem medir esforços, a qualquer dia ou hora, incentivou e colaborou para o crescimento deste trabalho. Minha admiração e gratidão.

Aos meus pais, **Renato e Sônia**, e minha irmã **Ana Lira** e irmão **Juliano** (*in memoriam*), que sempre me guiaram nos caminhos da bondade, torcendo e vibrando por mim.

À minha namorada **Ana Paula**, pela dedicação e colaboração nos momentos em que precisei de ajuda e compreensão.

Ao coordenador do curso de Pós-Graduação professor Doutor **Charles Leonardo Israel**, pela dedicação e esforço pelo curso.

Ao corpo docente do curso de Pós-Graduação, pela dedicação e esforço na contribuição com o curso.

Às secretárias, Jocelene e Helena, pelo carinho, respeito e amizade.

A toda família **UPF**, pelo companheirismo e profissionalismo em oportunizar a realização do meu Mestrado.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, e a concretização desta conquistam que por muito tempo foi sonho distante para mim.

O MEU AGRADECIMENTO INFINITO.

O sucesso nasce do querer, da determinação e da persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca vence obstáculos e no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar.

RESUMO

Atingir a excelência em produção somente é possível quando o processo de criação de um produto recebe a atenção devida, permitindo a integração entre realidade mercadológica e capacidade de fabricação de uma indústria. A energia demandada de elaboração do criativo representa papel fundamental para o sucesso do produto. Na fase de projeto de um produto que se pretende fabricar, ocorrem inúmeras relações entre peças que formam o produto final, dando a ele função e forma desejada. O presente trabalho propõe explorar estas informações, reorganizando, codificando e agrupando de acordo com características equivalentes de montagem. Posteriormente à classificação dos dados, são realizados cruzamentos com informações referentes às necessidades, capacidades ou simplesmente exigências de uma fábrica, na qual se pretende introduzir a linha de montagem do produto em estudo, possibilitando que existam agrupamentos de peças que venham a partilhar dos mesmos dispositivos e ferramentas, mão de obra e espaço físico, sem perder o foco na capacidade e peculiaridades de cada empresa. Ainda será possível visualizar opções de linhas de montagem oriundas das análises gráficas que serão realizadas e traduzidas em imagens de fácil interpretação, acelerando o processo de elaboração dos passos de montagem, reaproveitando equipamentos.

Palavras-chave: Modularização. Linha de montagem. Dendograma. Projeto de linha de montagem

ABSTRACT

Achieving excellence in production is only possible when a product creation process receives the attention that enables integration between commercial reality and manufacturing capabilities of an industry. The energy required from the creative elaboration means a fundamental role in the success of the product. In the design phase of a product intended to be manufactured, there are many relationships between parts which form the final product, giving it the function and desired shape. This study proposes to explore this information, reorganizing, coding and grouping according to similar mounting characteristics. After data classification, crossing with information will be realized on the needs, capabilities or just demands of a factory in which it intends to introduce the assembly line under the studied product, making it possible to have clusters of pieces that may share the same devices and tools, labor and floor space, without losing focus on the ability end traits that each company will present. Also, it will be possible to view assembly lines options arising from the graphical analysis that will be performed and translated into easily interpreted images, accelerating the development process of assembly steps, reusing equipment.

Keywords: Modularization. Assembly line. Dendogram. Assembly line project.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Relação do projeto no custo da produção.....	25
Figura 2 – Método hierárquico de <i>Cluster</i>	26
Figura 3 – Processo de tratamento de informações para construir dendogramas.....	27
Figura 4 – Dendograma – exemplo 1: cortes lineares.....	28
Figura 5 – Informações para obtenção das opções das linhas de montagem.....	31
Figura 6 – Passos da proposta.....	32
Figura 7 – Seleção de códigos.....	36
Figura 8 – Código de quatro elementos.....	37
Figura 9 – Dendograma com cortes lineares e não lineares.....	37
Figura 10 – Corte não linear.....	38
Figura 11 – Corte linear.....	38
Figura 12 – Fluxograma da lógica de solução.....	40
Figura 13 – Matriz resultado.....	41
Figura 14 – Dendograma resultado.....	42
Figura 15 – Linha de montagem resultado.....	42
Figura 16 – Exemplo 1: cabeçote de giro.....	44
Figura 17 – Exemplo 1: cabeçote de giro vista explodida.....	45
Figura 18 – Conjunto pino “R” e eixo.....	46
Figura 19 – Conjunto roldana e eixo.....	47
Figura 20 – Conjunto cabeça de giro e eixo.....	47
Figura 21 – Conjunto cabeça de giro e base de fixação.....	48
Figura 22 – Conjunto mão francesa e base de fixação.....	48
Figura 23 – Lógica de programação do conjunto 1.....	52
Figura 24 – Dendograma resultado para conjunto cabeçote de giro.....	54
Figura 25 – Linha resultado.....	54

Figura 26 – Linha resultado final para cabeçote de giro.....	55
Figura 27 – Conjunto exemplo de núcleo móvel.....	56
Figura 28 – Manivela.....	58
Figura 29 – Ponto de solda.....	58
Figura 30 – Relação de movimentos entre alça núcleo móvel e haste roscada.....	59
Figura 31 – Indicação dos encaixes entre núcleo móvel e alça do núcleo móvel.....	60
Figura 32 – Encaixes do prolongador do núcleo móvel.....	60
Figura 33 – Detalhe do espaçador núcleo móvel montado ao pacote.....	61
Figura 34 – Dendograma com corte não linear.....	64
Figura 35 – Montagem não linear.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das formas de modularidade.....	20
Tabela 2 – Exemplo de listagem de peças.....	33
Tabela 3 – Descrição e codificação das relações de montagem.....	33
Tabela 4 – Codificação das ferramentas.....	34
Tabela 5 – Codificação do condicionamento de montagem.....	34
Tabela 6 – Matriz cruzamento.....	35
Tabela 7 – Nome das peças do conjunto cabeçote de giro.....	45
Tabela 8 – Relações de montagem do conjunto cabeçote de giro.....	49
Tabela 9 – Relações de equipamentos para montagem do conjunto cabeçote de giro.....	49
Tabela 10 – Ordem básica de montagem do conjunto cabeçote de giro.....	50
Tabela 11 – Cruzamento entre peças do conjunto cabeçote de giro.....	50
Tabela 12 – Matriz resultado do conjunto cabeçote de giro.....	53
Tabela 13 – Resumo dos códigos selecionados do conjunto cabeçote de giro.....	53
Tabela 14 – Nomes das peças do conjunto núcleo móvel.....	56
Tabela 15 – Relações de montagem do conjunto núcleo móvel.....	62
Tabela 16 – Relações de equipamentos para montagens do conjunto núcleo móvel.....	62
Tabela 17 – Ordem básica de montagem do conjunto núcleo móvel.....	62
Tabela 18 – Cruzamento entre peças do conjunto núcleo móvel.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivos específicos.....	14
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Resultados esperados.....	15
1.4 Metodologia.....	16
1.5 Estrutura do trabalho.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Modularidade.....	18
2.1.1 Plataforma de produtos.....	19
2.1.2 Motivos para desenvolver produtos modulares.....	21
2.2 Projeto conceitual do produto com foco na modularização.....	23
2.3 Gráfico de interfaces ou dendogramas.....	25
2.4 Interpretação e adequação do dendograma à proposta.....	28
3 PROPOSTA DO MODELO DE APLICAÇÃO.....	30
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO COM LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO.....	44
4.1 Descrição do conjunto 1.....	44
4.1.1 Descrições das relações de montagem entre peças do conjunto 1.....	46
4.1.2 Análises das operações de montagem do conjunto 1.....	49
4.1.3 Matriz cruzamento do conjunto 1.....	50
4.1.4 Propriedades excludentes do conjunto 1.....	51
4.2 Descrição do conjunto 2.....	55
4.2.1 Descrições das relações de montagem entre peças do conjunto 2.....	57
4.2.2 Análises das operações de montagem do conjunto 2.....	61

4.2.3 Matriz cruzamento do conjunto 2.....	62
4.2.4 Propriedades excludentes do conjunto 2.....	63
5 CONCLUSÃO.....	66
5.1 Considerações finais.....	66
5.2 Trabalhos futuros.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A interação entre o projeto do produto e o projeto do processo de produção é fundamental para uma empresa ser competitiva. Empresas que trabalham sem uma interação entre o projeto e o processo possuem maiores dificuldades na obtenção de produtos competitivos. Isto, muitas vezes, inviabiliza projetos e exclui do mercado produtos com grande capacidade de serem funcionalmente competitivos, e, pelo fato de possuírem um custo de produção elevado, não se tornam economicamente atrativos, ou seja, a produção acaba somando a este produto um custo que não enobrece a finalidade do mesmo.

Diante desta realidade, inúmeras alternativas surgiram para aumentar a eficiência das linhas produtivas, mas estas medidas alteravam principalmente o projeto do produto. A modularização de produtos foi criada para este fim, favorecendo o processo de manufatura de mais produtos em menos tempo e, ainda, proporcionando meios de aumentar a variedade de produtos.

Segundo Mikkola (2000), a modularização pode ser entendida como um processo que especifica e padroniza as interfaces comuns entre os componentes de uma dada arquitetura de produto, visando a um maior aproveitamento destes componentes dentre famílias de produtos.

Auxiliando as tecnologias de produtos modularizados, a Tecnologia de Grupo torna-se um elo que fortalece a importância em projetar não apenas com visão voltada para o produto, mas também quanto à forma como ocorre esta produção. Por meio dos conceitos de células produtivas, a Tecnologia de Grupo auxilia na produção como uma maneira de organizar a resolução de problemas, descobrindo semelhanças nas soluções e visando o aproveitamento das vantagens operacionais e econômicas mediante um tratamento de grupo, conceito este que pode ser estendido para a modularização.

No que diz respeito aos conceitos de processo de fabricação, normalmente neste tema não é abordada a condição de montagem como parte do processo, ou seja, mesmo com as teorias de modularização, a elaboração da linha de montagem é algo a ser resolvido depois que o projeto do produto está concluído, fundamentado apenas pela necessidade do produto. Assim, a existência de tecnologias que permitem determinar características e propriedades de um produto permitindo um estudo antecipado da problemática da fabricação do produto é a proposta deste trabalho.

Assim, com o cruzamento entre as informações que estão ligadas à forma com que os componentes se dispõem a interagir e as capacidades de modularização dos mesmos, busca-se transformar estas informações em uma base de dados para a elaboração de opções de linhas de montagem que permitem a interação humana na escolha final da melhor opção, tornando a efetivação deste processo de projeto de linha de montagem algo de fácil aceitação pelas empresas mais tradicionais, permitindo a introdução de novos produtos não apenas em tempo reduzido, mas com um custo de produção dentro de padrões competitivos, beneficiando-se da reutilização de equipamentos, espaço físico e treinamento de mão de obra.

1.1 Objetivos

Obter um modelo de aplicação para a definição de linhas de montagem de produtos modularizados mediante análise do projeto. O modelo deve permitir realizar avaliações com relação à configuração da linha baseado nas interações entre peças que compõem o conjunto e nos processos que a fábrica pretende instituir.

O objetivo deste trabalho é oferecer uma proposta de desenvolvimento teórico de um modelo de análise dos dados coletados a partir do projeto de um equipamento ou dispositivo, reorganizando-os de maneira a torná-los capazes de serem retrabalhados, e realizar a demonstração de dois casos, aplicando os conceitos na geração de linhas de montagem de um produto específico.

1.1.1 Objetivos específicos

- Definir um processo de criação de opções de linha de manufatura para equipamentos que possuem a característica de produto modularizado.
- Aplicar os passos do modelo desenvolvido realizando as análises necessárias para obterem-se as informações suficientes para tomadas de decisão.

1.2 Justificativa

Este trabalho se justifica pelo desenvolvimento de um método novo de desenvolvimento de uma linha de montagem, que aperfeiçoa dificuldades de projeto do

produto, envolvendo em sua estrutura pessoas, processos e ferramental, entre outras características, possibilitando considerar quantas características forem necessárias para auxiliar e orientar nas tomadas de decisões.

Assim a satisfação de utilização se converterá em retorno financeiro embasado na inovação da organização dos processos, valorizando o trabalho de sua equipe, a cooperação e a responsabilidade individual. Por isso a proposta da metodologia de geração de linhas de montagem através de um projeto mecânico, que considera além da capacidade de fabricação, se adéqua à necessidade do cliente facilitando a aceitação da proposta de geração de linha de montagem.

Ainda dentro da metodologia a reutilização de equipamentos, espaço físico e treinamento de mão de obra auxiliam na geração das opções de linhas de maneira rápida e com custo reduzido, já que otimização de espaço e ferramental faz parte da estrutura da proposta, sendo levada em consideração em qualquer etapa e está intrínseca a cada opção de linha de montagem que resultar da proposta deste trabalho.

1.3 Resultados esperados

A necessidade de se reaproveitar investimentos já realizados em equipamentos, dispositivos, treinamento de mão de obra e espaço físico foi o foco do presente trabalho que oferece a possibilidade de gerar opções de passos de montagem no momento em que está trabalhando no projeto preliminar do produto levando em consideração características de montagem que se encontram nas configurações da árvore de projeto de montagem, desta forma as propostas geradas por este método se tornam precisas e reais, tendo a complexidade ligada à precisão de projeto e a necessidade ou possibilidade fabril.

A integração que este método propõe se dá pela incensação de informações referentes a processos, formas e ferramentas necessárias para se realizar o processo de produção tornando possível a geração de um maior número de opções de linhas de montagem permitindo fazer uma análise das vantagens e desvantagens de cada possibilidade

Também é possível determinar a influência do *layout* no processo produtivo com base no desenvolvimento de produtos adaptados à linha de montagens já existentes adaptando um

produto a esta linha fazendo com que a proposta de reutilização de elementos físicos ligados à produção seja explorado ao máximo.

1.4 Metodologia

Inicialmente é realizada uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimento de produtos modulares e de gráficos do tipo dendogramas, além de apresentar dois estudos de casos que se assemelham à proposta.

Após o estudo bibliográfico iniciou-se o processo de desenvolvido do modelo da proposta a ser aplicado na definição de linhas de montagem.

Encerrada a apresentação do modelo de análise, são apresentados dois exemplos de montagem de conjunto de peças criadas exclusivamente para exemplificação. O primeiro realiza a aplicação do modelo com passo de automatização de processo e o segundo possui o processo totalmente manual.

1.5 Estrutura do trabalho

Este estudo encontra-se dividido em cinco capítulos, iniciando com a introdução ao tema e apresentação da revisão bibliográfica. Explana sobre temas que embasem o entendimento do assunto principal, passando, então, pela revisão dos processos de projeto modular e de manufatura e montagem. Por fim, apresenta a proposta que se pretende. Os capítulos estão distribuídos da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução: neste capítulo apresentam-se as generalidades sobre o tema escolhido, os objetivos, a metodologia e a estrutura do trabalho além de os objetivos gerais, e de maneira mais precisa nos objetivos específicos.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: este capítulo apresenta uma revisão teórica sobre projeto de desenvolvimento de produtos modulares, iniciando pela definição de conceitos relativos ao processo de modularização. Trata também de aspectos construtivos do dendograma, bem como formas de análise do mesmo e da importância de se produzir de maneira organizada.

Capítulo 3 – Proposta do Modelo de Aplicação: este capítulo consiste basicamente na explanação da proposta, fazendo isto de maneira detalhada, demonstrando com exemplos genéricos quais as ações e ferramentas necessárias para que, a partir do projeto mecânico, se atinja o objetivo principal que é oferecer opções de linha de montagem.

Capítulo 4 – Aplicação do Método com Lógica de Programação: neste capítulo são expostos dois exemplos. O primeiro contendo o processo de criação das opções de linha de montagem com passos automatizados; o segundo consiste em exemplificar o método manual proposto. Este capítulo oferece, então, entendimento da metodologia por meio de modelamentos criados especificamente com a finalidade de exemplificar.

Capítulo 5 – Conclusão: neste capítulo estão as principais conclusões deste estudo e sugestões para trabalhos futuros que tenham por objetivo contribuir para o desenvolvimento desta e de novas técnicas de projeto de linhas de produção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Modularidade

A modularidade tem por finalidade ser um meio para aperfeiçoar os passos de projeto, atingindo padrões construtivos e dando a devida importância aos requisitos necessários na montagem do produto, ou seja, a modularização racionaliza as etapas de geração dos produtos.

Levando em consideração esta capacidade, a modularização proporciona a criação de linhas de montagem que venham a atender mais de uma série de produtos que podem, inclusive, destinarem-se a finalidades distintas, ocorrendo práticas de reutilização de espaços e equipamentos de forma organizada ou premeditada, oferecendo possibilidades de prever ações de utilização de mão de obra, espaço e capacidade técnica.

Erixon, Yxkull e Amström (1996) enfatizam que a divisão do produto em módulos é uma excelente forma para se obter uma renovação contínua, simultaneamente com a instituição da linha de montagem ou fabricação do produto que se pretende obter. Desta maneira, os produtos integrarão uma mesma linha de montagem e terão como marca o compartilhamento de componentes, agregando-se a outros, de famílias semelhantes, com característica de produtos que passaram pelo processo de modularidade.

Autores como José e Tollenaere (2004) destacam a ideia básica do conceito de modularidade, quando existe o desmembramento de um produto complexo, ou de um sistema, em unidades restritas às soluções específicas. Já Blackenfelt (2001) possui um aprofundamento na análise deste termo, descrevendo que modularidade é “o grau de interação dos módulos de um produto”.

Sendo assim, pode-se afirmar que modularidade é uma característica do produto que decorre da sua capacidade de modularização ou, ainda, o arranjo de um conjunto de elementos. Em suma, define-se, neste trabalho, a modularidade como a propriedade de um conjunto sistemático, chamado produto, de se tornar modular. A modularidade, portanto, é um atributo do sistema que provém do projeto preliminar.

Desta forma, Miller e Elgard (1998) cita a modularidade como um atributo de um sistema a sua estrutura e funcionalidade. Uma estrutura modular consiste na junção de

unidades funcionais distintas (módulos) por meio de interfaces e interações padronizadas. A substituição de um módulo por outro gera uma nova variação do produto.

Segundo Pahl e Beitz (1996), pode-se entender que a necessidade de modularizar um produto não pode ser tratada apenas como um simples desmembramento de peças para posterior criação de conjuntos que parecem ser semelhantes por alguma característica aleatória. A modularização, todavia, é uma técnica que exige disciplina quanto aos passos a serem seguidos, principalmente nos quesitos de atributos das peças, pois serão estes atributos que determinarão a capacidade ou não de interagir as peças, formando os módulos que, posteriormente, ditarão conexões e ainda as possibilidades de passo a passo de montagem da linha a ser estruturada.

2.1.1 Plataforma de produtos

Pahl e Beitz (1996) citam que a plataforma de produtos é uma forma de modularização caracterizada por possuir uma estrutura básica, e esta tem a função de receber diferentes componentes considerados como módulos, ou seja, um “conjunto de módulos e componentes que formam uma base/sistema em comum, da qual uma série de produtos podem ser desenvolvidos e produzidos de forma eficiente”. Outra forma de se analisar o conceito de plataforma é vê-la como um “espaço de configuração”, a partir do qual se pode trabalhar a variedade e a customização do produto.

Muffatto e Roveda (2002) sustentam que as decisões relacionadas à arquitetura e à plataforma de produtos devem considerar as relações com fornecedores e parceiros. Isto porque as estratégias de modularização exigem uma participação mais próxima e integrada entre todos os envolvidos no desenvolvimento do produto, da mesma forma que a projeção dos passos de montagem, os equipamentos ou ferramentas que serão necessários na linha de montagem dos equipamentos modularizados. Assim, a modularização possibilita a reutilização da organização gerada para um modelo de conjunto, mas oferecendo a possibilidade de se montar mais de um modelo de conjunto sobre a mesma linha.



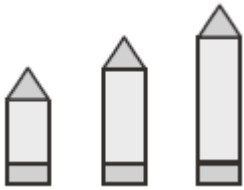
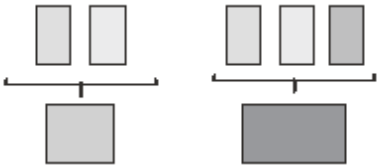
Sanchez (2002) argumenta que um módulo é um único conjunto ou unidade básica do produto que possui inter-relacionamentos que possibilitam procedimentos como testes e pré-montagem, sem que haja interferência no produto como um todo. Ou seja, cada módulo

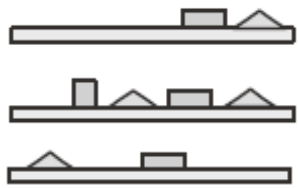
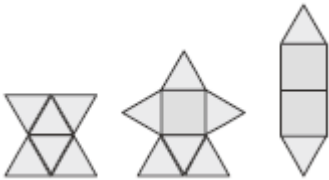
funciona por si, não sendo necessário estar conectado a outros conjuntos para realizar sua tarefa.

Esta característica levantada por Sanchez (2002) é fundamental para a elaboração de linhas de montagem que considerem a origem dos módulos e também a possibilidade de construção de mais de um modelo de equipamento sobre uma plataforma modular.

Pine (1994) classifica ainda as formas de modularidade em seis tipos distintos conforme Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das formas de modularidade

Modularidade por compartilhamento de componentes:	
Um mesmo componente é compartilhado ao longo de múltiplos produtos. Possibilita uma redução significativa de custos através de economias de escopo.	
Modularidade por permuta de componentes:	
É a modularidade onde existe o compartilhamento por emparelhados no mesmo produto básico.	
Modularidade por ajuste de componentes:	
Nesta modularidade existe a semelhança aos métodos de compartilhamento e permuta, no entanto os dimensionais dos componentes variam dentro da necessidade maior.	
Modularidade por Mix:	
Através desta modularidade existe um o poder de empregar qualquer um dos métodos anteriores, porém aqui os componentes combinados podem gerar produtos que não aparentem ter relação.	

Modularidade por bus:	
Esta modularização é caracterizada por possuir uma estrutura básica e receber diferentes componentes tidos como módulos.	
Modularidade Seccional:	
É o método que proporciona o maior grau de variedade de caracterização e especificidade. Possibilita uma ampla intercambiabilidade de configuração entre diferentes tipos de componentes.	

Fonte: Adaptado de PINE, B. Joseph, 1994.

De acordo com Fixson (2003) diversas empresas, principalmente dos setores de transporte e informática, empregam o conceito de plataformas de produtos, que tem como base técnica a possibilidade de agregar elementos e gerar produtos distintos, sem a perda de dimensões significativas ou ainda perda de identidade.

Assim a Plataforma de Produtos agrega funcionalidade direta à proposta deste trabalho, pois organiza a metodologia que será aplicada do projeto conceitual à elaboração da linha, oferecendo a possibilidade de se pensar na montagem desde o princípio através das classificações.

2.1.2 Motivos para desenvolver produtos modulares

Modularizar um projeto está relacionado a impulsionar a capacidade produtiva de uma linha de montagem, pois reorganiza técnicas que, muitas vezes, são aplicadas de maneira intuitiva, tornando, assim, a capacidade de reaproveitamento de soluções para projetos e linhas de montagem algo rotineiro e compreensível.

Existem outros fatores que facilitam a adoção de produtos modularizados. Segundo Pahl e Beitz (1996), a adoção do projeto de produtos modulares ocorre em situações de

aumento da exigência de variabilidade das funções do produto, o que estimula o desenvolvimento de uma série ou de subconjuntos.

Para Miller e Elgard (1998), existem três razões específicas para que se adite um processo de projeto modular: a necessidade de se criar uma grande variedade de produtos, como supracitado, a utilização de semelhanças projetuais e, principalmente, a redução da complexidade, ou seja, a facilitação de projetar e produzir.

Dentre os inúmeros pontos positivos que o projeto de modularização pode praticar segundo Pahl e Beitz (1996) e Rozenfeld et al. (2006), estão:

- montagem facilitada e favorável, contanto que o conjunto seja bem-projetado;
- simplificação da preparação do trabalho e otimização de prazos;
- *layout*, o que proporciona facilmente a utilização dos métodos à prova de erros destinada a evitar a ocorrência de defeitos como o poka-yoke;
- melhores possibilidades de substituição e consertos mediante a intercambiabilidade.

Estes mesmos autores enfatizam, que ainda existem situações que devem ser analisadas quando se considera utilizar os métodos de projeto modular para se desenvolver produtos. Assim, existe uma determinada redução da possibilidade de adaptação às vontades especiais do cliente quando comparada a projetos específicos, posto que a modularização leva em consideração o conjunto de soluções. Ainda a este aspecto soma-se a necessidade do cliente e não apenas os pontos de vista do fabricante. Ocorre, também, certa dificuldade que impede a obtenção de um sistema modular a contento.

Além disso, as modificações dos produtos tornam-se menos viáveis em tempos reduzidos de produção em virtude dos custos relativamente elevados que envolvem os projetos específicos, e as dimensões e pesos maiores que os de um produto desenvolvido especialmente para a variante da função, em certas circunstâncias, aumentam o espaço requerido e o custo da fundação.

Erixon, Yxkull e Amström (1996) apontam o tempo de mercado como uma importante arma para a competitividade, que pode ter em seu contexto a necessidade de redução do tempo de desenvolvimento do produto. Com relação a isto, desenvolvem-se produtos modulares com plataformas capazes de gerar famílias de produtos que, ao receberem ou excluírem diferenciais, geram a cada mudança um novo produto.

Assim, esta estratégia inclui, como afirma Enochsson (2006), a redução do tempo de desenvolvimento do produto e, por consequência, a redução do custo de desenvolvimento, que, entretanto, não apresenta o maior custo da criação do produto. Ainda, o aumento da possibilidade de criação da fábrica e a capacidade de atualização e incremento da confiabilidade e qualidade deste, vêm valorar o emprego de técnicas de obtenção de dados de mercado.

Desta forma, percebe-se que nenhuma proposta é totalmente correta para o caso estudado de elaboração de um conceito de equipamento e, paralelo a isto, a linha de montagem deste equipamento. O que existe é um conjunto bem-estudado de soluções que vêm, por sua vez, equilibrar e atingir um ponto idealizado a cada produto, ou seja, busca-se como objetivo não excluir as necessidades de mercado e, ao mesmo tempo, considerar aspectos logísticos de produção para se ter um novo produto a custo competitivo e com qualidade.

2.2 Projeto conceitual do produto com foco na modularização

Para Baxter (2011), um produto é descrito em termos funcionais ou físicos. Os elementos funcionais são os que executam operações ou transformações, contribuindo para o desempenho global do produto. Os elementos físicos são constituídos pelas peças, componentes e subconjuntos, e são organizados em blocos. Cada bloco é composto de um conjunto de componentes que executa funções no produto. O estudo das interações entre esses blocos e o arranjo físico dos mesmos, constituindo a configuração do produto, é a sua arquitetura.

Mikkola (2000) descreve a arquitetura do produto como o arranjo dos elementos funcionais de um produto, ou seja, cada elemento possui sua função característica e, sem este elemento, o conjunto perde função.

Para atingir os objetivos considerando como pontos importantes por Mikkola (2000), é necessário ter um bom desempenho do produto no mercado sem prejudicar a autonomia de montagem, sendo importante desenvolver produtos com o enfoque na manufatura e montagem. O aumento da concorrência nos setores, mudanças tecnológicas contínuas e infundáveis, diminuição do ciclo de vida dos produtos e a maior exigência dos consumidores, acabaram por exigir das empresas agilidade, produtividade e alta qualidade, que dependem,

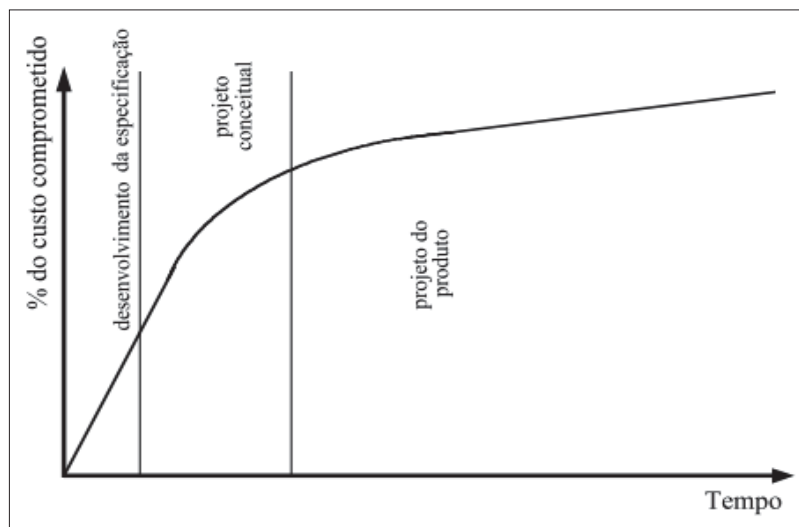
necessariamente, da capacidade da empresa fabricante em traduzir necessidades em características intrínsecas ao produto.

Rodrigues, Carnevalli e Miguel (2012) investigaram o emprego da modularidade no projeto de produto e na produção, considerando uma situação de relação específica entre uma montadora de veículos comerciais e fornecedores de motores no âmbito do consórcio modular, e analisaram, ainda, a relação entre a modularidade no projeto de produto e na produção. Para tal, os autores desse artigo realizaram um estudo no qual extraíram informações suficientemente necessárias para estruturar uma comparação, com levantamento bibliográfico, das análises enfocadas para os benefícios da modularidade. A coleta de dados também envolveu fornecedores de primeiro nível e fabricantes de motores, buscando compreender como foram tomadas as decisões de adequação dos produtos em relação ao novo arranjo produtivo modular e como ocorreu o desenvolvimento de novos motores para a montadora.

Por fim, os autores supracitados constataram que a modularidade pode ser aplicada ao processo produtivo sem, necessariamente, que o produto tenha sido concebido em módulos. Não é possível, entretanto, realizar o processo de modularizar todo o produto, pois, logicamente, o mesmo não foi concebido desde o princípio com este conceito. Quando, todavia, um produto é projetado em módulos, a decorrência, em geral, é que o processo produtivo seja organizado de acordo com a estrutura do produto, tornando o processo de produção mais simplificado, pois o número total de componentes e subconjuntos manuseados é reduzido e, ainda, os módulos são agregados ao conjunto por meio de interfaces padronizadas.

Ulmann (1997 apud Almeida, 2000), realça a grande importância da fase inicial de um projeto com relação ao custo total do trabalho de projetar e também ao sucesso do produto final. Assim, as decisões tomadas nesta fase, se não administradas corretamente, podem gerar aumentos consideráveis no custo proporcional, que, para serem alterados nas fases posteriores do desenvolvimento de um produto, causam somatórios de custos significativos (Figura 1).

Figura 1 – Relação do projeto no custo da produção



Fonte: ULMANN (1997 apud ALMEIDA, 2000).

Sendo assim, a precisão inicial do projeto, citada por Ulmann (1997 apud Almeida, 2000), é fundamental para atingir o alvo do trabalho de projetar sem contratempos. Além disso, as inúmeras características impostas pelas necessidades raramente são apresentadas em dados precisos e aplicáveis, ou seja, a tradução das informações, como relatam Pahl e Beitz (1996), é fundamental para transformar necessidades em características de projeto visando à solução total. Somente assim a velocidade e a objetividade do ato de projetar, que Rozenfeld et al. (2006) expõem, podem se tornar características intrínsecas do produto e, por consequência, transformar o projeto em um produto inovador e com custo aceitável.

Para que a elaboração do passo a passo de montagem seja algo preciso, entretanto, entende-se que os passos iniciais desta elaboração compreendem a coleta de dados para a elaboração do sistema, que irá proporcionar a fundamentação das futuras soluções para cada passo de montagem.

2.3 Gráfico de interfaces ou dendogramas

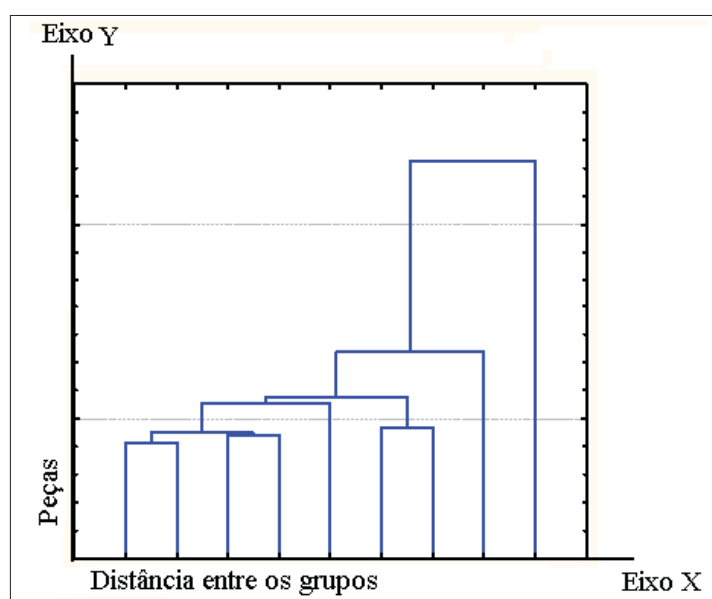
O gráfico é uma ferramenta de visualização que tem a capacidade fornecer dados sobre os grupamentos pré-elaborados e, desta forma, facilitar a seleção de opções de passos de montagem e, ainda, a alimentação da linha de montagem que se pretende elaborar.

Segundo Vicini (2005), dendograma é um gráfico em formato de árvore ou, ainda, chamado de fenograma. Oferece em formato gráfico que favorece a visualização das informações de maneira simples e sintética, facilitando, assim, os possíveis cruzamentos por meio de cortes nas linhas de interação que se resumem nas decisões tomadas pelos responsáveis e que julgarão como decisão ideal para configuração de linhas de montagem.

No formato tradicional de elaboração do gráfico dendograma é utilizado o desdobramento da Função Modular ou MFD (ERIXON, 1998), para determinar as soluções técnicas que farão parte do produto final.

Vicini (2005) descreve que para analisar um dendograma (Figura 2) deve-se observar na coluna vertical (eixo Y) as peças que fazem parte do consumo do equipamento, sejam estas peças grupos modularizados ou peças avulsas em ordem decrescente de semelhança ou proximidade. Já o eixo da horizontal (eixo X) indica as distâncias de interação entre os módulos, ou seja, a diferença que faz com que os elementos não participem do mesmo grupo.

Figura 2 – Método hierárquico de *Cluster*



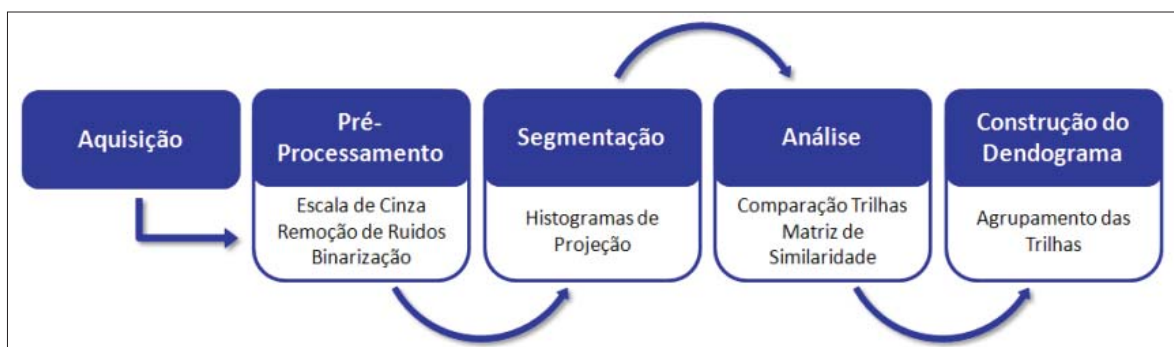
Fonte: Adaptado de VICINI, Lorena, 2005.

Assim sendo, pode-se afirmar que o método de hierarquias de *Cluster* é embasado em uma série de agrupamentos ou sucessivas divisões de elementos, que são agregados ou desagregados, e explicitados por um diagrama bidimensional, chamado de dendograma.

Para Barroso e Artes (2003) e Vicini (2005), o número de grupos pode ser definido por meio de informações que se tenha sobre os componentes cita que em alguns estudos torna-se necessário conhecer algumas características de determinado grupo de um conjunto de elementos amostrais, principalmente quando é resultante de uma ou mais variáveis. Quando se obtém mensuração de diferente natureza, pode-se observar se há similaridades no conjunto de dados, e isto se dá pela busca de dados destas peças, ou, ainda, pode ser definido posteriormente com base nos resultados da análise.

Este formato de gráfico é amplamente utilizado nas áreas da saúde, principalmente em análises de DNA. Rosa, Brun e Kiel (2011) realizaram um estudo utilizando as imagens oriundas dos exames em gel de eletroforese que, atualmente, são feitos de maneira visual comparando-se as imagens, tornando este processo complexo em razão da possibilidade de erros. Assim, o objetivo dos autores foi desenvolver uma ferramenta computacional para realizar a construção automática de dendogramas por intermédio das imagens digitais de géis provenientes do processo de eletroforese. Para tal, os autores não obtiveram as imagens digitalizadas; apenas propuseram que a coleta deste dado pudesse ser feita por meio de scanner e câmera fotográfica. Após esta coleta propuseram os passos descritos na Figura 3.

Figura 3 – Processo de tratamento de informações para construir dendogramas



Fonte: ROSA, Marco Antonio; BRUN, André Luiz; KIEL, Greicy, 2011

Ainda, segundo Rosa, Brun e Kiel (2011), ao finalizar o processo como um todo, os autores perceberam que o desenvolvimento de ferramentas adequadas propicia não somente agilidade nos processos comparativos, tornando o processo menos oneroso, mas também minimizam o risco de erros de interpretação. Verificou-se, além disso, que o método usado é bastante eficaz para todas as imagens de teste aplicadas. Assim, pode-se perceber a amplitude

que a análise mediante dendogramas pode proporcionar, gerando possibilidades principalmente quando se transforma o processo de geração da maneira manual para a automatizada.

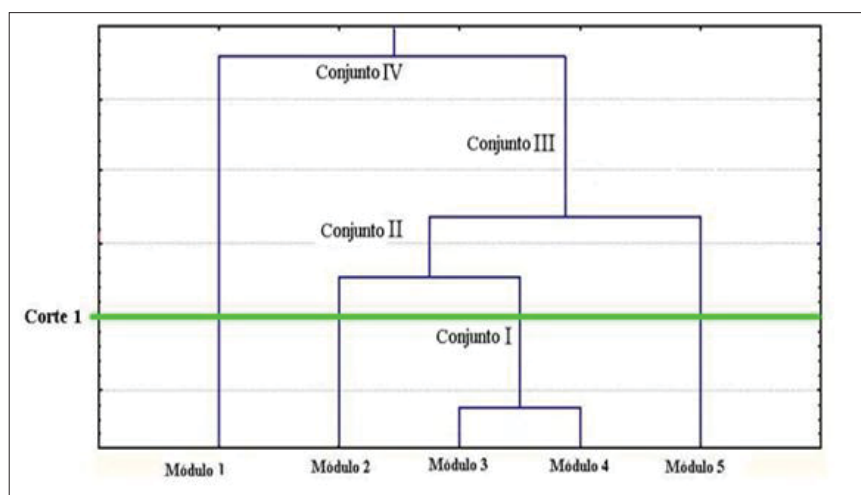
2.4 Interpretação e adequação do dendograma à proposta

Tradicionalmente o dendograma apresenta-se como exemplo de gráfico (Figura 4) que demonstra a possibilidade de grupamentos (montagem) que podem resultar em função dos respectivos cortes. Inicialmente são suficientes os cinco módulos para se montar um equipamento, composto pelas peças ou módulos 1, 2, 3 e 4, descritas no eixo horizontal do gráfico.

Ainda na Figura 4 pode-se observar que a primeira ligação ocorre entre os Módulos 3 e 4. Logo após, ocorre a união entre o Conjunto I e o Módulo 2 originando o Conjunto II.

O Conjunto II, por sua vez, liga-se ao Módulo 5 formando o Conjunto III e por fim o Módulo 1 une-se ao Conjunto III finalizando a montagem e originando o Conjunto IV.

Figura 4 – Dendograma – exemplo 1: cortes lineares



Fonte: Adaptada de DONI, Marcelo Viana, 2004.

Partindo do princípio de que a análise dos agrupamentos é proporcionalmente mais precisa quanto maior for o número de informações sobre as peças e a forma de construção dos grupamentos, Pahl e Beitz (1996) citam que se deve considerar a atividade de planejar e projetar como uma pretensão de converter informações, ou seja, a saída de informações e

melhorias necessárias mediante a valoração dos resultados de cada etapa de trabalho do projeto. As listas de peças foram estudadas a partir dos pré-requisitos de montagem e manufatura, de onde foi retirado o maior número de informações possível para que pudessem ser aglomeradas de acordo com as montagens.

Desta forma, mantendo o foco na manufatura da montagem, a modularização do produto foi a maneira encontrada para agrupar as peças de modo a obter módulos que são função do processo de manufatura e montagem a ser utilizado.

Como descrito anteriormente, o dendograma é um gráfico de simples concepção e que traz poucos detalhes expostos de maneira direta. Assim sendo, um adendo à proposta de adequação dos fenogramas foi adicionar informações referentes à forma de união ou interação entre os módulos (Figura 4) que explicita três maneiras distintas que podem ser utilizadas na análise do dendograma para especificar uma linha de montagem de um equipamento.

O dendograma gera opções de montagem proporcionando liberdade de escolha dos passos de montagem ou interações em qualquer ponto por meio dos cortes. A tecnologia de análise de dendogramas atual, entretanto, permite apenas a realização de cortes lineares, impedindo que se tenha total liberdade de escolha. Observa-se, neste trabalho, que os cortes feitos de maneira não linear foram realizados em software de edição de imagens para que a proposta do trabalho ficasse exposta de maneira completa, tornando visível cada passo dela.

Como proposta de solução ao estudo de configuração de uma linha de montagem que atenda às necessidades, adaptando, assim, o método de Erixon (1998), excluindo o QFD e a Matriz de seleção Pugh, uma vez que as especificações de projeto e a concepção técnica do produto já existem e não permitem alterações quanto a sua concepção e quanto à formação dos grupos ou elementos no método tradicional, seria necessária a aplicação do método de hierarquias de *Cluster*.

Os dados para a criação do dendograma, no entanto, foram extraídos do projeto 3D do conjunto e, posteriormente, trabalhados por meio dos cortes em gráficos dendograma, que, por fim, originam sequências de montagem de um conjunto de peças modularizado, como tratado nos próximos capítulos.

3 PROPOSTA DO MODELO DE APLICAÇÃO

Este capítulo apresenta a descrição das etapas necessárias para a geração das opções de linhas de montagem de produtos modularizados que levam em consideração as características de montagem contidas no projeto de um produto e, ainda, enfoca o agrupamento de peças, além de outras propriedades importantes ao entendimento do processo proposto.

O processo de definir linhas de montagem oferece a possibilidade de prever opções de adaptar o projeto do produto e o processo de fabricação, observando as premissas do projeto de engenharia, e as condições de fabricação, sendo assim, existem informações e condições básicas a serem conhecidas e que servem de referência para a tomada de decisão. A Figura 5 apresenta um modelo de informações e comunicação a ser considerado para tal análise.

A condição de fabricação considera informações relevantes à ao processo de fabricação e infraestrutura da fábrica, que sirvam de base para a elaboração das opções da linha de montagem.

As características de projeto fornecem informações com relação ao produto, como especificação dos componentes, estrutura de montagem do produto, elementos de ligação, e a organização destes dados ainda possibilitam automatizar o processo de criação de linhas de montagem.

Ainda a proposta possui capacidade de ser adaptada à fabricação de qualquer produto, pois leva em consideração aspectos que se encontram em projeto, e ainda os cruzamentos de informações em matrizes possibilita que as características dos componentes do produto sejam cruzadas uma a uma gerando códigos que podem ser analisados de forma automática e demonstrados por meio dos dendogramas.

Figura 5 – Informações para obtenção das opções das linhas de montagem



Fonte: Autor

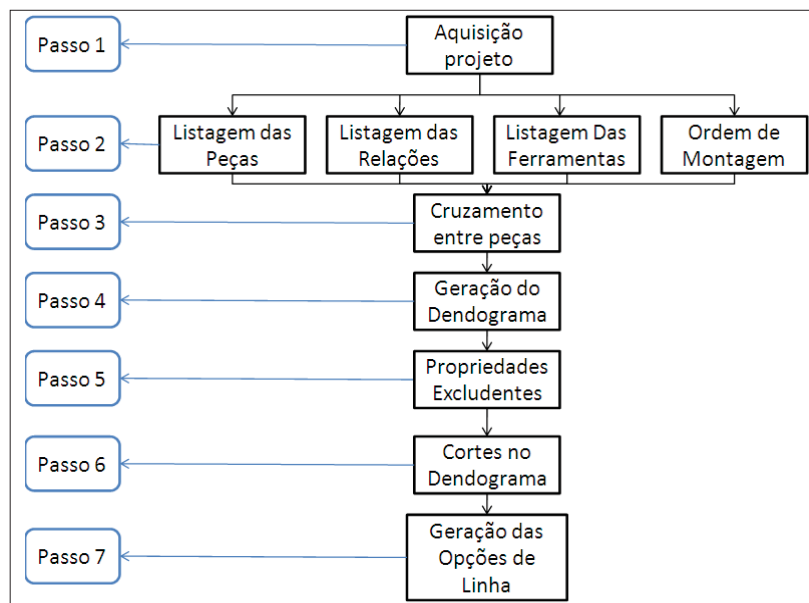
A proposta é composta de sete passos básicos para o seu desenvolvimento. A Figura 6 apresenta um fluxograma descrevendo os passos e as atividades principais relacionadas a cada um.

- **Passo 1:** Aquisição do Projeto – extração das informações do projeto para o Passo 2 e codificação de cada característica.
- **Passo 2:** Listagem de peças, relação de ferramentas e ordem de montagem – organização das informações do Passo 1 de acordo com propriedade ou função; no modo manual as informações são dispostas em tabelas.
- **Passo 3:** Cruzamento entre peças – neste passo serão realizadas as interações entre peças. Estas interações, na verdade, são as características codificadas no Passo 2 e que são equivalentes entre duas peças que estão sendo “cruzadas”, que darão origem a um código geral que conterá as informações desta interação.
- **Passo 4:** Geração do dendograma – organização dos cruzamentos e dos códigos de acordo com a proximidade das informações no dendograma.
- **Passo 5:** Propriedades excludentes – levantamento das propriedades que a fábrica considera que não devem fazer parte do processo de montagem, ou seja, uma

característica que exclui o processo de união de um conjunto que possui tal característica e, assim, exige que este conjunto seja unido em outro local ou linha.

- **Passo 6:** Cortes nos dendogramas – neste Passo são realizados cortes no Gráfico elaborado no Passo 5. Estes cortes demonstram, ao cortar as linhas do dendograma, que as linhas que ele intercepta farão parte da linha de montagem, podendo, assim, haver desvios ou saltos em razão das propriedades excludentes.
- **Passo 7:** Geração das opções da linha – por fim, são geradas as linhas de montagem correspondentes às linhas de corte que interceptaram as linhas do dendograma, e estas linhas são demonstradas com uma flecha que possui os códigos de montagem que não forma excluídos nos cortes.

Figura 6 – Passos da proposta



Fonte: Autor.

Seguindo a ordem proposta, o passo inicial da metodologia de criação de linhas de montagem para produtos modularizados, é necessário dispor do projeto do produto, uma vez que ele será fonte de informações. A primeira informação que deve ser obtida é a listagem de peças, que é descrita na Tabela 2, na qual serão codificadas. Um suposto conjunto foi

analisado e dele são extraídas quatro peças com os nomes de Peça A, Peça B, Peça C e Peça D.

Tabela 2 – Exemplo de listagem de peças

Código	Peças
1	Peça A
2	Peça B
3	Peça C
4	Peça D

Fonte: Autor.

Analisando o produto, devem ser extraídas as informações referentes às relações das peças do conjunto entre si e entre subconjuntos existentes, podendo fazê-lo de duas formas:

Através de um aplicativo que efetue a leitura do banco de dados do software usado para modelar o produto, obtendo assim a codificação das informações de montagem.

Através da leitura visual realizada pela busca de cada relação de montagem, o modo como ela deve ocorrer, e descrevendo na forma que o sistema possa interpretar.

Ambas exigem que estas informações sejam listadas e codificadas de acordo com a forma da relação que o projeto exige. A Tabela 3 relaciona as supostas relações de montagem com códigos propostos.

Tabela 3 – Descrição e codificação das relações de montagem

Código	Forma de União
S	Soldagem
R	Rebitagem
C	Colagem
A	Aparafusamento
M	Montagem

Fonte: Autor.

Estas formas de união, relação ou ligação entre peças são oriundas da análise realizada no projeto do conjunto completo, da mesma maneira que é feito com a lista de peças. Neste passo, entretanto, se deve observar as interações que existem entre as peças, e isto é possível por meio do conhecimento de projeto mecânico, portanto deve ser realizado por um profissional que compreenda estas relações e transforme-as em códigos simples como exemplifica a Tabela 3.

Após o processo inicial de obtenção das informações em forma de relação de união e posterior codificação, é necessário codificar as ferramentas que serão utilizadas para a montagem deste conjunto, sejam estas ferramentas tradicionais, especiais, como no caso da Tabela 4, onde a Peça B exige ferramenta personalizada, ou, ainda, como em alguns casos em que a montagem pode ser feita de forma manual. Para tal, se deve listar estas ferramentas de acordo com a Tabela 4, que relaciona ferramentas necessárias na montagem com códigos estipulados para cada tipo.

Tabela 4 – Codificação das ferramentas

Código	Ferramenta
1	Alicate de Abertura de Anel elástico
2	Torquímetro “3/4”
3	Ferramenta Especial de montar “Peça B”
4	Montagem Manual
5	Máquina de Solda Mig/Mag

Fonte: Autor.

Após esta etapa de levantamento de dados sobre as montagens e codificação das informações de montagem, deve-se levar em consideração a existência de algum impedimento de montagem que possa ocorrer, ou seja, existem peças que, se montadas primeiro, impedem a montagem de outras peças? Assim, deve-se utilizar a Tabela 5, que descreve exatamente estas situações.

Tabela 5 – Codificação do condicionamento de montagem

Simbologia Adotada	Forma de Especial de Montagem
<i>I</i>	Impede montagem de outros componentes.
<i>N</i>	Não Impede montagem de outros componentes.

Fonte: Autor.

Eventualmente podem existir algumas peças que impeçam a montagem de outras, estas devem ser montada antes que as demais, entretanto, no caso de haver mais de uma peça que impede a montagem de alguma outra, a ordem deve ser citada após a indicação do código *i*.

Finalizado o levantamento de informações da base de dados ou da análise da montagem do modelo, deve-se realizar o cruzamento das informações de montagem entre os conjuntos de peças, gerando as relações de montagem com um grande número de informações

e um pequeno espaço físico, proporcionando melhor forma de análise e possibilidades de retrabalhos por meios computacionais.

Para tal, deve-se seguir o modelo de cruzamento da Tabela 6, onde optou-se em realizar o cruzamento adicionando às colunas da matriz a lista completa de peças, e o mesmo foi feito nas linhas da matriz para que, assim, todas as peças fossem analisadas entre si. As peças que não possuíssem relação direta entre si, entretanto, tiveram seu espaço na matriz em branco, equivalendo a um elemento nulo.

Tabela 6 – Matriz cruzamento

Coluna	Linha	Peça A	Peça B	Peça C	Peça D
	Peça A			S4n	
Peça B		S4n			
Peça C					
Peça D		P1n			

Fonte: Autor.

A Tabela 6 mostra a configuração de uma Matriz Cruzamento e, desta forma, constitui seus termos ou elementos que são representados por uma letra minúscula, acompanhada de dois índices (a_{11} a_{12} a_{13} ... a_{ij}), onde o primeiro representa a linha e o segundo a coluna em que o elemento está localizado dentro da matriz.

Nas colunas e nas linhas, ficam descritas as peças que integram o conjunto a ser montado na linha de montagem. Deste modo ocorrem todas as possibilidades de montagem que estão previstas no projeto do produto. As descrições das montagens são os códigos descritos nas etapas anteriores de levantamento de dados sobre a montagem, e a posição correta de cada informação é dada pela ordem da Figura 8.

Nos cruzamentos em que há interação direta entre dois elementos, como no exemplo do caso da Peça A e Peça B, apresenta-se uma relação de montagem com o código de S4n, representando três características da montagem. Estas características passarão por uma análise, e o resultado desta classificação determinará se esta união poderá fazer parte da linha de montagem.

O critério necessário para este tratamento comparativo deve ser elaborado quando se determina quais os processos que não se pretende possuir em sua linha de montagem. O código que representa tal processo de união é comparado a estas propriedades excludentes.

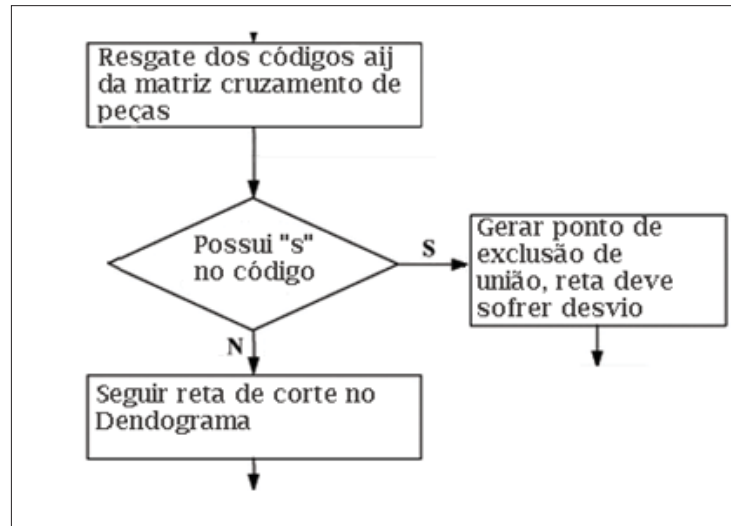
Deve haver uma resposta positiva ou negativa quanto à permanência deste processo na linha de montagem. Caso o processo deva ser excluído por possuir alguma característica não aceita, no corte do dendograma deve haver um desvio na linha, representando-o.

Quando, entretanto, se realiza esta comparação entre as características excludentes e os códigos gerados e houver uma resposta positiva, a linha de corte segue em linha reta até o próximo corte.

O processo de seleção de um passo de montagem pode ser acompanhado por meio de uma análise do fluxograma da Figura 7, que tem como função gerar um módulo de análise em que se é comparado o código gerado pela matriz cruzamento e a exigência predeterminada no passo anterior.

No fluxograma apresentado na Figura 7 existe a condição de não haver soldagem no processo de montagem. Assim, o código de união que possuir o “s” referente ao processo de soldagem não deverá participar desta linha. Desta forma, haverá o desvio da linha de corte do dendograma.

Figura 7 – Seleção de códigos



Fonte: Autor.

Isto não exclui, entretanto, a necessidade de haver a união por soldagem; apenas retira a mesma da linha, tendo de haver a soldagem, mas em outro processo ou até mesmo em um processo terceirizado em casos em que não exista a possibilidade de realização do

procedimento internamente. Isto caracteriza que a peça soldada é obtida como um módulo de montagem que deve chegar até linha pré-montado.

As informações referentes à união de duas peças ficam descritas como sendo um código de 3 elementos. O elemento 1 descreve a forma de união, o elemento 2 descreve a ferramenta necessária para a montagem entre as peças, e o 3º elemento refere-se à existência ou não de um impedimento de montagem ou obrigatoriedade de haver uma ordem de montagem (Figura 8). Esta organização do código facilitará a comparação entre informações de necessidade e exclusão.

Figura 8 – Código de quatro elementos

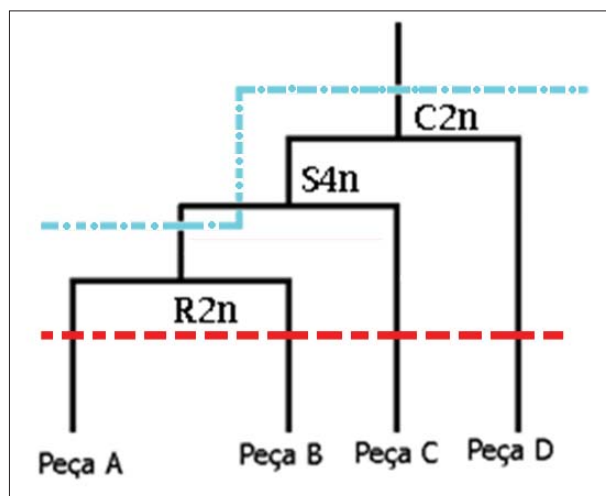
$$a_{ij} = \underline{S} \underline{5} \underline{i}$$

Elemento => 1 2 3

Fonte: Autor.

Assim, depois de realizada a interação de todos os elementos e a geração do código universal para cada relação, deve-se elaborar o dendograma referente aos passos de montagem. O dendograma oferece possibilidade estatística de análise permitindo a extração das opções das linhas de montagem em cortes lineares e não lineares, como na Figura 9, em virtude das especificações dos módulos obtidos em função da linha definida.

Figura 9 – Dendograma com cortes lineares e não lineares

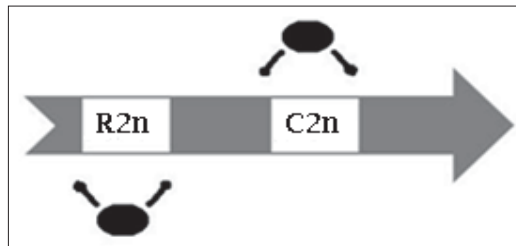


Fonte: Autor.

Por fim, no gráfico do dendograma podem ser trabalhadas as opções de linha de montagem por meio dos cortes, como na Figura 9, quando a linha Pontilhada Vermelha (“Linha Intermitente”), determina um corte linear não excluindo qualquer processo sequer. Ainda existe outra opção de corte realizado pela linha Pontilhada Azul (“Linha com Pontos”), que não é linear e exclui a relação de montagem “S4n” que, de alguma forma, possui processo que é considerado inadequado aos pré-requisitos da linha, gerando a situação de desvio e exclusão.

Transformadas estas linhas em uma sequências de ações de montagem, adotou-se a simbologia de apresentar os resultados em forma de flecha e, dentro destas, conter as interações de acordo com a ordem que elas ocorrem. Estas interações são representadas pela simbologia adotada no cruzamento.

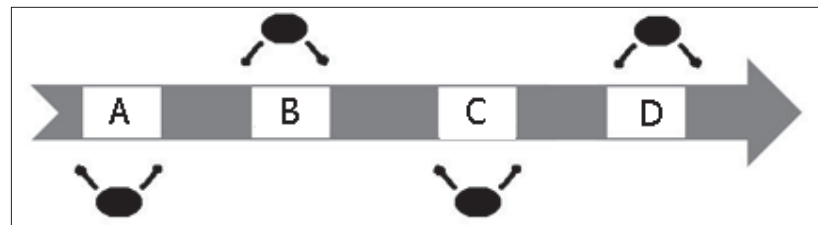
Figura 10 – Corte não linear



Fonte: Autor.

Observando as diferenças nas opções geradas e demonstradas pelas Figuras 10 e 11, percebe-se que o corte não linear permite maior liberdade de escolha, pois possibilita realizar o corte em níveis diferenciados.

Figura 11 – Corte linear



Fonte: Autor.

Após a elaboração das possibilidades de linhas de montagem, a tarefa de escolha da opção preferível se torna algo fácil e claro, pois as visualizações das propostas não exigem conhecimento técnico. Por fim, esta acessibilidade das informações torna a decisão mais precisa e com maiores chances de adequação das propostas às características que a empresa considerar importantes no processo produtivo.

O processo descrito, todavia, oferece a possibilidade de ser automatizado, oferecendo velocidade e praticidade de geração de opções de montagem. Existem, entretanto, dificuldades técnicas na extração das informações do projeto do produto que impedem a automação deste passo; assim, as informações referentes a nomes de peças, relações de montagem, ferramental, dentre outras características, ainda devem ser obtidas de maneira manual.

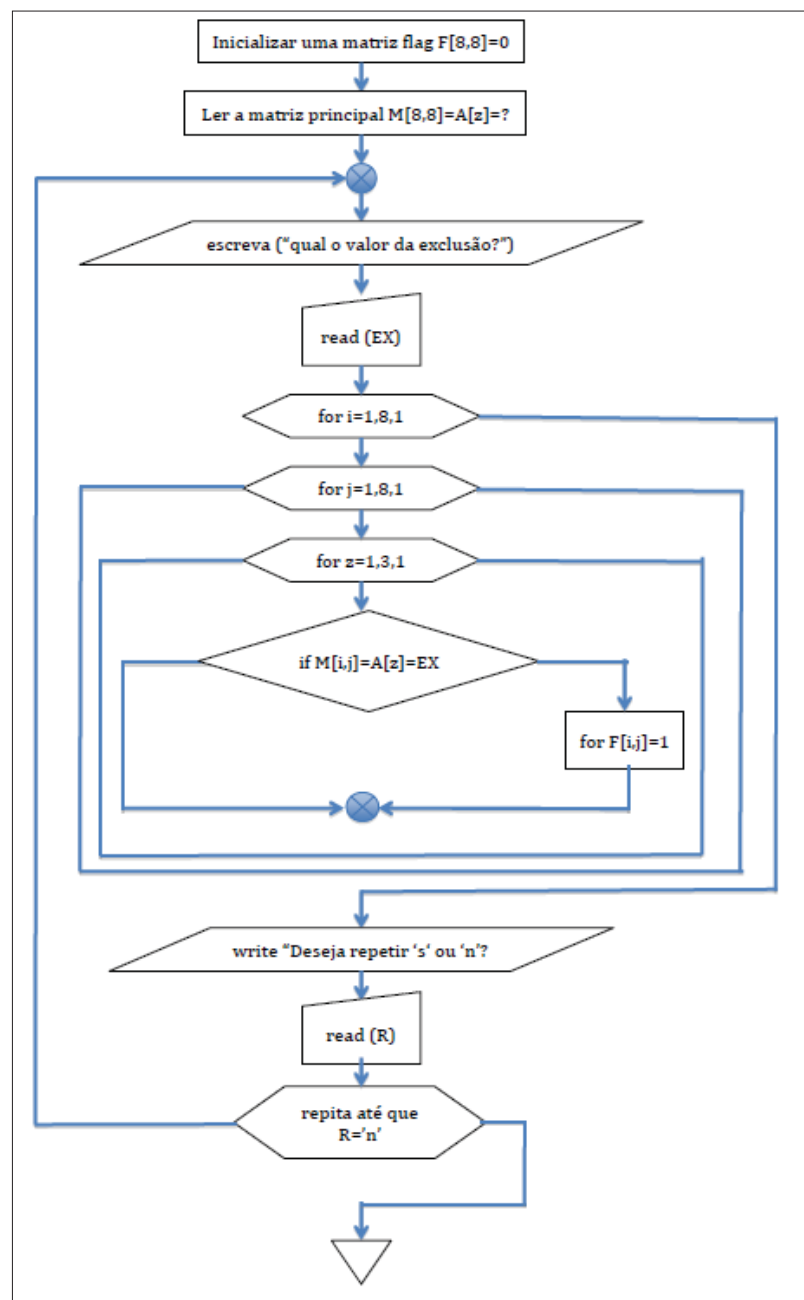
Logo, foi elaborado o Fluxograma que representa a lógica de programação que pode ser usada no desenvolvimento de um *software* ou programa que execute os passos da proposta de maneira automatizada.

A lógica do programa consiste em ler a matriz cruzamento exemplificada na Tabela 6, ou Passo 3. Para a leitura dos códigos do cruzamento, devem ser inseridos de acordo com os endereços A_{ij} da Matriz que são postos um a um no programa de acordo com a solicitação do mesmo; lembrando que os códigos representam as informações de união entre duas peças.

O segundo estágio da lógica é inserir as informações referentes ao critério de exclusão, ou seja, as características que foram julgadas inconvenientes à linha de montagem, estas também codificadas. O processo de inserção destas informações segue o mesmo procedimento utilizado na introdução dos códigos da Matriz Cruzamento, portanto o programa solicitará os códigos de exclusão.

Após alimentar o programa com os códigos cruzamento e os códigos de exclusão, o programa se encarrega de excluir os códigos gerais que possuem alguma característica excludente por meio da lógica condicional (Figura 12).

Figura 12 – Fluxograma da lógica de solução



Fonte: Autor.

O resultado da análise realizada pela lógica de programação será o numeral “0” para os elementos que continuarão no processo de montagem; já os processos que foram excluídos receberão o numeral “1” e, como forma de demonstrar tal resultado, se optou por uma matriz

que terá mesmo número de elementos A_{ij} que a Matriz Cruzamento. Esta matriz terá o nome de Matriz Resultado.

A Figura 13 mostra um exemplo de resultado aleatório de uma Matriz Cruzamento com 9 códigos distintos, e, como resultado, os elementos que possuem o numeral “0” demonstram que aquele código foi excluído do processo de montagem estudado para uma determinada peça, e os códigos que receberem o numeral “1” participarão da montagem.

Figura 13 – Matriz resultado

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

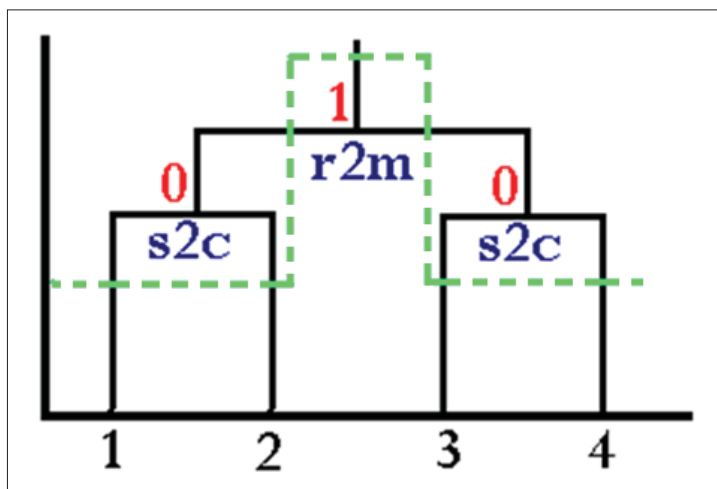
Fonte: Autor.

Desta forma, a informação referente à existência de alguma característica que não se deseja na linha de montagem está alocada em um endereço A_{ij} e pode ser utilizada matematicamente. Assim, relacionando os respectivos endereços A_{ij} dos resultados da Matriz Cruzamento com os dados da Matriz Resultados, se obterá um gráfico dendograma que deverá corresponder a todas estas informações.

Em um exemplo genérico, o gráfico dendograma (Figura 14) representa uma montagem realizada por 4 elementos que passaram pelo cruzamento entre peças e que, por isto, geraram determinados códigos pela Matriz Cruzamento. Após, esta matriz foi resgatada pelo software de análise e obteve-se a Matriz Resultado, e a mesma relacionou os A_{ij} que deveriam ser excluídos.

Para tal o dendograma da Figura 14 possui um corte (linha verde) que intercepta a linha da Peça 1 e 2, demonstrando que o conjunto pode ser montado pela condição “s2C”. O mesmo ocorre no corte que há nas peças 3 e 4, entretanto a união realizada pela condição “r2m” é cortada acima da linha da união, representando que esta união não pode ser realizada nesta linha de montagem.

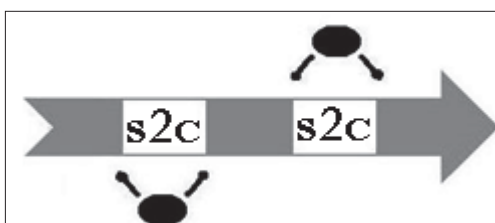
Figura 14 – Dendograma resultado



Fonte: Autor.

Após a obtenção do resultado em formato dendograma, deve-se criar a linha representativa desta interação, e, para esta representação, optou-se pela simplificação e demonstração por meio de uma flecha indicando o início e o fim da linha e os passos pelos códigos contidos nela. A linha para o exemplo da Figura 14 fica apenas com dois processos permitidos para a condição exigida (Figura 15).

Figura 15 – Linha de montagem resultado



Fonte: Autor.

Como resultado final do processo total de criação de opções de linha de montagem, a linha para o exemplo fica no formato de linha e possui, dentro da flecha, os códigos que foram considerados aptos para participar do processo de montagem. Os processos descritos pelos códigos excludentes, entretanto, devem ser realizados em outro local que não seja a linha gerada como opção.

Logo, de forma geral, a proposta proporciona agilidade e acerto de engenharia, uma vez que, na lógica de funcionamento, leva em consideração propriedades muitas vezes antagônicas, mas de extrema importância para o sucesso da produção.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO COM LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

Como descrito na proposição do trabalho, a proposta consiste em configurar uma linha de montagem a partir do projeto mecânico realizado em três dimensões. Como no projeto é possibilitado criar as relações de montagem entre as peças, é possível realizar a leitura destas relações, analisar e obter informações que auxiliem a configuração da linha de montagem.

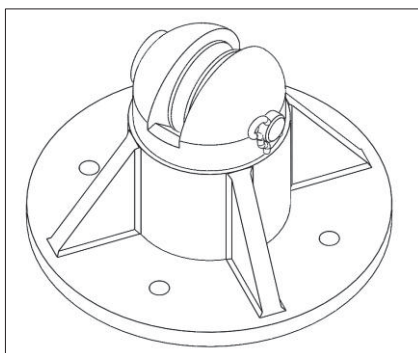
As relações de montagem num projeto 3D armazenam informações com relação à posição entre as peças. Relações como coincidência, paralelismo, perpendicularismo, concentricidade, dentre outras, que, relacionadas ao tipo de peça, podem auxiliar nas decisões. Assim, sabendo que a peça a ser montada é um parafuso, seu tipo, cabeça, etc., pode-se determinar o tipo de ferramenta a ser utilizada.

Estas informações podem ser manuseadas de forma a determinar qual a configuração de linha, levando em consideração as peculiaridades de cada relação de montagem. Para demonstrar a proposta foi escolhido um conjunto de peças que, quando montado integra um transformador de solda, para exemplificar o método.

4.1 Descrição do conjunto 1

Tendo a finalidade de exemplificar de maneira prática o processo de criação da linha de montagem com base em um projeto tridimensional de um produto modularizado, foi desenvolvido um modelamento para este fim, recebendo o nome de Cabeçote de Giro (Figura 16).

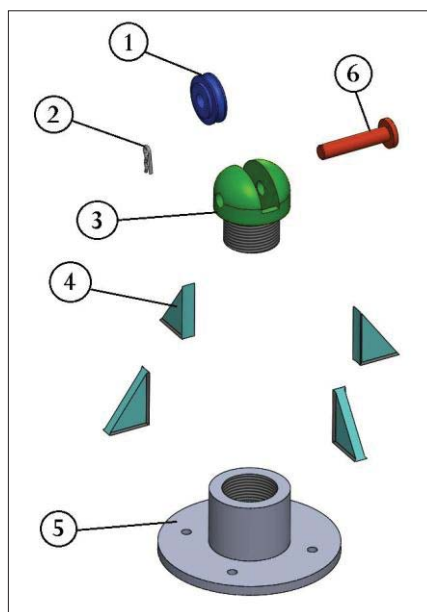
Figura 16 – Exemplo 1: cabeçote de giro



Fonte: Autor.

Este projeto fictício é composto por seis peças relacionadas entre si por meio de interações de montagem mecânica que dão forma ao conjunto, podendo ser observado na Figura 16. Já a vista explodida do conjunto (Figura 17) permite visualizar, numerar e identificar cada peça, seguindo o modelo genérico da proposta.

Figura 17 – Exemplo 1: cabeçote de giro vista explodida



Fonte: Autor.

Seguindo com os passos da proposta de organização inicial das informações, a Tabela 7 possui a listagem de todas as peças envolvidas nesta montagem e dá a cada uma um código numérico único no processo de cruzamento e nas descrições das relações de montagem.

Tabela 7 – Nomes das peças do conjunto cabeçote de giro

Nº peça	Nome da Peça
1	Roldana
2	Pino “R”
3	Cabeça de Giro
4	Mão Francesa
5	Base de Fixação
6	Eixo

Fonte: Autor.

O conjunto possui peças especificadas no projeto que exigem interações de montagens mecânicas que devem ser levadas em consideração na realização dos passos de montagem de maneira correta e com ferramentas que garantam a união destas peças. Assim, é necessário obter o máximo de informações sobre estas peças e suas relações de montagem.

Para tal, foi realizada uma análise técnica sobre o desenho do projeto, que proporcionou extrair tais informações que servirão de base para a elaboração dos processos, codificação e cruzamento de dados.

4.1.1 Descrições das relações de montagem entre peças do conjunto 1

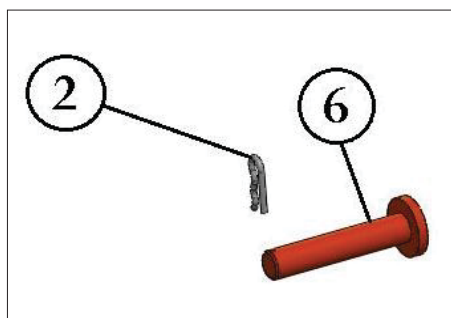
Para haver entendimento do funcionamento do conjunto denominado Cabeçote de Giro e das peças que o integram, serão descritas as relações de montagem entre as peças. Esta descrição é uma análise das relações mecânicas do projeto, considerando que estas descrições deverão preencher as tabelas propostas no Capítulo 3, organizando as informações para posterior reutilização destes dados de acordo com o modelo de aplicação.

➤ Montagens com o Eixo

A interação que deve haver entre as peças Pino “R” (2) e o Eixo (6), é realizada para que em caso de haver desgaste no eixo, o mesmo permaneça em sua posição inicial, montado na Cabeça de Giro.

O Pino “R” (2) deve ser montado com auxílio de um alicate universal, atravessando completamente o orifício que existe na extremidade do Eixo (6) (Figura 18).

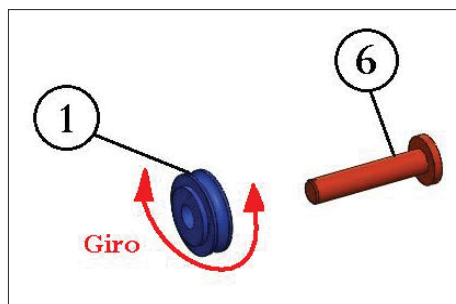
Figura 18 – Conjunto pino “R” e eixo



Fonte: Autor.

Ainda ao Eixo (6) deve ser montada a Roldana (1) que possui a capacidade de girar livremente esta montagem é feita sem auxílio de ferramentas ou seja de maneira manual de acordo com a Figura 19.

Figura 19 – Conjunto roldana e eixo

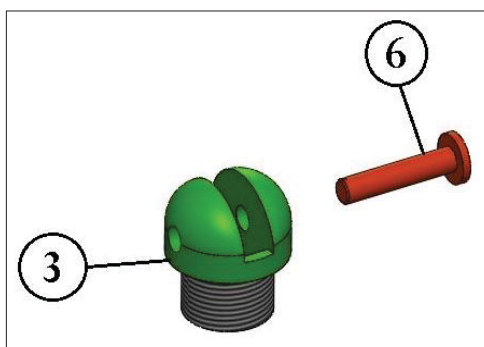


Fonte: Autor.

➤ Montagens com Cabeça de Giro.

A montagem entre o Eixo (6) e a Cabeça de Giro (3) ocorre por meio da concentricidade da furação lateral da Cabeça de Giro (3) e esta montagem é realizada manualmente, sem auxílio (Figura 20).

Figura 20 – Conjunto cabeça de giro e eixo



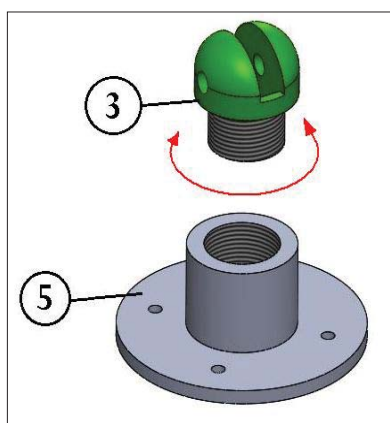
Fonte: Autor.

A montagem entre o conjunto Cabeça de Giro (3) e Base de Fixação (5) é feita por meio de rosqueamento entre as duas peças – a rosca externa da base da Cabeça de Giro (3) e a rosca interna da Base de Fixação (5) – e para realizar este rosqueamento é necessário que a Base de Fixação (5) esteja totalmente estática para que a Cabeça de Giro (3) possa ser

rosqueada.

Como esta montagem exige cuidados especiais e não existem ferramentas comerciais para fazer tal tarefa, ela é realizada por meio de ferramenta especialmente desenvolvida para este fim. Esta ferramenta possui encaixes que se fixam na Cabeça de Giro (3) e realizam a rotação de rosqueamento na Base de Fixação (5) (Figura 21).

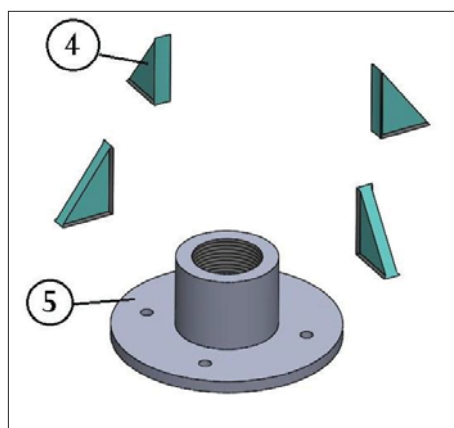
Figura 21 – Conjunto cabeça de giro e base de fixação



Fonte: Autor.

A montagem entre a Base de Fixação (5) e as peças de reforço nominadas de Mão Francesa (4), deve ser realizada com auxílio de um gabarito de posicionamento para as quatro peças Mão Francesa (4), e para fixar as mesmas é necessário soldá-las à Base de Fixação (5) (Figura 22).

Figura 22 – Conjunto mão francesa e base de fixação



Fonte: Autor.

4.1.2 Análises das operações de montagem do conjunto 1

Após a análise das informações extraídas das relações de montagem e posterior descrição, pode-se extrair as relações obrigatórias, que devem ser listadas e codificadas para o conjunto Cabeça de Giro (3) (Tabela 8).

Tabela 8 – Relações de montagem do conjunto cabeçote de giro

Forma de Montagem	Simbologia Adotada
Montagem Concêntrica	<i>O</i>
Rosqueamento	<i>R</i>
Encaixe simples	<i>E</i>
Soldagem	<i>S</i>

Fonte: Autor.

As relações de montagem têm a finalidade de tornar peças aleatórias um conjunto montado e funcional. Para que isso seja possível, a Tabela 9 lista as ferramentas necessárias para que as relações de montagem sejam realizadas de maneira correta. É importante ressaltar que estas ferramentas devem ser usadas no momento em que as peças serão unidas na linha de montagem do produto final ou em qualquer outra linha.

Tabela 9 – Relações de equipamentos para montagens do conjunto cabeçote de giro

Ferramenta Necessária	Simbologia Adotada
Ferramenta Especial	<i>1</i>
Soldador	<i>2</i>
Alicate Universal	<i>3</i>
Mãos	<i>4</i>

Fonte: Autor.

As ferramentas de montagem são imprescindíveis para a montagem e, a partir disto, são configurados os módulos e a linha de montagem.

Como descrito no Capítulo 3, podem existir empecilhos que impeçam de realizar os passos de montagem como bem se entende, obrigando, em alguns casos, que existam passos prioritários. Quando isto é necessário, deve existir a informação de que a peça exige tal necessidade e esta informação assumirá o padrão de código da Tabela 10.

Tabela 10 – Ordem básica de montagem do conjunto cabeçote de giro

Forma Especial de Montagem	Simbologia Adotada
Impede montagem e outros componentes (tem prioridade)	<i>I</i>
Não impede montagem de outros componentes	<i>N</i>

Fonte: Autor.

Após o levantamento completo das propriedades relevantes à montagem do conjunto completo, o subitem 4.1.3 segue a metodologia e realiza os procedimentos de cruzamento e geração de códigos.

4.1.3 Matriz cruzamento do conjunto 1

A organização dos dados obtidos pela coleta de informações e as codificações realizadas nas Tabelas 8, 9 e 10, agora permitem, na matriz da Tabela 11, um cruzamento seguindo o Modelo de Aplicação apresentado.

Desta forma, a interação entre as peças que integram o conjunto do Cabeçote de Giro (3) relaciona peça por peça e obtém os códigos referentes às propriedades de cada interação, dando, ainda, a estes códigos, endereço dentro da Matriz Cruzamento, proporcionando, desta maneira, retrabalhar estas informações codificadas.

Tabela 11 – Cruzamento entre peças do conjunto cabeçote de giro

	1	2	3	4	5	6
1						O4N
2						E3N
3					R1N	O4N
4					S2N	
5			R1N	S2N		
6	O4N	E3N	O4N			

Fonte: Autor.

Os códigos gerados pelas interações proporcionam perceber a diversidade de uniões que podem ser realizadas na linha de montagem em estudo. Deve-se levar em consideração, entretanto, que as determinações de participação nas ações de montagem da linha projetada podem excluir códigos que possuem propriedades excludentes.

4.1.4 Propriedades excludentes do conjunto 1

Neste ponto devem ser introduzidas as características que não devem integrar a linha de montagem do produto estudado. Estas propriedades podem representar relações de montagem entre peças, equipamentos para montagem e ordem de montagem.

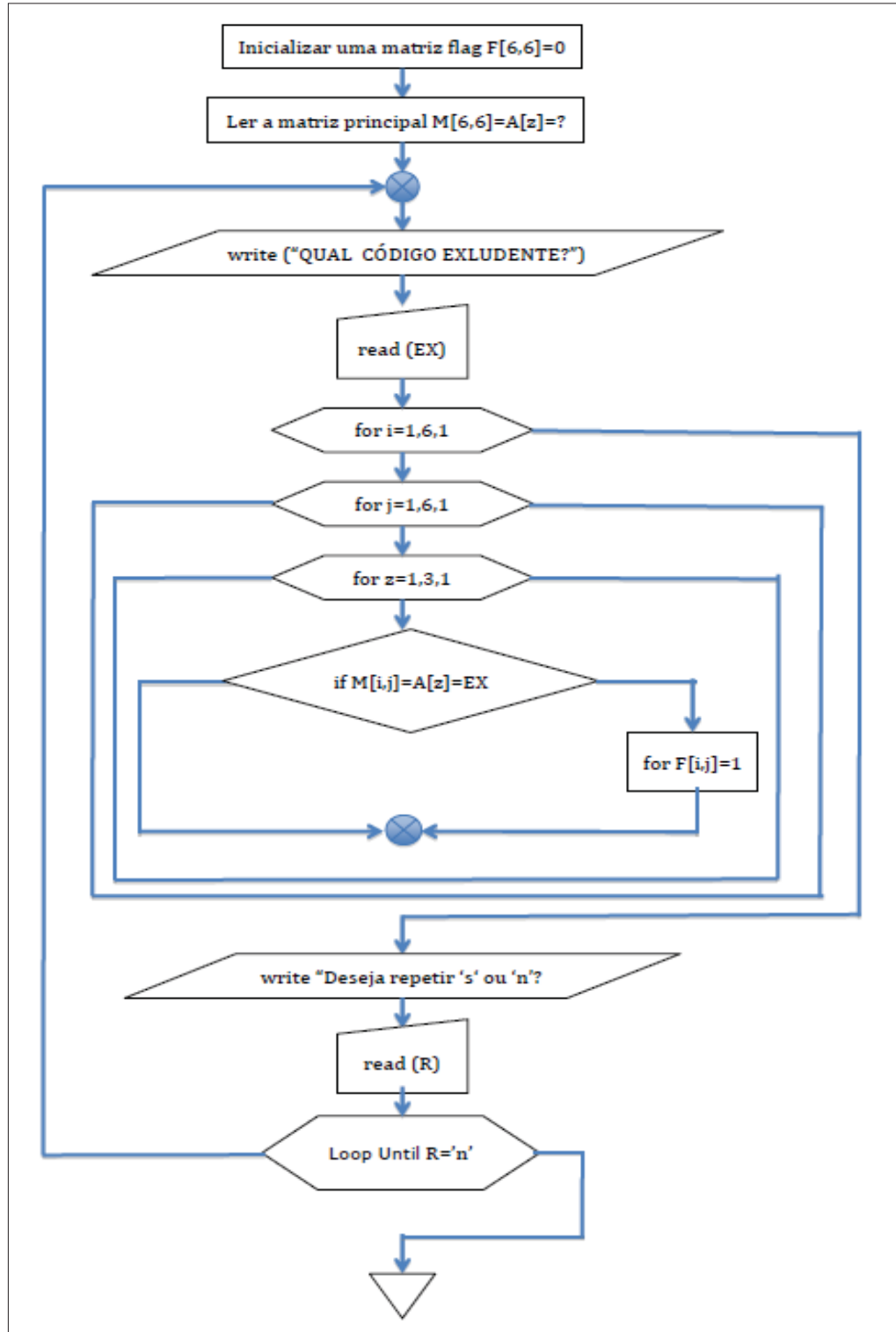
No caso da linha de montagem do conjunto Cabeçote de Giro, optou-se por não possuir em sua linha de montagem o processo de solda e, para possibilitar o processamento da lógica comparativa entre os códigos gerados pela Matriz Cruzamento e esta Propriedade excludente, esta propriedade deve ser codificada da seguinte forma:

- *Solda – S*

Assim, nesta condição, não deve haver processos que possuam a solda como processo de montagem excluindo os códigos que possuem a letra “S” em sua composição. Como citado no Capítulo 3, deve-se realizar uma lógica que compare e exclua tais códigos.

Após alimentar o programa com os códigos cruzamento e os códigos de explosão, o programa encarrega-se de excluir os códigos gerais que possuem alguma característica excludente por meio da lógica condicional (Figura 23).

Figura 23 – Lógica de programação do conjunto 1



Fonte: Autor.

A lógica de programação tem como ideia receber os códigos que estão contidos na Matriz Cruzamento e compará-los com os códigos excludentes que foram inseridos quando a lógica solicita para escrever os “EX”, representativo do processo de soldagem. Assim, o resultado da análise realizada, como descrito na Metodologia, é uma matriz que relata quais códigos receberão o numeral 1, indicador de que aquele código fará parte da montagem. A Tabela 12 mostra um exemplo de resultado da Matriz Cruzamento.

Tabela 12 – Matriz resultado do conjunto cabeçote de giro

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0
6	1	1	1	0	0	0

Fonte: Autor.

Relacionando os respectivos endereços A_{ij} dos resultados da Matriz Cruzamento com os dados da Matriz Resultados, obteve-se os códigos que poderão fazer parte da linha de montagem. Em resumo, os códigos do exemplo estudado foram listados na Tabela 13.

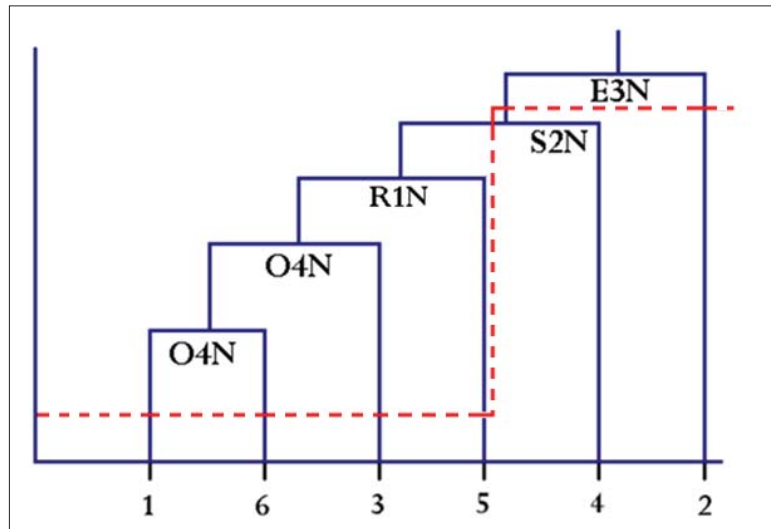
Tabela 13 – Resumo dos códigos selecionados do conjunto cabeçote de giro

Posição A_{ij} na Matriz	Código
16 = 61	O4N
26 = 62	E3N
35 = 53	R1N
36 = 63	O4N

Fonte: Autor.

Levando em consideração que o gráfico dendograma (Figura 24) representa uma sequência de montagens realizadas por 5 passos e que o corte (linha vermelha) que intercepta as linhas das peças (azul) realiza um desvio quando se aproxima do código “S2N”, sinaliza-se que ali existe um código que não é desejado para a linha de montagem.

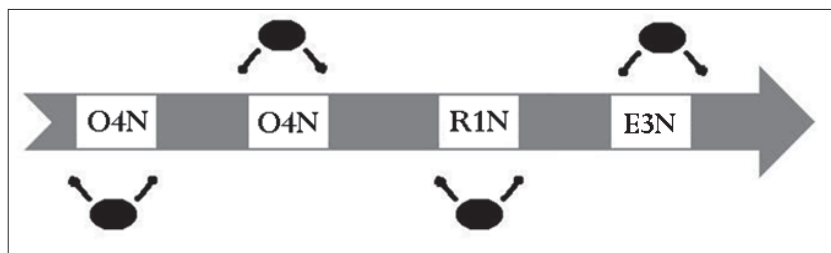
Figura 24 – Dendograma resultado para o conjunto cabeçote de giro



Fonte: Autor.

Seguindo com a proposta do modelo, após a obtenção do resultado em formato dendograma pode-se criar a linha representativa desta interação. Assim, a linha para o exemplo da Figura 24 fica apenas com os passos de montagem que possuem os processos desejados, excluindo aquele passo que, por ventura, venha a contrariar as condições iniciais impostas à linha (Figura 25).

Figura 25 – Linha resultado

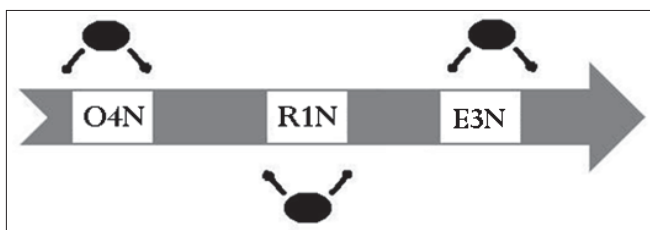


Fonte: Autor.

Analisando o resultado para a linha, que possui para esta proposta um total de quatro passos de trabalho, percebe-se que nos dois primeiros passos existe uma repetição de operações e ferramentas, ou seja, o mesmo código “O4N”. Desta forma, existe a possibilidade de unir estes passos em um único, tornando a linha mais compacta e ainda mais otimizada,

ficando exemplificada pela Figura 26, que se aproveita da possibilidade de reutilização das ferramentas e mão de obra.

Figura 26 – Linha resultado final para cabeçote de giro



Fonte: Autor.

O conjunto cabeçote de giro, desenvolvido com a finalidade de exemplificar o método proposto por este trabalho, proporcionou, além de verificar cada um dos passos, ainda a instituição de uma parte da automação já desenvolvida, resultando no processo de criação de opções de linha de montagem que oferecem a visualização no formato de flecha com os códigos que resumem operação e ferramentas de cada passo.

Logo, de forma geral, a proposta proporciona agilidade e acerto de previsão, uma vez que considera sua lógica de funcionamento, propriedades muitas vezes antagônicas, como necessidades de projeto e possibilidades de fabricação e, ainda, sem desconsiderar qualquer propriedade de projeto que possa ser alterada a qualquer momento, oferecendo mais opções de linhas resultantes.

4.2 Descrição do conjunto 2

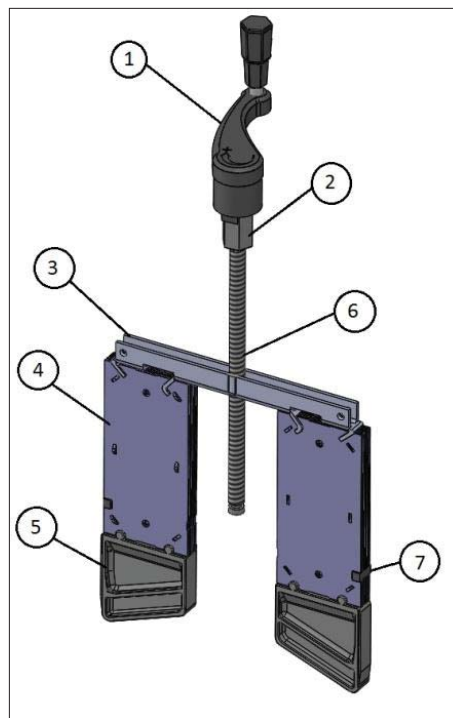
Para demonstrar a proposta que o presente trabalho propõe de maneira manual, sem haver qualquer automatização de processo, foi escolhido um dispositivo modularizado composto por peças montadas e que têm a finalidade de integrar um equipamento de porte maior.

Trata-se de uma pré-montagem de um equipamento. Desta forma, o dispositivo descrito como *núcleo móvel* servirá como corpo de prova para evidenciar os passos necessários para se propor, ao fim, algumas propostas de linha de montagem a este conjunto, atingindo o objetivo principal deste estudo.

Para tal demonstração, tomamos como exemplo um conjunto de peças montadas (Figura 27) descrito como Núcleo Móvel, no qual existem sete peças denominadas de acordo com a Tabela 14. Estas peças integram-se de maneira única no conjunto por meio de associações predeterminadas em projeto.

Servindo como base para a geração de possibilidades, o entendimento das relações existentes entre as peças é fundamental para este passo. Na sequência descreve-se as relações existentes entre os pares de peças.

Figura 27 – Conjunto exemplo de núcleo móvel



Fonte: Autor.

Tabela 14 – Nomes das peças do conjunto núcleo móvel

Nº da peça	Nome da Peça
1	Manivela
2	Haste Sextavada
3	Alça do Núcleo
4	Pacote Núcleo Móvel
5	Prolongador Núcleo Móvel
6	Haste Roscada
7	Espaçador

Fonte: Autor.

Desta forma, estas peças se dispõem de maneira a realizar suas funções se mantendo de acordo com o predeterminado no projeto mecânico, adquirindo, desta forma, o desenho premeditado, e assim podendo se afirmar a necessidade de montagem que este conjunto exige para ser produzido de maneira correta.

4.2.1 Descrições das relações de montagem entre peças do conjunto 2

Tendo em vista que para se elaborar uma linha de produção é fundamental conhecer o conjunto que será montado para que se possa determinar qual a melhor configuração de linha de montagem, é necessário obter as características de cada peça e as relações que existem entre elas, pois isto será de grande importância para o bom desempenho do método proposto.

Sendo assim, seguindo, descreveremos informações sobre as peças do conjunto Núcleo Móvel e as relações de montagem, além de outros informes que se tornam importantes para as futuras tomadas de decisões.

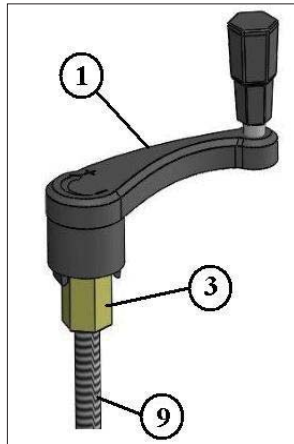
➤ Montagem com Haste Sextavada

As descrições a seguir são baseadas na Figura 27 e na Tabela 14, que relacionam os nomes das peças e seu formato.

A Haste Sextavada (2) relaciona-se diretamente com duas peças, a Manivela (1) e a Haste Roscada (6).

A montagem entre a Haste Sextavada (2) e a Manivela (1) se dá pela extremidade da haste sextavada e o furo sextavado interno da Manivela (1), como pode ser visto na Figura 28. Para que se evite um desacoplamento indesejado existe uma certa interferência entre estas peças e, por isto, a operação de montagem entre elas deve ser realizada por pancadas auxiliadas de um martelo de borracha.

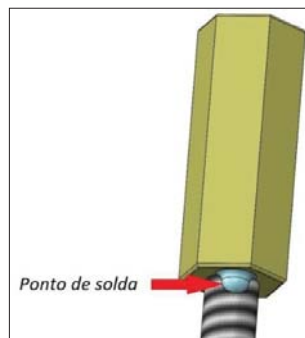
Figura 28 – Manivela



Fonte: Autor.

Já na relação de montagem entre a Haste Sextavada 2 e a Haste Roscada (6) a montagem se dá pela rosca externa da haste e a rosca interna que existe na Haste Sextavada 2. Nesta montagem, entretanto, deve haver um ponto de solda, indicado na Figura 29. Este ponto de solda tem a finalidade de realizar uma união estática entre as roscas mantendo o sextavado sobre a haste e impedindo que o sextavado seja desrosqueado da haste. Para realizar a roscagem é utilizada uma chave $\frac{3}{4}$ de polegada, a qual aproxima a haste ao fim da rosca interna do sextavado; por fim é realizado um ponto de solda.

Figura 29 – Ponto de solda



Fonte: Autor.

➤ Montagem com Haste Roscada

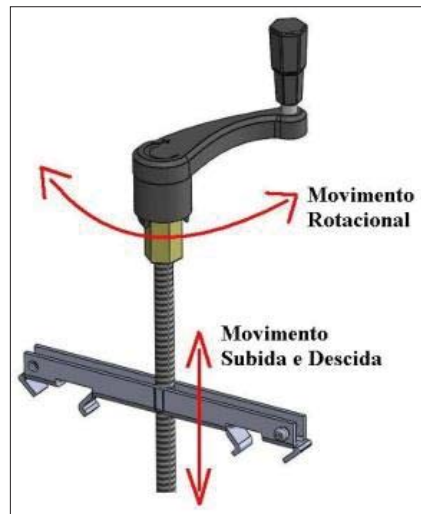
Além da relação de montagem existente entre a Haste Sextavada (2) e a Haste Roscada

(6), existe uma montagem com a Alça do Núcleo Móvel (4), e esta montagem está baseada na Figura 27 e na descrição da Tabela 14.

A Haste Sextavada (20) é responsável por receber o torque empregado pelo operador à Manivela (1) e transmitir este torque para a Haste Roscada (6), fazendo-a girar.

Já a relação de montagem da Haste Roscada (6) e da Alça do Núcleo Móvel (3), ocorre pela rosca externa da Haste Roscada (6) e a rosca interna da Alça do Núcleo Móvel (3) e, dessa forma, quando a manivela é rotacionada ela possui a função de transformação do movimento rotacional em movimento linear de subida e descida do Núcleo Móvel (3), como demonstrado na Figura 30.

Figura 30 – Relação de movimentos entre alça núcleo móvel e haste rosca



Fonte: Autor.

As montagens entre a Haste Roscada (6), Alça do Núcleo Móvel (3) e Haste Sextavada (2) são realizadas manualmente sem auxílio de ferramentas sem maiores esforços.

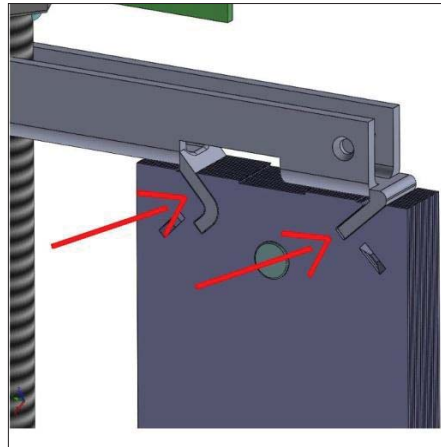
➤ **Montagem com Pacote Núcleo Móvel**

A peça Pacote Núcleo Móvel (4) é um conjunto pré-montado que chega à fabricação para agregar o conjunto Núcleo Móvel. A este Pacote Núcleo Móvel (4) são montadas três peças: A Alça do Núcleo Móvel (3), Prolongador do Núcleo Móvel (5) e o Espaçador do Núcleo Móvel (7).

A Alça do Núcleo Móvel (3) é responsável por receber o torque da Haste Roscada (6) e, por meio dos encaixes assinalados pelas setas na Figura 31, transmite o seu movimento linear de subida e descida ao conjunto.

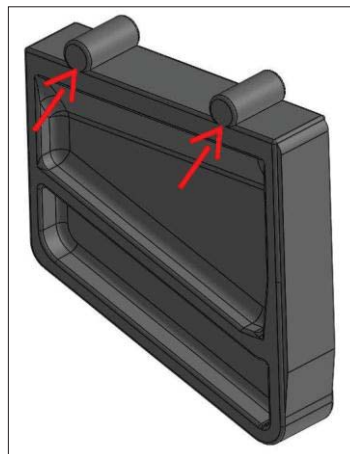
O Prolongador do Núcleo Móvel (5) é montado ao Pacote do Núcleo Móvel (4) por intermédio dos encaixes que foram detalhados na Figura 32. Para esta montagem ser possível existe a necessidade de um dispositivo especificamente desenvolvido para este fim. Este dispositivo deverá prensar o Prolongador do Núcleo Móvel (5) com os encaixes existentes no Pacote Núcleo Móvel (4).

Figura 31 – Indicação dos encaixes entre núcleo móvel e alça do núcleo móvel



Fonte: Autor.

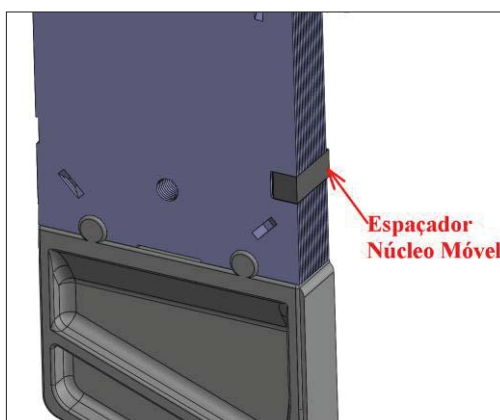
Figura 32 – Encaixes do prolongador do núcleo móvel



Fonte: Autor.

Já a montagem projetada entre o Espaçador do Núcleo Móvel (7) e o Pacote do Núcleo Móvel (5) é feita por meio do mesmo equipamento tipo prensa, desenvolvido para a montagem entre o Pacote Núcleo Móvel (4) e o Prolongador do Núcleo Móvel (5). Sendo assim, estas peças permanecerão em suas posições por interferência dos encaixes indicados pela seta na Figura 33.

Figura 33 – Detalhe do espaçador núcleo móvel montado ao pacote



Fonte: Autor.

As descrições das relações de montagem descritas anteriormente para o exemplo escolhido exigem uma ordem básica para ocorrer, além de equipamentos específicos, muitas vezes não comerciais, que devem ser desenvolvidos para o tal produto, tornando a tarefa de montar algo específico e com necessidades especiais. Todas estas características devem ser levadas em consideração no momento em que se decide realizar a fabricação do conjunto.

4.2.2 Análises das operações de montagem do conjunto 2

Tendo em vista a necessidade de se conhecer o produto que se pretende produzir, foi realizada a extração das informações que são fundamentais para que se consiga atingir esta meta. Ao se analisar a descrição das montagens das peças que integram o conjunto Núcleo Móvel, todavia, se percebeu as inúmeras peculiaridades de montagem que são essenciais para o bom funcionamento do conjunto.

Estas características foram pinçadas e listadas de maneira manual de acordo com a proposta do trabalho. Após o resgate das informações descritas no subitem 4.2.1, obteve-se

principalmente as relações existentes entre peças, além das ferramentas necessárias e o procedimento de codificação das informações (Tabelas 15, 16 e 17).

Tabela 15 – Relações de montagem do conjunto núcleo móvel

Forma de Montagem	Simbologia Adotada
Soldagem	<i>S</i>
Interferência	<i>F</i>
Rosqueamento	<i>R</i>
Encaixe simples	<i>E</i>

Fonte: Autor.

Tabela 16 – Relações de equipamentos para montagens do conjunto núcleo móvel

Ferramenta Necessária	Simbologia Adotada
Chave sextavada $\frac{3}{4}$	<i>1</i>
Martelo Borracha	<i>2</i>
Montagem Manual	<i>3</i>
Prensa Especial	<i>4</i>
Máquina de Solda MAG	<i>5</i>

Fonte: Autor.

Tabela 17 – Ordem básica de montagem do conjunto núcleo móvel

Forma de Montagem	Simbologia Adotada
Impede montagem de outros componentes	<i>I</i>
Não Impede montagem de outros componentes	<i>N</i>

Fonte: Autor.

Desta forma, as informações referentes às ordens de montagem e equipamentos necessários para realizar as relações projetadas, são reorganizadas de maneira sucinta permitindo a aplicação na Matriz Cruzamento, cruzando as informações de cada conjunto.

4.2.3 Matriz cruzamento do conjunto 2

Esta matriz tem por finalidade realizar os cruzamentos entre peças, simulando as relações entre elas. Nos quadros em que as peças se cruzam são adicionadas as informações já codificadas e se possui a lista completa. O mesmo foi feito às linhas desta matriz, para que, assim, todas as peças fossem analisadas entre si. As peças que não tinham relação direta, entretanto, tiveram seu espaço na matriz em branco, equivalendo a um elemento nulo (Tabela 18).

Tabela 18 – Cruzamento entre peças do conjunto núcleo móvel

	1	2	3	4	5	6	7
1		$F2n$					
2	$F2n$					$S5n$	
3				$E3n$		$R3n$	
4			$E3n$		$F4n$		$F4n$
5				$F4n$			
6		$S5n$	$R3n$				
7				$F4n$			

Fonte: Autor.

Desconsiderando os espaços em branco ou nulos, toda a descrição da necessidade de montagem estabelecida no projeto 3D ficou resumida a um local (a_{ij}), podendo ser facilmente trabalhada pelos métodos de programação.

4.2.4 Propriedades excludentes do conjunto 2

Seguindo a mesma orientação do Modelo de Aplicação, é necessário determinar as características que não devem integrar a linha de montagem do produto, seja por motivos intrínsecos ao processo, capacidade técnica ou até a política da empresa. Neste passo representa-se as relações de montagem entre peças, equipamentos para montagem e ordem de montagem, que não devem integrar a linha em estudo.

No caso da linha de montagem do conjunto Núcleo Móvel, foram levantadas as seguintes relações que são possíveis de se realizar nesta linha: Soldagem e Interferência.

Na geração de códigos estes processos são codificados da seguinte forma:

- Soldagem – “S”
- Interferência – “F”

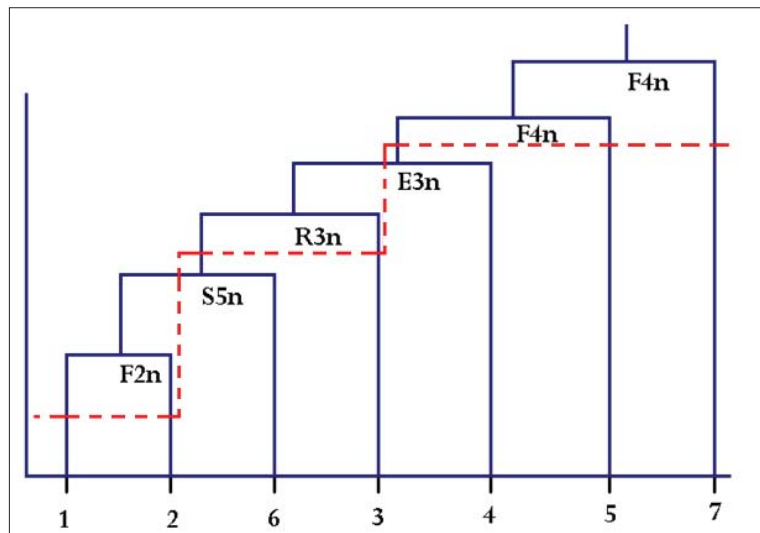
A partir da determinação de não haver processos que possuam estas duas características, deve-se excluir os códigos que possuam em sua composição “S” ou “F”, realizando um desvio no corte do dendograma quando algum processo possuir os códigos de exclusão. Desta forma, fica assegurado que nos processos de montagem estipulados pelo corte não existam os processos de Soldagem e Interferência.

Seguindo com os passos da proposta o dendograma deve ser construído a fim de tornar os dados relacionados na Tabela 18 mais graficamente analisáveis, deixando o trabalho de geração de possibilidades de forma mais intuitiva e menos matemática.

Para tal, o dendograma une as peças em pares, formando a disposição ou ordem com que esta montagem deve ocorrer pelos pontos de união, representando propriedades mecânicas intrínsecas a cada união, e ainda se deve realizar cortes no gráfico dendograma, posto que estes cortes podem não ser lineares e, neste passo da análise, encontra-se o momento da definição da linha de montagem.

O dendograma oferece inúmeras possibilidades de análise e trabalhos, tornando possível elaborar sequências de montagem que levem em consideração excluir os códigos que possuïrem em sua composição “S” ou “F”, que correspondem ao processo de Soldagem e Interferência. Assim, o dendograma assume o formato da Figura 34.

Figura 34 – Dendograma com corte não linear



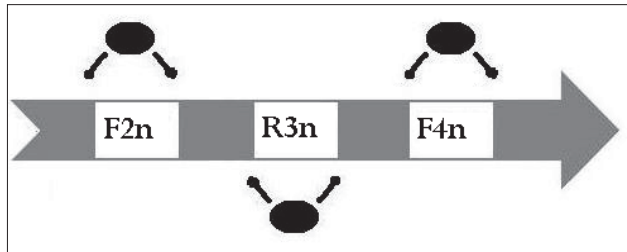
Fonte: Autor.

Como resultado deste corte, obtém-se uma proposta de montagem que foi elaborada com o propósito de se reutilizar mão de obra e equipamentos diretamente na linha, e ainda possibilitando elaborar opções diversas que possam ser analisadas.

Observando o dendograma, foi elaborada a proposta de linha determinada pelo corte não linear, e conclui-se que são necessários três postos diferenciados, levando em consideração que o código “F4N” se repete no penúltimo e último passo, possibilitando que ambos sejam unidos em um único passo e os outros códigos encontram-se descritos no centro da flecha (Figura 35).

Os conjuntos formados pelos processos que possuem os códigos excludentes, entretanto, fazem parte do conjunto, mas devem chegar à linha devidamente montados para que, assim, se obtenha o produto de acordo com o projeto.

Figura 35 – Montagem não linear



Fonte: Autor.

Criada a opção de linha de montagem para a condição proposta de não haver processo de soldagem e interferência, é possível realizar os passos da metodologia usando novas condições de exclusão. A possibilidade de gerar quantas opções de linhas de montagem o usuário julgar necessário, permite para ele realizar um julgamento dentre as opções.

Desta forma, a metodologia não soluciona os problemas automaticamente, mas permite que a experiência e desejo do utilizador da ferramenta permaneçam como fundamental no processo de análise, não excluindo as tomadas de decisão deste utilizador.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista que o presente trabalho se refere a uma proposta de metodologia, existem inúmeros progressos a serem realizados ao longo de novos conceitos e aplicações, mas o que se pode perceber ao aplicar a metodologia é que existiram dificuldades em encontrar bibliografias que tratassem do desenvolvimento de linhas de montagem de maneira premeditada, ou seja, processos que fossem semelhantes à proposta. Desta forma, percebeu-se que existe uma grande lacuna no mercado para que esta metodologia venha a ser aplicada.

Ainda no que diz respeito ao processo como um todo, a geração de linhas de montagem mostrou-se uma atividade que necessita grande conhecimento do produto e dos processos que se pretende desenvolver ou que a empresa dispõe. Isto já era previsto. O que se observou, no entanto, é que a metodologia propõe a organização destes processos, propiciando que sejam criadas quantas classificações desejar.

A possibilidade de automatizar o processo de maneira geral, entretanto, é o grande diferencial da proposta, uma vez que, no momento que isto se torna realidade, a geração de códigos se torna algo fácil e muito mais preciso.

Por fim, o método deve passar por melhorias para que seu estabelecimento se torne totalmente justificável, mas já mostra que existe a possibilidade de melhorias, e que a evolução dependerá muito mais da criação de um programa computacional que inclua a rotina de coleta dos dados do projeto do que da interpretação dos resultados que o método gera.

5.1 Considerações finais

É de extrema importância durante a fase de projeto, seja ele de um produto ou da linha de produção, uma boa ferramenta que permita reduzir custos de ferramental, componentes e tempo de montagem. Por isso, a possibilidade de visualizar de maneira simples os passos e processos em muitos casos, pode melhorar a qualidade e a quantidade produzida, tendo em vista que quanto maior a possibilidade de premeditar os acontecimentos menor será a incidência de problemas.

Partido da premissa de que o conhecimento dos processos e das características de montagem são fundamentais para haver sucesso na geração das possibilidades de linha de montagem, a forma de organização que se propôs foi a encontrada para garantir que existisse

esta possibilidade. Organizar as informações em tabelas e codificando cada relação facilita o entendimento e propicia a inclusão de quantos elementos forem desejados.

Além das informações listadas e codificadas, os cruzamentos foram o meio desenvolvido para que as interações entre as peças fossem realizadas de maneira precisa e sem erros, ocasionados por descuidos. Ainda, realizar estes cruzamentos por intermédio de matrizes ofereceu a possibilidade de endereçar cada resposta, tornando-a de fácil identificação e resgate para que os passos posteriores ocorressem com as informações corretas.

Ainda considerando que no processo de projeto tradicional de um conjunto apenas são consideradas as relações entre pares de elementos e os processos de montagem não são abordados, o presente trabalho possibilita ultrapassar tais limites ao considerar os processos excludentes em sua estrutura de construção. Desta forma os processos excludentes propiciam maior interação entre a fábrica e o projeto, mediante o cruzamento entre o conhecimento sobre o produto e o conhecimento do processo de produção.

Já no âmbito da aplicação da metodologia, a possibilidade de aplicação do método manualmente ou de maneira automática propicia a sua flexibilidade e, certamente, pode ser atualizado e adaptado a inúmeros setores da indústria, sempre oferecendo clareza das sequências de montagem usando uma linguagem descomplicada.

O trabalho propõe, contudo, a possibilidade de automação de parte do processo de geração de linhas de montagem. Este passo poderá proporcionar grande avanço para a técnica, pois o mesmo propicia a geração de quantas possibilidades interessarem, considerando que a parte mais trabalhosa de análise pode ser realizada de maneira direta e facilitada.

Nessa direção, o desenvolvimento teórico deste método reaproveitou os dados contidos em projetos mecânicos e tornou o modo matemático de análise uma forma mais visual e direta de resultados. Assim, estas novas informações, interpretadas por qualquer setor da indústria, favorecem tomadas de decisão que estejam relacionadas ao desenvolvimento de linhas de montagem.

A ampla possibilidade de aplicação e de automação e a simplicidade de visualização que este método proporciona, tornam estes processos aptos a empresas de qualquer porte, pois o mesmo apenas necessita de estudo do produto e da empresa, o que, na maioria das situações, já é realidade.

Ainda no que diz respeito à aplicação, o método auxilia não apenas na geração de possibilidades de montagem, que é o foco principal, mas também propicia à fábrica ou

empresa analisar se o investimento em um novo produto tornar-se-á um investimento retornável e lucrativo, pois visualizar a linha de montagem possibilita saber quais equipamentos serão necessários, quantas pessoas integrarão a linha de montagem e, ainda, quais processos deverão ser terceirizados de acordo com as exclusões destes.

5.2 Trabalhos futuros

A proposta de metodologia proposta neste trabalho sugere a utilização de diversos passos para que se atinja o objetivo principal e o desenvolvimento de opções de linha de montagem. Foram desenvolvidas, entretanto, algumas sugestões para que, em trabalhos futuros, este método possa ser atualizado, automatizado, possibilitando que mais empresas se interessem por sua utilização.

Para que este método se torne ainda mais prático, a coleta das informações referente às interações de montagem mecânica deveria ser buscada de maneira automática nas bases de dados dos programas de projeto. Esta evolução seria ponto fundamental para que o método se torne totalmente automatizado, reduzindo drasticamente o tempo do processo de criação.

Como sugestões para as empresas que utilizarem o método, pode-se implementar um sistema de documentação dos resultados com adequações realizadas com relação ao método ou à linha de produção, pois, com estas informações, são possíveis melhorias no processo.

Também é possível, com maior número de resultados, fazer uma análise das vantagens e desvantagens da inclusão deste método no projeto de linhas de montagem e, assim, determinar a influência do *layout* no processo produtivo com base no desenvolvimento de produtos adaptados a esta linha.

É interessante, ainda, aplicar o *software* DFMA em conjunto com o método MFD, ampliando o foco quanto à manufatura e à montagem.

Quanto ao corte realizado no dendograma, seria de grande valia que o mesmo pudesse ser realizado de maneira automatizada, à medida que se alteram parâmetros como o código excludente, pois, atualmente, não existe nenhuma possibilidade de realizar o corte não linear de forma automática.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. J. Estudo e escolha de metodologia para o projeto conceitual. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 8, n. 16, p. 31-42, 2000.
- BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise de multivariada**. Lavras: Ufla, 2003. 157p.
- BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed. São Paulo: Blucher. 2011. 344p.
- BLACKENFELT, M. **Managing complexity by product modularization**. 2001. 90f. Thesis – Department of Machine Design, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2001.
- DONI, M. V. **Análise de cluster: métodos hierárquicos e de particionamento**. 2004. Monografia (Bacharel em Sistemas de Informação) – Faculdade de Computação e Informática, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.
- ENOCHSSON, A. Advantages and disadvantages of product platforms. In: THE 4TH STUDENT CONFERENCE ON DEVELOPMENT OF MODULAR PRODUCTS, 2006, Borlänge. *Anais...* Borlänge: Högskolan Dalarna, 2006. p. 9-16.
- ERIXON, G. **Modular Function Deployment – A Method for Product Modularization**. 1998. Thesis – Dept. Of Manufacturing Systems, The Royal Institute of Technology, Stockholm, 1998.
- ERIXON, G.; YXKULL, A. V.; AMSTRÖM, A. Modularity – the Basis for Product and Factory Reengineering. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v. 45, n. 1, p. 1-6, 1996.

FIXSON, S. K. UNIVERSITY OF MICHIGAN. The Multiple Faces of Modularity: A Literature Analysis of a Product Concept for Assembled Hardware Products. Disponível em: <http://ioe.engin.umich.edu/techrprt/pdf/TR03-05.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2014.

JOSÉ, A.; TOLLENAERE, M. Using modules and platforms for product family development: design and organizational implications. In: FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE IN INTEGRATED DESIGN AND MANUFACTURING IN MECHANICAL ENGINEERING (IDMME), 2004, Reino Unido. *Anais...* Reino Unido: University of Bath, 2004.

MILLER, T. D.; ELGARD, P. Defining Modules, Modularity and Modularization: Evolution of the Concept in a Historical Perspective. In: DESIGN FOR INTEGRATION IN MANUFACTURING, PROCEEDINGS OF THE 13TH IPS, 1998, Aalborg. *Anais...* Aalborg: Aalborg University, 1998.

MIKKOLA, J. H. Product architecture design: implications for modularization and interface management. In: WORKSHOP “ORGANIZING PROCESSES OF LEARNING”, 2000, Denmark. *Anais...* Denmark: Copenhagen Business School, 2000. p. 1-27.

MUFFATTO, M.; ROVEDA, M. Product architecture and platforms: a conceptual framework. **International Journal of Technology Management**, v. 24, n. 1, p. 1-16, 2002.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design**. A systematic Approach. 2. ed. Great Britain: Springer, 1996. 544p.

PINE, B. J. **Personalizando produtos e serviços**: customização maciça, a nova fronteira da competição dos negócios. São Paulo: Makron, 1994. 334p.

RODRIGUES, E. A.; CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C. Uma investigação sobre a relação entre o projeto do produto e produção em uma montadora automotiva e fornecedores de motores que adotam a modularidade. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 337-339, 2012.

ROSA, M. A.; BRUN, A. L.; KIEL, G. Ferramenta multiplataforma para construção automática de dendogramas a partir de imagens de eletroforese. **Revista de Exatas e Tecnológicas – Retec**, Rondonópolis, v. 2, p. 1-10, 2011.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.

SANCHEZ, R. Using modularity to manage the interactions of technical and industrial design. **Design Management Journal**, v. 2, n. 1, p. 8-19. 2002.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM; CCNE, 2005.