

UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA PLANEJAMENTO INTERATIVO DE PROCESSOS DE MONTAGEM

Paulo César Stadzisz

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CPGEI
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba, PR, Brasil
stadzisz@lit.citec.cefetpr.br

Aurélio Meneghelo Jr.

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CPGEI
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba, PR, Brasil
meneghello@5rm5de.eb.mil.br

***Resumo.** Este trabalho apresenta um método e uma ferramenta computacional desenvolvidos para auxílio ao planejamento da montagem de produtos compostos. O método é interativo envolvendo a participação de um especialista em processos de montagem. A intenção é realizar um exame sistemático de todas as alternativas de montagem de um produto (ou família de produtos). O especialista acompanha o processo de planejamento e fornece informações sobre a viabilidades de determinadas operações de montagem estabelecendo restrições técnicas ou estratégicas. O método emprega estas restrições para avaliar automaticamente a viabilidade de outras operações reduzindo o esforço do especialista e acelerando o processo de planejamento. Esta abordagem semi-automática para o planejamento tem se mostrado mais realística do que a automatização completa do processo.*

***Palavras-chaves:** Sistema de Montagem, Planejamento da Montagem, Processo de Montagem*

1. INTRODUÇÃO

O aumento da concorrência entre as empresas, intensificado nas últimas décadas, tem influenciado as técnicas utilizadas na manufatura de produtos. Pressões por redução de custos de fabricação, atendimento a datas precisas de entrega e demanda por diversificação e customização de produtos têm se intensificado. Novas abordagens foram concebidas, como sistemas ágeis e inteligentes de produção incorporando características de flexibilidade para atender a customização dos tipos de produtos e variabilidade da demanda.

O desenvolvimento de sistemas de manufatura envolve a aplicação de diversas técnicas relacionadas à definição dos recursos de produção necessários e, também, ao planejamento dos processos de fabricação a serem executados através destes recursos. No caso de sistemas de montagem, o planejamento de processos é uma atividade de especial importância em muitas indústrias devido ao seu impacto nos custos e na complexidade do sistema de produção.

Diferentes seqüências de fabricação implicam diferentes formas de orientação, manipulação e operação sobre as peças no intuito de gerar produtos finais compostos. Por consequência, a definição de um plano de montagem, no qual define-se a ordem das operações de montagem, afeta diretamente a estruturação e performance do sistema de montagem, assim como os custos de fabricação.

Nas indústrias, o processo de geração e seleção das seqüências de montagem é, geralmente, realizado de maneira empírica e não exaustiva no qual um especialista procura resgatar estratégias de montagem anteriores e adaptá-las a novas situações. Considerando o número de possibilidades de seqüências de montagem (que pode ser muito grande até para um produto com poucos componentes), a seqüência definida pode não ser a mais eficaz resultando custo de produção e/ou tempos de fabricação maiores. Muitas vezes, a dimensão do problema mascara a existência de soluções melhores do que a que foi encontrada.

A aplicação de um método sistemático de planejamento, aliado à utilização de ferramentas computacionais de suporte, pode contribuir para o planejamento de processos de montagem na busca das melhores estratégias. Este trabalho propõe um método sistemático de planejamento de montagem que permite tratar tanto o caso mono quanto o caso multi-produtos.

2. TRABALHOS EM PLANEJAMENTO DA MONTAGEM

O planejamento de processos de montagem não é uma atividade trivial em razão da possibilidade de existência de um grande número de soluções alternativas, principalmente quando os produtos são formados pela união de muitos componentes primários. Além disso, a avaliação das operações assim como dos planos de montagem alternativos requer análises técnicas com esforço considerável. Estes aspectos tornam impraticável um planejamento manual extensivo de processos de montagem para produtos que comportem mais de algumas dezenas de componentes primários.

Muitos estudos sobre técnicas e modelos para dar suporte ao planejamento da montagem já foram desenvolvidos e podem ser encontrados na literatura. Os primeiros trabalhos de sistematização do planejamento da montagem foram desenvolvidos por Alain Bourjault⁽¹⁾ na França e por T. De Fazio e D. E. Whitney⁽²⁾ nos EUA. As abordagens propostas eram similares: construir um modelo de representação do produto, indicando seus componentes e conexões, e aplicar algoritmos de análise do modelo para geração das seqüências de montagem admissíveis.

Trabalhos mais avançados surgiram a partir de 1989 com as propostas de J. M. Henrioud⁽³⁾ na França e L. S. Homem de Melo⁽⁴⁾ nos EUA. Os modelos de representação de produtos passou a ser mais detalhado incluindo não apenas os componentes mas também as operações requeridas sobre as peças e solidarizações (meios de conexão das peças). Sistematizou-se, também, o processo de planejamento através de algoritmos de decomposição (*cut-sets*) para geração exaustiva das alternativas de montagem.

Trabalhos seguintes ⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾ passaram a abordar, também, a questão do planejamento da montagem de famílias de produtos. Neste caso, o planejamento torna-se mais complexo uma vez que pretende-se montar mais de um tipo de produto, como uma família de produtos similares, através do mesmo sistema de fabricação. A intenção é aproveitar um mesmo sistema de fabricação para a montagem de um conjunto de produtos compartilhando, tanto quanto possível, os recursos de fabricação da planta.

Uma abordagem mais tradicional consiste em realizar, separadamente, o planejamento para cada tipo de peça e, então, definir um plano de montagem que unifique os planos individuais em um único plano de montagem genérico para todos os tipos de produtos. Outra abordagem é construir um modelo unificado de representação dos produtos e, então, realizar o planejamento da montagem sobre o modelo unificado, considerando-se as restrições existentes. Esta abordagem é mais convergente do que a anterior pois o planejamento é realizado uma única vez levando-se em conta todos os tipos de produtos da família.

3. MODELO E MÉTODO PROPOSTOS

O método proposto para planejamento da montagem é baseado em uma abordagem de unificação, ou seja, o planejamento é realizado sobre um único modelo de produto descrevendo um ou mais tipos de produto. O método é interativo, envolvendo a intervenção de um especialista para responder questões

relacionadas à viabilidade de determinadas operações de montagem. A Figura 1 apresenta os passos principais do método de planejamento proposto.

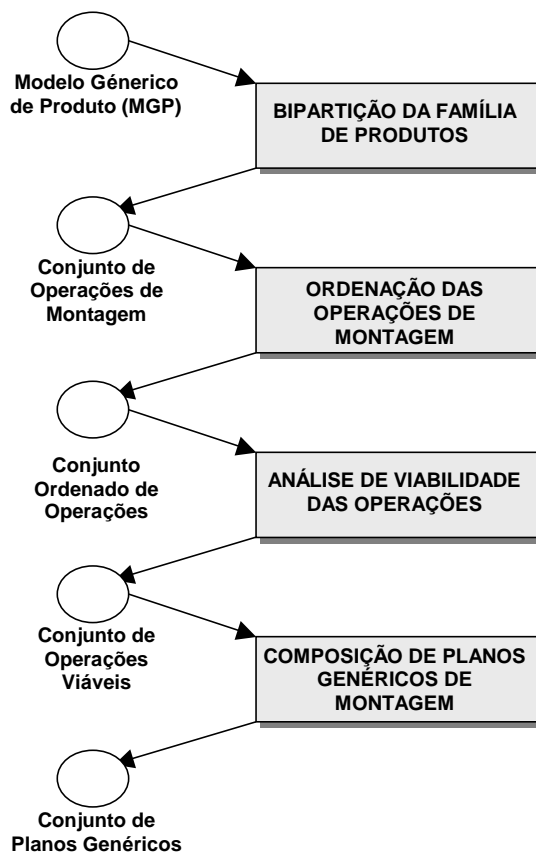


Figura 1: Visão geral do processo de planejamento da montagem.

A partir do modelo genérico de produto (que contém a descrição dos componentes e ligações mecânicas), é realizado um processo de partição do grafo gerando pares de subgrafos que representam submontagens. Cada par de submontagens pode ser entendido, em sentido inverso, como uma operação de montagem. O conjunto das operações de montagem é, então, ordenado em ordem crescente do número total de componentes envolvidos na operação. Ou seja, as operações mais simples estarão mais ao início da lista ordenada.

No próximo passo é feita uma análise semi-automática da viabilidade de todas as operações de montagem. Esta análise é feita operação por operação na ordem estabelecida no passo anterior. Para definir se uma operação de montagem é tecnicamente viável (poderia ser materialmente realizada) é feita uma pergunta a um especialista que responde se a operação é ou não viável e, senão, porque.

Quando uma operação não é viável é porque existe alguma restrição que impede ou dificulta extremamente sua realização. Estas restrições podem ser de quatro tipos conforme relacionado a seguir.

§ Restrição Geométrica

Inexistência de um caminho no espaço que permite que os dois componentes (ou submontagens) envolvidos na operação sejam montados.

§ Restrição de Estabilidade

Impossibilidade de manutenção da montagem realizada com os dois componentes (ou submontagens) em razão da falta de estabilidade da conexão.

§ Restrição Material

Impossibilidade de montagem em razão da dificuldade de uso de equipamentos ou ferramentas de manipulação e conexão.

§ Restrição Estratégica

Desejo explícito do especialista em descartar um certo tipo de montagem ou de privilegiar determinado tipo de montagem.

As respostas fornecidas pelo especialista são armazenadas formando um banco de dados de restrições que são, então, utilizadas para responder automaticamente questões relacionadas às outras operações, reduzindo progressivamente a número de perguntas a serem realizadas ao especialista. A partir do conjunto de operações obtido, realiza-se um processo de combinação das operações gerando os planos de montagem para o produto ou família de produtos.

O método é exaustivo garantindo que todas as possibilidades de montagem do produto tenham sido avaliadas com um esforço limitado do especialista. O resultado da aplicação deste método será um conjunto de planos de montagem alternativos. Este conjunto pode conter, entretanto, um número muito grande de planos exigindo um trabalho de comparação muito longo. Como solução, o método proposto permite que o especialista defina restrições estratégicas que descartem ou privilegiem certos aspectos da montagem como uma subsequência imposta de operações, um componente de base imposto, uma orientação imposta ou um grupo de componentes. Reutilizando-se a base de restrições já construída, pode-se repetir o processo de planejamento automaticamente obtendo-se um novo conjunto de planos de montagem que exclui os planos que não atendem as restrições impostas.

4. FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE PLANEJAMENTO

Uma ferramenta computacional denominada STAP (*Software Tool for Assembly Planning*) que implementa o método proposto foi desenvolvida neste trabalho. A Figura 2 apresenta uma visão geral do funcionamento do ferramenta destacando-se as fases de Entrada, Processamento e Saída.

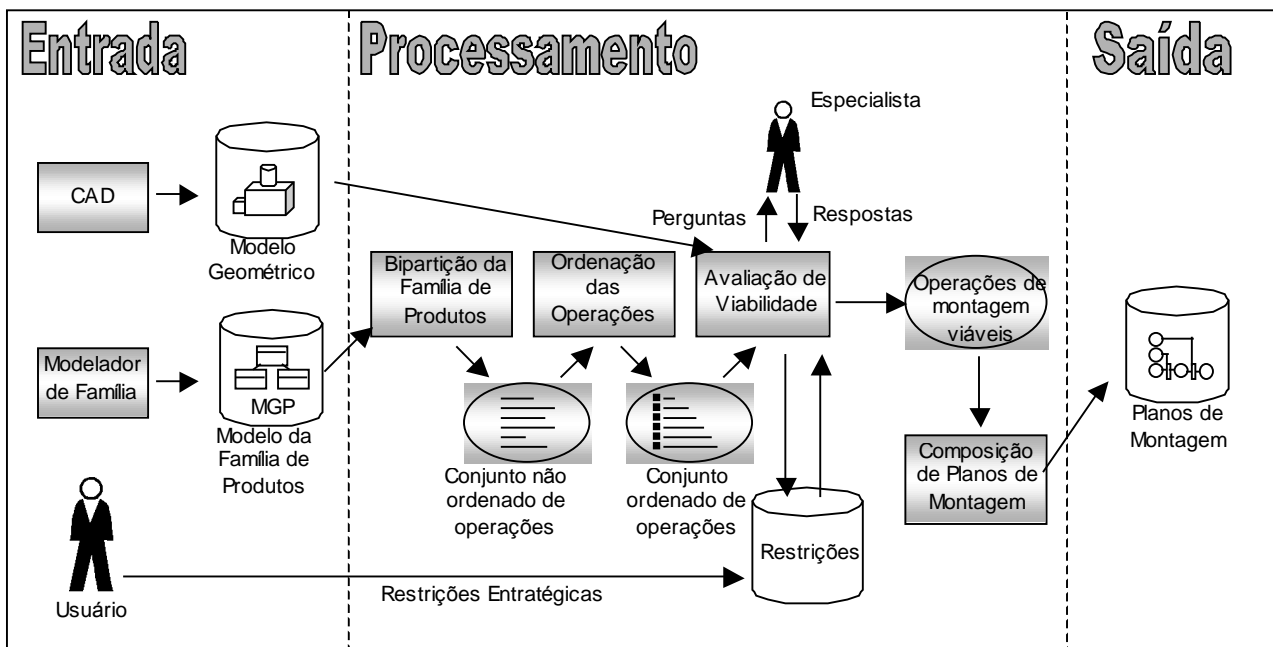


Figura 2: Visão geral da ferramenta de planejamento desenvolvida.

Os dados de entrada para o planejamento da montagem com STAP são o desenho e o modelo do(s) produto(s). O desenho do ou dos produtos é obtido na forma de modelos geométricos importados de sistemas CAD. No processo de importação é feita a identificação dos segmentos atribuindo-se um nome aos grupos de componentes gráficos que compõem cada peça do produto. Este nome é empregado para se fazer referências às peças e submontagens nos processos de montagem. O segundo dado de entrada é a especificação do modelo do produto. Este modelo contém a indicação das conexões mecânicas entre as peças e das solidarizações (solda, rebites, parafusos, colas, etc) necessárias para a composição do produto final. Como pode-se tratar mais de um produto (uma família de produtos) no planejamento da montagem,

desenvolveu-se um Modelo Genérico de Produtos (MGP)⁽⁶⁾ que permite uma descrição unificada de vários tipos de produtos em uma única representação.

A partir destes dados de entrada e de uma base de restrições (que pode iniciar vazia), inicia-se o processo de planejamento propriamente dito. Este processo envolve as atividades de bipartição, ordenação e avaliação de viabilidade das operações de montagens (conforme descrito a seguir).

Bipartição do Modelo de Produtos

Nesta fase, o modelo de produtos é automaticamente percorrido gerando-se o conjunto de todas as operações de montagem imagináveis através da realização de bipartições sucessivas do grafo de representação dos produtos. Cada bipartição é um corte (*cut-set*) do grafo de produtos que produz um par $OM=\{SM1, SM2\}$ de submontagens conexas. Neste processo de bipartição, restrições de montagem não são ainda consideradas. O conjunto resultante representa todas as possíveis operações de montagem para os produtos considerados. Este processo de bipartição é executado de forma top-down, isto é, do modelo completo dos produtos, bipartições são geradas e, então, as submontagens obtidas são também biparticionadas até que só se alcancem peças ou componentes individuais.

Ordenação das Operações de Montagem

Nesta fase, o conjunto de operação de montagem obtido anteriormente é classificado em ordem crescente do número de peças individuais envolvidas na operação. Esta ordenação das operações permite otimizar o processo de reuso das restrições de montagem durante a análise de viabilidade das operações de montagem. Desta forma, serão eliminadas as perguntas redundantes ao especialista. Esta técnica é especialmente útil para restrições geométricas. Se uma operação de montagem não puder ser realizada pois não existe um caminho no espaço que permite unir seus componentes na configuração desejada, então nenhum acréscimo de peças poderá resolver esta restrição. Determinando-se, então, uma restrição geométrica mínima, pode-se automaticamente descartar todo um conjunto de outras operações de montagem igualmente inviáveis.

Avaliação de Viabilidade de Operações de Montagem

A partir do conjunto de operações de montagem ordenado, inicia-se a análise de viabilidade das operações. A intenção é avaliar todas as operações obtidas e descartar as operações que não possam ser utilizadas na composição de planos de montagem. A execução desta atividade depende da participação de um especialista que irá interagir com a ferramenta computacional (STAP) respondendo a questões que serão automaticamente formuladas. A Figura 3 ilustra uma seção de trabalho com STAP mostrando o momento em que uma questão é feita ao especialista. Para auxiliar o especialista na análise de viabilidade, STAP mostra graficamente os dois componentes envolvidos na operação e o resultado final esperado. O especialista pode interagir (rotacionar, aproximar) com os modelos geométrica para sua análise.

Composição dos Planos Montagem

A composição dos planos de montagem é realizada automaticamente pela ferramenta STAP. Um algoritmo de combinação analisa todas as operações de montagem que possam ser combinadas para formar uma seqüência completa de montagem dos produtos estudados. Diversas seqüências finais podem ser produzidas, cada uma representando uma estratégia de montagem diferente. Deve-se notar que determinadas operações de montagem, mesmo sendo consideradas viáveis tecnicamente, não serão utilizadas pois não se encadeiam com as demais na formação de seqüências completas de montagem.

Se no fim do processo os resultados não forem satisfatórios para o especialista (nenhuma seqüência pode ser composta ou muitas seqüências foram geradas), pode-se refazer o processo a partir da análise de viabilidade reutilizando as restrições já definidas e incluindo-se ou eliminando-se determinadas restrições.

Neste processo, as restrições estratégicas têm um forte papel de filtro permitindo que o especialista oriente o processo de busca. Deve-se notar que, inserindo-se ou alterando-se restrições estratégicas, todo o processo de planejamento pode ser refeito automaticamente.

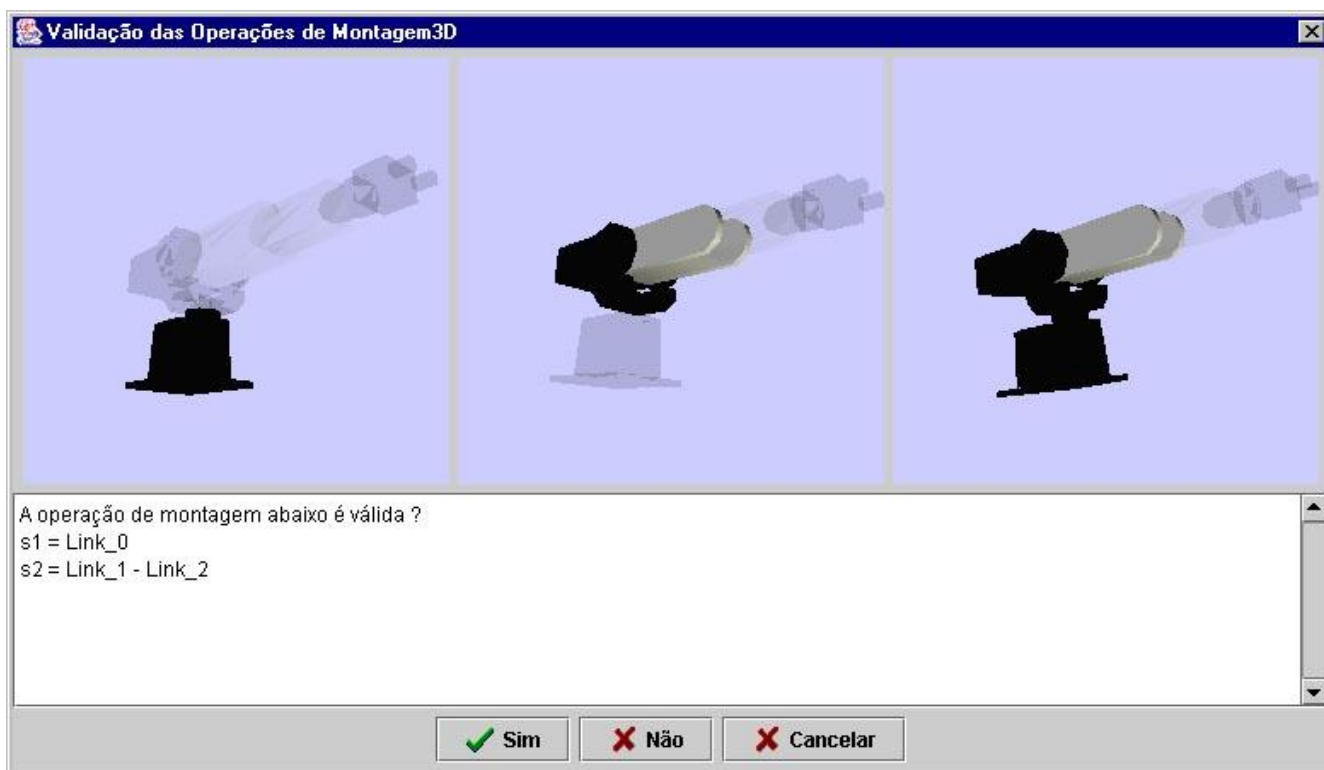


Figura 3 – Exemplo de interação com o especialista para validação de uma operação.

A Figura 4 apresenta um exemplo de janela de STAP mostrando planos de montagem resultantes do processo de planejamento.

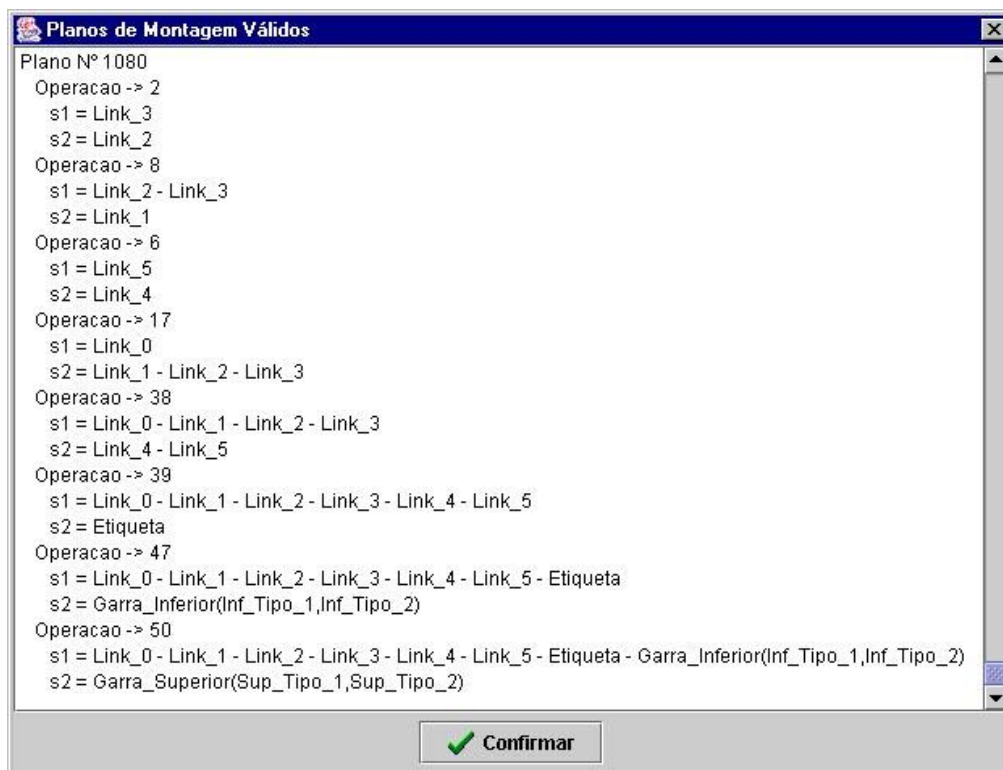


Figura 4 – Exemplo de plano de montagem resultante do processo de planejamento com STAP.

5. CONCLUSÃO

Apresentou-se neste artigo um método e uma ferramenta computacional para planejamento interativo (semi-automático) de planos de montagem para produtos compostos, incluindo-se o caso de famílias de produtos. O objetivo foi desenvolver um método para planejamento sistemático da montagem considerando-se todas as alternativas existentes. A intenção é poder oferecer uma certeza de que alternativas eficientes de fabricação não foram desprezadas em função da dimensão e complexidade do problema. A abordagem proposta pode representar uma ferramenta prática e poderosa em departamentos de engenharia em empresas de manufatura auxiliando o especialista em seu trabalho de planejamento da montagem.

6. REFERÊNCIAS

1. BOURJAUULT, A. **Contribution à une approche méthodologique de l'assemblage automatisé: élaboration automatique des séquences opératoires.** Tese de Doutorado, Université de Franche-Comté, França, 1984.
2. DE FAZIO, T., Whitney, D. E. Simplified generation of all mechanical assembly sequences, **IEEE Journal of Robotics and Automation**, RA-3 (6), p. 640-658, 1987.
3. HENRIOUD, J. M. **Contribution à la conceptualisation de l'assemblage automatisé: Nouvelle approche de la détermination des processus d'assemblage.** Tese de Doutorado, Université de Franche-Comté, França, 1989.
4. HOMEM DE MELLO, L. S. **Task sequence planning for robotic assembly.** Tese de Doutorado, Carnegie-Mellon University, USA, 1989.
5. DJEMEL, N.; P., Lutz; Bourjault, A. Flexible assembly systems design: modeling of a product family with a web grammar. **Proceedings of 10th IPSE-IFAC Intern./Conf. on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future**, Ottawa, Canadá, p. 63-68, 1992.
6. STADZISZ, P. C., Henrioud, J. M. Assembly planning in the design of flexible assembly systems, **Proceedings of the 5th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems (IMS)**, Gramado, Brazil, p. 153-158, 1998.
7. GUPTA, S., Krishnan, V. Product family-based assembly sequence design methodology, **IIE Transactions**, p. 933-945, 1998.
8. LIRA, A. F., Santos, A. M., Stadzisz, P. C. An assembly planning method for families of products, **International CIRP Design Seminar**, Haifa, Israel, p. 205-210, 2000.

A COMPUTACIONAL TOOL FOR INTERACTIVE ASSEMBLY PROCESS PLANNING

Paulo César Stadzisz

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CPGEI
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba, PR, Brasil
stadzisz@lit.citec.cefetpr.br

Aurélio Meneghelo Jr.

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CPGEI
Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba, PR, Brasil
meneghello@5rm5de.eb.mil.br

Abstract. *This paper presents a method and a computational tool to aid in the assembly planning of composed products. The proposed method is interactive involving an expert in assembly process. The goal is to systematically evaluate all the alternatives to assemble a given product or product family. The expert follows the planning process and provides information about the feasibility of certain operations defining technical or strategical constraints. The method uses these constraints to automatically evaluate other operations reducing the expert's effort. This semi-automatic approach seems to be more realistic than completely automated approaches..*

Keywords: *Assembly System, Assembly Planning, Assembly Process.*