

# SIMULAÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE FABRICAÇÃO EM INDÚSTRIAS DE MÓVEIS

**Fernando Cardoso Lucas Filho, Dr.**

UFAM - R. Dr. Danilo Gomes, 2196, CEP: 81750-070, [postmaster@technonline.com.br](mailto:postmaster@technonline.com.br)

**Lourival Boehs, Dr.**

EMC – UFSC – Cx Postal 476, CEP: 88049-900 – Florianópolis – SC. [boehs@emc.ufsc.br](mailto:boehs@emc.ufsc.br)

***Resumo.** A indústria de móveis brasileira participa com apenas 1% do comércio mundial de móveis. Essa pequena participação é atribuída a vários fatores, entre eles à baixa eficiência no processamento industrial da madeira. Neste cenário, torna-se premente o estabelecimento de parâmetros competitivos para as variáveis envolvidas nos processos de fabricação. A ineficiência produtiva se traduz numa elevada imobilização de capital em estoques de madeira e produtos em processamento. A redução dos tempos de setups pode contribuir para redução do lead time e dos estoques. Mas, para isso, é necessário conhecer o comportamento dos processos de fabricação e prever as melhores condições de operação ou, propor alterações para alcançar estes objetivos. O presente estudo, a partir da simulação de um modelo de operações, busca identificar os parâmetros de usinagem que conduzam à melhorias nos indicadores de qualidade e produtividade. O modelo do sistema de fabricação foi construído baseado em dados fornecidos por nove fábricas do pólo moveleiro de São Bento do Sul, SC, onde as condições de corte adotadas nos processos de usinagem e suas respectivas medidas de desempenho formaram a base de dados utilizada na análise. Com a simulação, foi possível selecionar os parâmetros de usinagem que conduzem à melhorias no lead time produtivo e na eficiência dos processos. Assim, a modelagem e a simulação dos processos de usinagem contribuíram para a redução de desperdícios, aumentando a qualidade e a produtividade, delimitando restrições e capacidades de acordo com as mudanças nos parâmetros de usinagem.*

Palavras-chave: Planejamento, melhoria, simulação, processos, fabricação, móveis.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de móveis de madeira no Brasil vem apresentando crescimento contínuo nos últimos dez anos (ABIMÓVEL<sup>(1)</sup>). Mas apesar desses índices favoráveis e de apresentar disponibilidade de mão-de-obra relativamente barata e abundância de matéria-prima, a indústria de móveis do Brasil participa com apenas 1% do comércio mundial de móveis de madeira, que é estimado em cerca de US\$ 80 bilhões/ano (ABPM<sup>(2)</sup>).

Segundo NAUMANN<sup>(3)</sup>, COUTINHO<sup>(4)</sup>, e SOUZA<sup>(5)</sup> essa pequena participação pode ser atribuída a alguns fatores básicos como, ausência de um *design* próprio e mais atraente, organização industrial pouco desenvolvida, cultura industrial atrasada, ausência de certificação ambiental, ausência de estratégias comerciais competitivas e tecnologia de fabricação ineficiente, gerando maiores custos de produção e altos índices de perdas na produção além do baixo nível da qualidade final dos produtos. Porém, para melhorar os processos de fabricação, é necessário compreender a interação entre as propriedades da madeira e os recursos utilizados para sua transformação em produtos manufaturados. Para isso, a análise das operações é fundamental para identificar pontos de melhoria e avaliar a viabilidade técnica e econômica do uso de espécies de madeira ainda pouco utilizadas.

A vantagem competitiva dos grandes países exportadores de móveis, tais como Itália e Alemanha (NAUMAN<sup>(3)</sup>), está baseada principalmente no uso intensivo de moderna tecnologia de fabricação, o que permite altos ganhos em produtividade e qualidade, uma organização industrial desverticalizada, baseada no associativismo e cooperação entre os elos da cadeia produtiva e a execução de um *design* diferenciado.

Diante deste cenário, surgiu a necessidade de desenvolver pesquisas que busquem melhorar o desempenho dos processos de fabricação. A definição das relações de dependência entre as respostas do sistema de manufatura e as variáveis que contribuem para a eficiência do mesmo, possibilita identificar fatores tecnológicos responsáveis pela má utilização da madeira e o seu melhor equacionamento visando atingir a competitividade e a sustentabilidade da atividade.

Para a Associação Brasileira de Produtores de Madeira (ABPM<sup>(2)</sup>), é importante que as empresas avancem na capacidade de manufatura de forma a conseguirem produtos de menor custo, elevada qualidade e flexibilidade produtiva. Para BONDUELLE<sup>(6)</sup>, ALMEIDA<sup>(7)</sup> e TOMASELLI<sup>(8)</sup>, a indústria de transformação da madeira apresenta deficiência competitiva causada, entre outros fatores, pela má gestão dos recursos produtivos, principalmente em empresas de pequeno e médio porte. Segundo os mesmos autores, há necessidade da integração entre o projeto de produtos e um sistema de gestão do processo mais eficaz como forma de resolver o problema.

Por outro lado, a caracterização tecnológica da usinabilidade das espécies de madeira para fabricação de móveis conduz ao dimensionamento de processos de fabricação mais eficientes. Essas informações facilitam o planejamento e controle da produção mediante a avaliação e o monitoramento do desempenho dos processos. O conhecimento do desempenho do conjunto máquina-ferramenta para cada operação e para cada combinação peça-ferramenta-condição de corte permite o estabelecimento de parâmetros competitivos para o processo de usinagem, tais como a melhor geometria para cada ferramenta, as melhores condições de corte e os materiais mais adequados para que se alcance o melhor desempenho no processo de transformação da madeira em móveis ou componentes. Assim, partir da análise das respostas de um modelo de simulação representativo dos processos de transformação da madeira de nove fábricas do pólo moveleiro de São Bento do Sul, SC, buscou-se projetar o desempenho dos processos de usinagem de modo a contribuir com a identificação dos parâmetros de usinagem que conduzam a melhorias na tecnologia de fabricação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Várias pesquisas têm abordado a análise de sistemas produtivos na industrialização da madeira, entre elas as desenvolvidas por BONDUELLE<sup>(6)</sup>, TOMASELLI<sup>(8)</sup>, FARIAS<sup>(9)</sup> e SILVA<sup>(10)</sup>. Estes estudos fazem o levantamento de indicadores das áreas de atuação para obter-se a melhoria dos processos produtivos. Porém, não estabelecem valores de referência que orientem a manutenção das variáveis envolvidas na usinagem da madeira dentro dos limites de controle do processo.

Várias outras pesquisas foram direcionadas para os processos básicos de usinagem e seus avanços, incluindo estudos da interação entre material da ferramenta e material da peça, o desenvolvimento de máquinas utilizadas no processamento da madeira, os métodos de avaliação da qualidade da superfície usinada, utilizando mecanismos ópticos, o monitoramento e controle dos processos utilizando indicadores como potência consumida, emissão acústica e, por fim, a avaliação do efeito das propriedades da madeira sobre o desgaste.

Entre os principais estudos destes temas estão as pesquisas desenvolvidas por SZYMANI *et al.*<sup>(11)</sup> e LEMASTER *et al.*<sup>(12)</sup>.

Porém, no atual estado da arte e da tecnologia sobre o assunto, ainda há necessidade de gerar alternativas para a melhoria da eficiência dos processos de transformação industrial da madeira, o que se traduz em menor desperdício de recursos produtivos, redução dos custos de produção e melhoria da qualidade dos produtos fabricados, além de uma melhor compreensão das relações de causa e efeito entre as variáveis envolvidas na usinagem da madeira (condições de corte, espécie de madeira, geometria e materiais das ferramentas) necessárias ao correto dimensionamento e planejamento do sistema de fabricação em termos do cumprimento dos padrões competitivos de desempenho.

A geração das informações sobre o desempenho do conjunto máquina-ferramenta-madeira para cada processo de usinagem em condições de fabricação, pode fornecer o suporte informacional necessário à fase de planejamento do processo produtivo e a subsequente melhoria da eficiência da manufatura de móveis e componentes de móveis de madeira.

### 3. METODOLOGIA

Para a análise dos processos de fabricação de móveis foram coletados dados referentes à usinagem da madeira em nove fábricas do pólo moveleiro de São Bento do Sul - SC.

Os dados incluíram informações sobre as variáveis envolvidas na melhoria do processo de usinagem. Eles foram obtidos nos setores de engenharia, programação e controle da produção (PCP), controle de qualidade e manutenção. Em cada processo foram levantadas informações sobre os tempos decorridos entre as falhas de equipamento, o *lead time* do sistema, tempos de operação, volumes de produção, número de *setups*, roteiros de produção, capacidades e limitações dos recursos produtivos, configurações de ferramentas e máquinas, condições de corte e espécies de madeira e correlacionados com os respectivos indicadores de qualidade e de produtividade.

O levantamento de dados buscou cobrir toda a variação envolvida nas operações e nos eventos associados ao sistema para, desse modo, configurar parâmetros de entrada (geometria e material da ferramenta, espécies de madeira, condições de corte) e suas relações com as respostas do sistema de manufatura (vida da ferramenta, índice de rejeição, produtividade dos processos de corte, fresamento e furação) com respeito a alterações nos parâmetros de entrada.

Para a simulação dos processos de usinagem foram realizadas observações preliminares com o intuito de facilitar e sistematizar a coleta de dados relevantes para o modelo, tais como identificação dos tipos de entidades, eventos associados e atributos das entidades.

Os passos da modelagem seguiram o roteiro proposto por BANKS e CARSOM<sup>(13)</sup>, PEDGEN *et al.*<sup>(14)</sup> e LAW e KELTON<sup>(15)</sup> para garantir que o modelo computacional fosse confiável e estivesse isento de erros de sintaxe e/ou de lógica e tenha um comportamento semelhante ao do sistema real para permitir inferências.

O modelo do sistema produtivo passou por um processo de validação com o objetivo de verificar, no ambiente fabril, a melhoria ou não do desempenho dos processos de usinagem de acordo com as mudanças nas condições de corte utilizadas e nas espécies de madeira usinadas e relaciona-los com os indicadores de qualidade e de produtividade.

O modelo foi analisado a partir de uma macro-visão, ou seja, foi visto como uma espécie de “caixa-preta”. Para fins de observação não foi considerado o comportamento interno, mas apenas e tão somente, os resultados produzidos.

A realização dessas comparações, nas quais foi utilizado *teste t*, permitiu comprovar as influências de cada variável na eficiência do processo de usinagem e, a partir deste ponto, estabelecer padrões de desempenho para cada conjunto madeira-ferramenta, fora dos quais, as operações de usinagem apresentam baixo desempenho em qualidade e produtividade.

O número de replicações dos experimentos simulados foi definido de acordo com o intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ), ou seja, os limites de erros aceitáveis, da dispersão dos dados obtidos do sistema real e do tipo de sistema modelado.

### 4. RESULTADOS

A partir da simulação dos processos de fabricação foi possível determinar os efeitos das mudanças nas condições de usinagem sobre a capacidade de produção do sistema.

Para simplificação da análise, foi utilizado um modelo que reproduz o processo de fabricação de uma lateral de gaveta. Neste modelo, seis operações realizam a transformação da madeira nesta peça. A dimensão do corte foi considerada igual a 1 metro na direção de avanço para cada processo, com exceção da furação que teve uma dimensão de corte igual a 10 cm. Isso é importante para dimensionar o tempo de máquina e definir a vida da ferramenta em cada processo. A Figura 1 apresenta o fluxo de operações utilizado no modelo. No modelo do sistema são utilizadas seis máquinas, onde são alterados apenas os parâmetros de usinagem das ferramentas em cada processo.

Os dados gerados na simulação do modelo dos processos foram comparados com os dados reais com a finalidade de validar o modelo. A diferença entre os dados simulados e os dados reais mostra a precisão do modelo em representar o funcionamento do sistema real. No modelo proposto, cada máquina corresponde a uma estação de trabalho cada uma com a função de realizar apenas uma operação. Para avaliação da melhoria, foram comparados os resultados obtidos a partir da simulação com dados do sistema real, fornecidos pelos fabricantes e resultados obtidos a partir da alteração dos parâmetros de usinagem. O modelo, representado na Figura 1, procurou reproduzir o comportamento do sistema real quando são alterados estes valores. Para comparação, foram alteradas a velocidade de corte e a massa específica da madeira.

A medida de desempenho utilizada na simulação foi o número de peças produzidas durante a vida da ferramenta.

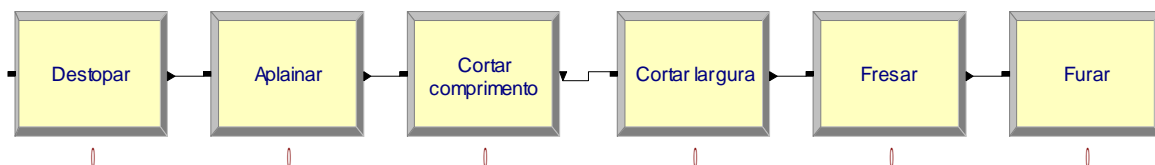


Figura 1 – Fluxo de processos de usinagem para a produção de uma lateral de gaveta.

A capacidade de cada processo de usinagem foi limitada pela vida de cada ferramenta, sendo aqui considerado que as máquinas irão produzir apenas um produto, não havendo, portanto, necessidade de troca de ferramentas devido ao *mix* de produtos. A capacidade de produção dos processos em conjunto foi limitada pelo processo onde a velocidade de transformação e a vida da ferramenta foram as menores, ou seja, apresentaram os maiores tempos de processamento e o maior número de *setups*.

Com o objetivo apenas de evidenciar o efeito das mudanças das condições de corte no sistema de fabricação, o modelo considerou as movimentações entre as estações de trabalho uma constante de valor igual 1 minuto e desconsidera os *buffers* à frente de cada processo.

As capacidades das máquinas no modelo de simulação foram representadas pelos tempos necessários para a usinagem de cada peça em cada operação e elas aumentam ou diminuem conforme a alteração dos parâmetros de usinagem. As capacidades foram simuladas seguindo uma distribuição normal com desvio padrão igual a 10% da capacidade média de cada processo. Por exemplo, no processo de destopo da madeira de jequitibá, com massa específica média de  $0,78 \text{ g/cm}^3$  para uma velocidade de corte de  $36,65 \text{ m/s}$ , velocidade de avanço de  $8,4 \text{ m/min}$  e uma espessura de cavaco de  $0,05 \text{ mm}$  o tempo de máquina médio foi de  $0,12$  minutos com desvio padrão de  $0,012$  minutos em torno da média. Na simulação o tempo de manipulação da madeira (tempo manual) nos processos foi considerado uma constante igual  $0,1$  minuto, buscando, desse modo, evidenciar o efeito da alteração dos parâmetros de usinagem sobre as medidas de desempenho. Assim foi possível visualizar as filas à frente das estações de trabalho quanto são alterados os parâmetros de usinagem. O processo limitador da capacidade do sistema de transformação foi o fresamento e nele foram realizadas as alterações das condições de usinagem para avaliar o impacto das mudanças sobre número de peças produzidas, *lead time* e número de *setups*.

O tamanho e o número de lotes (ritmo de entrada de ordens de fabricação) foi mantido constante para que as velocidades de processamento não fossem alteradas em função da demanda, mas comparados os resultados apenas em função da alteração das condições de usinagem.

O sistema foi simulado para um período igual ao da vida da ferramenta no processo de fresamento. Então, quando foram alterados os parâmetros de usinagem, a vida das fresas foi alterada e, por conseguinte, os resultados do sistema de fabricação. Para verificar o número de *setups*, foi estimado o número de *setups* para o funcionamento do sistema pelo período de seis meses ( $57600$  minutos). A Tabela 1 mostra os resultados obtidos para as situações em estudo.

Utilizando dados reais dos processos em estudo no modelo de simulação foi possível obter os seguintes resultados quando foram alteradas as condições de corte e a espécie de madeira.

Tabela 1 – Resultados da simulação quando são alterados os parâmetros de usinagem.

Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Velocidade de corte (v <sub>c</sub> ) (m/s)	Peças produzidas	Número de <i>setups</i>
0,41	39,27	227	50
0,75	39,27	188	92
0,41	47,12	121	60
0,75	47,12	101	110

O *lead time* do sistema produtivo só foi reduzido significativamente quando os tempos de processamento, de movimentação, manuseio e esperas foram reduzidos. Assim, quanto menor o número de *setups*, menor o tempo parado com esperas para trocas de ferramentas e quanto maior a velocidade de corte, maior a velocidade de processamento e menor o *lead-time*. A correta seleção dos parâmetros de usinagem na simulação mostrou que houve um aumento do número de peças produzidas durante a vida da ferramenta de modo que o tempo gasto com paradas para trocas de ferramentas foi diluído pela maior escala de produção.

## 5. CONCLUSÕES

A melhoria dos processos foi alcançada com a diminuição da diferença entre a usinagem de madeiras duras e madeiras de menor massa específica utilizando maiores velocidades de corte. Ou seja, para maiores velocidades de corte, houve uma redução do efeito da espécie de madeira sobre o número de peças produzidas durante a vida da ferramenta.

Diante dos valores obtidos na simulação pode-se concluir que os resultados deste trabalho permitem identificar os principais fatores envolvidos na melhoria do desempenho dos processos de usinagem, facilitar a identificação das relações entre os parâmetros de usinagem e as medidas de desempenho do sistema de transformação, bem como, determinar as melhores configurações para as diferentes combinações de ferramenta-espécie de madeira-condições de corte utilizadas nos vários processos de transformação da madeira em peças e componentes de móveis, contribuindo, desta forma para a melhoria da tecnologia de fabricação, da eficiência produtiva e, por conseguinte, para a competitividade do setor.

## 6. REFERÊNCIAS

1. ABIMOVEL. Boletim: móveis e tecnologia. 2002.
2. ABPM. Mercado internacional mostra potencial para produtos brasileiros. **Wood Magazine**. n. 47, p.5. jan./fev.1998.
3. NAUMANN, L. Tecnologia como fator de competitividade na indústria madeireira. **Wood Magazine**, v. 5, n.3, p 19-23. 1998.
4. COUTINHO, LUCIANO “*Design* como Fator de Competitividade na Indústria Moveleira”. NEIT/ UNICAMP. **Relatório setorial SEBRAE – FINEP- ABIMOVEL**, São Pulo, 1999.
5. SOUZA, P. Viabilidade de exploração da Madeira em florestas tropicais. **Wood Magazine**, v3, n. 4, Curitiba, p. 16-19, 1999.
6. BONDUELLE, Arnaud.; **Usinagem, material de corte e desgaste do gume**. Curso de Engenharia Industrial Madeireira e Programa de Pós-graduação em Eng. Florestal, UFPR, Curitiba, 2000.
7. ALMEIDA, Alcir R. B. Reengenharia florestal: necessidade perante a evolução do mercado consumidor. **Revista da madeira**. n. 21, p. 9, mar. /abr. 1998.
8. TOMASELLI, Ivan. As perspectivas para o setor florestal Brasileiro. **Revista Referência**, Curitiba, v.2 n.3., p.28, jan./fev.2000.
9. FARIAS, Marzely Gorges. **As questões ambientais e o processo de fresamento em alta velocidade de madeiras de floresta plantada *eucalyptus grandis* e *eucalyptus dunnii***. 2000. Tese (Doutorado) – 8. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
10. SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 2002. Tese (Doutorado) – Programa de pós graduação em engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

11. SZYMANI; R.; TYLCZAK; J. H.; HAWK; J. A.; ZIOMEK-MOROZ, M.; WO, J. B. C. Investigations of Wear Resistance of New Stellite 700 Series Grades Used for Saw Tipping. **Proceedings of the 15th International Wood Machining Seminar** p.133-140. 2001
12. LEMASTER; R. L.; SALONI; D; RODKWAN, S.. Update of Process Monitoring and Control Research at North Carolina State University. **Proceedings of the 15th International Wood Machining Seminar** p.511-522. 2001.
13. BANKS, J.; CARSON, J.S.. **Discret Event System Simulation**, Prentice may. Englewood Cliffs, NJ, 1984.
14. PEDGEN, C.D., SHANNON, R.E., SADOWSKI, R.P., **Introduction to Simulation Using SIMAN**, McGraw-hill, NY, 2. Ed., 1990.
15. LAW, A.M., KELTON, W.D., **Simulation Modeling and Analysis**, 2 Ed, McGraw-Hill, NY, 1991.

Reservados todos os direitos de reprodução e/ou publicação em língua portuguesa e inglesa a:

Prof. Fernando Cardoso Lucas Filho, Dr.

Prof. Lourival Boehs, Dr.

Contatos: [postmaster@tehnonline.com.br](mailto:postmaster@tehnonline.com.br)

## **SIMULATION OF MACHINING PROCESSES AS SUPPORT TO MANUFACTURING SYSTEM PLANNING IN FURNITURE INDUSTRIES**

**First Author: Fernando Cardoso Lucas Filho, Dr.**

UFAM - R. Dr. Danilo Gomes, 2196, CEP: 81750-070, [postmaster@technonline.com.br](mailto:postmaster@technonline.com.br)

**Second Author: Lourival Boehs, Dr.**

EMC – UFSC – Cx Postal 476, CEP: 88049-900 – Florianópolis – SC. [boehs@emc.ufsc.br](mailto:boehs@emc.ufsc.br)

***Abstract.** The Brazilian furniture industry have only 1% of world trade furniture. This small participation is assigned to many factors between them the low efficiency into industrial wood processing. This scene, is very important the stablishment of the competitives parameters to variables relateded with the manufacturing processes. The inefficiency is translate on a high immobilization of money, wood stocks and processing products. The reduction of the setups time to be contribute to lead time and stocks reductions. But, for this, is necessary lookr the behavior of the manufacturing processes and preview the better conditions of operation or, propose changes to achieve these objectives. The actual research, to part of the simulation operation model, identify the machinery parameters that to guide to improvment on indicators of quality and productivity. The manufacturing sytem model was building based on data offerings for nine factories of São Bento do Sul SC furniture cluster, where the cut condiction used on the machinery processes and his respectives performances measurements take the data base used to analisys. With the simulation, was possible to select the settings of machining what to drive on the lead time and efficiency improvements of processes. Such, the modelling and simulation processes of machining contribution for reduction of waste, adding the brand and the productivity, delimitation restrictions and capacities according to the shifts on the parameters of machining.*

*Keywords: Planning, improvement, simulation, processes, manufacture, furniture.*