

Sistema Especialista em Usinagem: MOS – Machining Optimizer System

CUTTING PROCESS EXPERT SYSTEM: MOS – MACHINING OPTIMIZER SYSTEM

N. L. Coppini and E. A. Baptista
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da universidade
Metodista de Piracicaba

RESUMO

A otimização das condições de usinagem pode ser considerada em diferentes níveis e abordagens. Simplesmente selecionar ferramentas a partir de catálogos e como melhorar tempos e custos evidentes, não são mais fatores de competitividade no mercado. Neste sentido os fabricantes de ferramentas estão preparados para auxiliar seus clientes. Entretanto, mesmo após selecionar a melhor ferramenta e as melhores condições de usinagem com base nas informações dos fornecedores de ferramentas e/ou com base na experiência do usuário, é possível introduzir melhorias com base no desempenho do processo em chão de fábrica e em tempo real com a evolução do processo. Nesta forma de acompanhar o processo, é possível considerar dados reais do processo e todas as demais características do cenário de fabricação em que o mesmo está inserido. Os autores mostram, como objetivo e resultado deste trabalho, como é possível realizar tal tarefa e, para auxiliar o usuário, desenvolveram um sistema especialista para otimização das condições de usinagem, baseado na WEB, o qual pode ser acessado através do endereço (<http://www.elesandroab.eng.br>). Tal sistema foi denominado MOS- Machining Optimizer System.

PALAVRA CHAVE

WEB, Otimização, Usinagem.

ABSTRACT

Cutting process optimization could be considered in different levels and approaches. How to select tools and how to take care about evident loose time and costs can not be considered as a competitiveness market factor any more. Everyone responsible for cutting process planning must be up to date with these procedures and the tool makers are ready to help their costumers. Otherwise, after the best selected tool and cutting conditions are settled and the process is running

in shop floor many things could be done to go more deep in the cutting process optimization. One of them is how to consider the cutting process system and scenario influence on cutting condition, more specifically, on the cutting speed, which is usually select from data published in catalogues and normally based on the pair tool/workpiece. The purpose of this paper is to present a WEB based system to rich the most reliable cutting condition determination in shop floor and in real time. This system will be discussed under different scenarios (mass production and flexible production) and different cutting process (turning, milling, drilling).

KEYWORDS

WEB, Optimisation, Cutting Process.

INTRODUÇÃO

A otimização do processo de usinagem consiste na redução de custos e de tempos de fabricação, por meio do emprego de novas tecnologias de fabricação, ou, por meio da adequação das condições de corte.

A aquisição de equipamentos mais evoluídos e a construção e/ou aquisição de dispositivos com níveis de flexibilidade adequados representam alto custo de investimento. Assim, alternativas a serem exploradas e que poderiam ser utilizadas com vantagens, consistem em otimização dos parâmetros de corte para ferramental em uso ou na aquisição de ferramentas de gerações mais recentes com o cuidado de selecionar as condições operacionais otimizadas.

Esta análise, se realizada antes da substituição do ferramental, pode resultar em redução de custos sem a necessidade da geração de dispêndios. No mundo cerca de 80 a 90% dos tornos em operação trabalham abaixo de seus limites, segundo pesquisa publicada pela fabricante de ferramentas Sandvik® [1], informação que demonstra um campo a ser explorado e que deve receber atenção cada vez maior por parte de pesquisa-

dores e de profissionais da indústria.

O objetivo deste trabalho é apresentar um sistema baseado na WEB que foi desenvolvido visando auxiliar a tarefa de otimização do processo de usinagem, o qual pode ser acessado por meio do endereço: <http://www.elesandroab.eng.br>

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Já há algum tempo, [2, 3] os autores vêm trabalhando com procedimento visando a otimização do processo de usinagem, utilizando-se de conceitos básicos do mesmo que consideram critérios analíticos para seleção do melhor avanço e profundidade de usinagem, e concentram-se em modelos matemáticos para considerar a otimização da velocidade de corte.

A vitalidade do tema é abundantemente contemplado na literatura. A seguir apresenta-se de forma resumida trabalhos que foram publicados e que incentivam estes autores na busca de soluções que considerem aplicações, que mesmo com embasamento científico, possam vir a ser de utilidade para o setor industrial deste segmento de negócio.

Neste sentido, Lee e Tarn [4] utilizaram redes polinomiais para determinar a relação entre os parâmetros de corte e o desempenho da rugosidade superficial, força de corte e vida da ferramenta. Em seguida, determinaram a condição otimizada de usinagem dentro do Intervalo de Máxima Eficiência para operações multi-passe de torneamento. Meng; Arsecularatne; Mathew [5] determinaram, com base na teoria de usinagem, as condições de mínimo custo ou de máxima produção para otimizar o processo de usinagem. Baseiam-se na obtenção da maior taxa de remoção do cavaco para a determinação dos parâmetros de corte. Em seguida, propõem o uso de uma alteração na equação estendida de vida de Taylor, com base em dados obtidos em catálogos, para adequação da velocidade de corte na condição otimizada. Toulei-Rad [6] desenvolveu um Sistema Especialista para a otimização de processos de torneamento, furação e fresamento. Com base nas características da peça (dados de entrada), são otimizados: potência requerida; velocidade de corte; fluido de corte; avanço e profundidade de usinagem, usando dados oriundos de catálogos ou da literatura. Shabtay e Kaspi [7] propõem um procedimento para a otimização do processo de usinagem com base na condição de máxima produção, mínimo custo e máximo lucro (os autores definem máximo lucro por meio da equação: {[faturamento

por peça – custo por peça] / tempo de ciclo)), respeitando a vida da ferramenta. Wang *et al* [8] desenvolveram um sistema computacional para a otimização do processo de torneamento com um único passe com base nas condições de mínimo custo e de máxima produção. O usuário informa os valores máximos e mínimos para a vida da ferramenta e o valor da velocidade de corte é calculado para um novo valor para fins da otimização. Mursec e Cus [9] desenvolveram um sistema computacional para auxiliar a condição ótima de usinagem, mínimo custo e máxima produção, a partir de diferentes catálogos de fabricantes de ferramentas. Zuperl e Cus [10] aplicaram a técnica de redes neurais para otimizar o processo de usinagem com base nos seguintes objetivos: tempo de produção; custo de produção e rugosidade da superfície usinada.

Na grande maioria dos casos encontrados na literatura, foi possível observar que o enfoque científico sempre prevalece sobre o aspecto mais aplicado das propostas de otimização do processo de usinagem. Este é um diferencial que os autores imprimem em seus trabalhos, pois, sempre procuram dar uma contribuição ao desenvolvimento do conhecimento, não só pela abordagem científica de seus trabalhos, mas nunca separados da preocupação com a aplicação prática, pois baseiam-se em dados reais retirados do chão de fábrica durante a ocorrência do processo de usinagem.

MODELO DE OTIMIZAÇÃO PROPOSTO

Os autores propõem um modelo de otimização baseado na obtenção dos valores da constante “K” e do coeficiente “x” da equação de vida de Taylor, calculados a partir de dados obtidos em ambiente fabril [2, 3]. Permite calcular velocidades de referência que podem ser utilizadas para seleção de velocidades de corte a serem adotadas visando tomada de decisão tanto para aumento da produtividade quanto para minimização dos custos do processo. Essas velocidades constituem o Intervalo de Máxima Eficiência, IME.

Além disso, o modelo considera os diversos cenários possíveis de ocorrência do processo, os quais são detalhados a seguir.

CENÁRIO CORRENTE

Segundo Diniz *et al* [11], a otimização dos parâmetros de corte em usinagem está limitado à escolha correta da ferramenta com base em avanços, profundidades de usinagem e velocidades de corte, indicados por fontes que publicam a experiência acu-

mulada no assunto, geralmente catálogos de fabricantes.

A principal preocupação, no que tange a otimização, é conseguir usar a peça dentro das especificações do desenho da mesma. São pouco freqüentes os relatos práticos que mostram uma preocupação de aliar ao cuidado mencionado, o de otimizar as condições de corte.

Desta forma, condições operacionais de usinagem são utilizadas por meio de extrapolações àquelas existentes, mesmo sendo notório o fato de que este processo de fabricação sofra influência de inúmeros fatores e, que tal prática, é, por este motivo, geradora de possíveis erros que se perpetuam em plantas fabris, gerando e avolumando eventuais prejuízos que permanecem como se não existissem [12].

Assim, a otimização mais freqüentemente encontrada na prática de usinagem, consiste em adotar as condições de usinagem, muitas vezes, substituindo o ferramental em uso por outro tecnologicamente mais evoluído, e considerando-as como otimizadas, gerenciar o tempo passivo que o operador da máquina teria a sua disposição para as trocas de ferramentas e recuperação da fadiga devido as mais diversas causas.

O cenário corrente, salvo quando possuir características que o classifiquem como um cenário não recomendado descrito abaixo, também permite a aplicação da metodologia proposta.

CENÁRIOS RECOMENDADOS PARA A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Os cenários que se enquadram nesta situação:

- produção em série: com máquina dedicadas, ou produção em série para peças de uma mesma família, que utilizem do mesmo material e ferramenta, para operações correspondentes, na a usinagem de todo o lote;
- desenvolvimento de um processo: o sistema desenvolvido neste trabalho pode auxiliar a etapa de desenvolvimento de processo, por meio da determinação do IME e na escolha da velocidade de corte, V_c , de referência para a otimização;
- produção flexível: é dividido em duas situações. Na primeira, considera-se a usinagem de lotes pequenos, tendendo a unidade, que são usinados com a mesma ferramenta, nas operações correspondentes, e com peças constituídas pelo mesmo material. Na segunda, tem-se uma situação semelhante à primeira,

mas, com lotes formados com peças de materiais diferentes (o procedimento de otimização para esta situação ainda não foi aplicado em testes práticos);

- completa automação: este cenário é obtido com o uso de máquinas que permitem sua conexão em redes de computadores, inclusive com a Internet. A otimização deve ser realizada sem a interferência humana, sendo a própria máquina-ferramenta, por meio de seu CNC, responsável pela contagem do número de peças, monitoramento do fim de vida da ferramenta e envio de informações para um programa gerenciador.

CENÁRIOS NÃO RECOMENDADOS

Os cenários em que não é recomendada a aplicação da metodologia proposta para a otimização do processo de usinagem são:

- produção flexível em situações em que são produzidos lotes pequenos, tendendo à unidade, que não são executados com freqüência. Como o que ocorre em setores de manutenção e ferramentaria, por exemplo;
- em situações que a mesma ferramenta não é utilizada para a execução das operações correspondentes;
- quando são utilizados materiais, ferramentas ou máquinas-ferramentas com qualidades e propriedades não repetitivas;
- ambientes produtivos em que se empregam máquinas convencionais, que não permitem a utilização dos parâmetros de usinagem otimizados devido a impossibilidade de manter a velocidade de corte constante.

3.4. Identificação dos cenários

Para que o cenário produtivo seja classificado, é preciso considerar algumas informações do ambiente produtivo:

- tipo de produção: dependendo da quantidade de lotes a serem produzidos, com suas respectivas quantidades, pode ser classificada como flexível ou seriada, de acordo com os parâmetros previamente configurados pelo usuário;
- tecnologia de grupo: quando utilizada requer que o usuário especifique o código da família, o qual permitirá o agrupamento de lotes da mesma família;
- programação diária: todas as peças a serem fabricadas num período específico, no qual será aplicada a metodologia de otimização proposta, podem ser de um só tipo (mesma peça), ser da mesma família,

ou ainda, ser totalmente diferentes. Essas características devem ser informadas pelo usuário;

- material da peça: pode ser igual para peças da mesma família ou diferente;
- ferramenta de corte: deve ser a mesma para a usinagem de toda operação similar de toda a programação diária, incluindo os parâmetros de corte configurados em sua aplicação. (ex.: mesma ferramenta para a operação de desbaste). Caso não seja utilizada a mesma ferramenta (e parâmetros de corte), este cenário será classificado como não recomendado.

Portanto, pelo modelo de otimização proposto, a otimização do processo de usinagem deve ser realizada a partir de dados reais obtidos em chão de fábrica, que permitem a determinação do IME, juntamente com o tipo de cenário de fabricação, o qual é identificado a partir de informações do processo produtivo. Ou seja, primeiro são definidas as condições econômica e de máxima produtividade, em seguida, é escolhida a referência para otimização com base no cenário. Para facilitar a aplicação do modelo proposto em ambiente fabril, foi desenvolvido um Sistema baseado na WEB, o qual é descrito a seguir.

O SISTEMA

Em função dos diversos cenários que podem ser identificados em ambiente fabril, é necessária a adaptação do modelo de otimização proposto para cada caso, formando-se assim, metodologias específicas de otimização, sendo elas:

- metodologia 1 – é indicada para a usinagem de um lote formado por uma grande quantidade de peças (produção em série), e para a otimização de um único tipo de peça. Trata-se da aplicação direta da metodologia de otimização proposta pelos autores;
- metodologia 2 – indicada para a otimização de peças diferentes da mesma família que podem ser agrupadas como um único lote. Essas peças devem possuir o mesmo material e utilizar a mesma ferramenta para as operações de usinagem similares. A vida da ferramenta deverá ser medida em tempo;
- metodologia 3 – para lotes pequenos de peças, permite o cálculo do número aproximado de ferramentas a serem consumidas, seja a partir de dados obtidos em ensaios anteriores, ou consultados em publicações;
- metodologia 4 – utilizada para diversos lotes de peças com materiais diferentes. Permite o cálculo aproximado do número de arestas para a usinagem de todas as peças (esta metodologia ainda não foi testada

cientificamente);

- metodologia 5 – aplicada em completa automação, em que a comunicação entre o sistema e a máquina CNC deve ser feita via rede ou Internet. O monitoramento da vida da ferramenta deve ser realizado pela própria máquina CNC, que também informa o número de peças usinadas por vida da ferramenta. O sistema realimenta a máquina CNC com as diferentes velocidades de corte, até que a condição otimizada seja encontrada.

REQUISITOS DO SISTEMA

Os seguintes requisitos foram definidos para a construção do sistema:

- desenvolver um sistema para auxiliar a otimização do processo de usinagem, por meio da adequação de seus parâmetros de corte;
- considerar o IME e demais restrições do sistema produtivo para diversos cenários de fabricação;
- a determinação de dados devem ocorrer em ambiente fabril durante a ocorrência do processo de usinagem, ou seja, os valores de “x” e “k” da Equação de vida de Taylor devem ser determinados para cada processo;
- tal sistema deve permitir que a otimização seja realizada em três diferentes processos de usinagem, sendo eles os processos: de torneamento; de furação e de fresamento;
- deve permitir que mais de mais de um processo seja otimizado ao mesmo tempo;
- deve permitir que todas as operações, como desbaste e acabamento, de um mesmo processo, desde que suas condições operacionais permitam aplicação da metodologia empregada, sejam otimizadas ao mesmo tempo durante a ocorrência do processo.

4.2. Características do sistema

O sistema foi desenvolvido com auxílio de mais de uma linguagem de programação, sendo a principal delas a “Active Server Pages® (ASP), que foi utilizada principalmente para a interação do sistema com a base de dados. Outras linguagens utilizadas foram: JavaScript®, VBScript® e html, principalmente na construção dos formulários e tabelas.

Outras características importantes são:

- permite a configuração de preferências do usuário, com relação ao uso do sistema e das características do sistema produtivo;
- possui regra residente, definida pelos autores, que possibilita a escolha da condição otimizada com

base nas informações do processo;

- possui tabela de exceções que possibilita ao usuário especificar alterações em relação à regra residente;
- possui sistema de ajuda amigável;
- possui um sistema de geração de formulários dinâmico que elabora o formulário, para inclusão/alte-

ração/exclusão de dados, a partir da base de dados, BD, descartando a necessidade de geração de novos formulários devido alterações nos itens existentes na BD.

A estrutura do sistema que foi denominado Machining Optimiser System – MOS, é exibida na Figura 1.

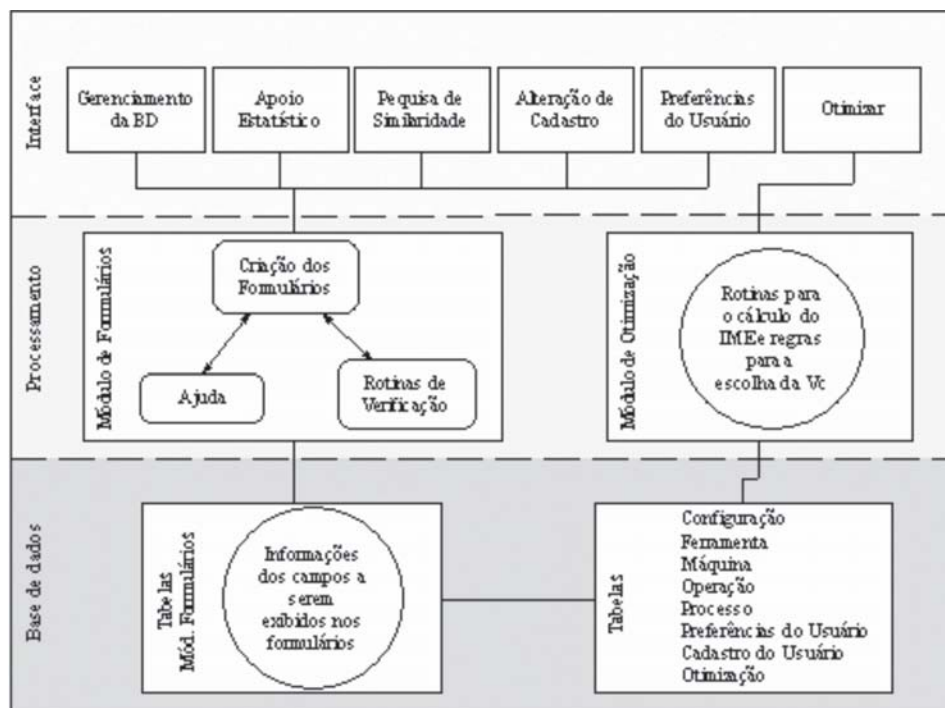


Figura 1 – Estrutura do Sistema MOS.

Toda a interface para com o usuário é feita por meio de páginas que devem ser acessadas por meio da Internet/Extranet, as quais estão incluídas no “módulo de interface”. O “módulo de processamento” é composto pelo “módulo de otimização”, responsável por todos os cálculos realizados durante a otimização do processo de usinagem, e pelo “módulo de formulários”, o qual interage com a base de dados e gera os formulários para interação com o usuário instantaneamente. A base de dados armazena todas as informações utilizadas pelo sistema.

Para realizar um otimização o usuário deve cadastrar no sistema todas as informações referente ao processo a ser otimizado. Em seguida, deve iniciar a usinagem do lote de peças até que o fim de vida da ferramenta seja obtido. Para garantir maior precisão aos cálculos, é possível calcular o tamanho significativo da amostra por meio da aplicação da distribuição de Student, neste caso, o usuário deverá obter o nú-

mero de vidas necessárias para contemplar a condição estatística em uso. Após inserir o valor da primeira vida da ferramenta no sistema, o usuário recebe o valor da segunda velocidade de corte, a qual deve ser utilizada até que seja obtido o valor da segunda vida.

Ao alimentar o sistema com este valor, será exibido na tela o IME e o usuário deverá anotar a velocidade de corte otimizada informada pelo sistema. Esta última, deverá ser utilizada na obtenção da vida da ferramenta novamente, cujo valor permitirá a verificação dos resultados obtidos com a aplicação da equação de vida de Taylor.

INTERFACE DO SISTEMA

Na elaboração do sistema foram empregados os recursos disponíveis nas linguagens envolvidas. É possível observar na Figura 2, que o MOS é apresentado ao usuário como uma típica página de Internet. Isto devido ao fato de o sistema utilizar das técnicas para a

geração de formulários em html.

Vê-se dois diferentes menus, sendo que o primeiro deve ser utilizado para gerenciamento da base de dados, em que é possível o cadastro, alteração e exclusão de informações da base de dados, e para a realização da otimização, tanto de um único processo como de uma Programação Diária (PG). Em todos os casos é necessário escolher o tipo de processo desejado.

O segundo menu, logo abaixo do primeiro, permite que o usuário configure o MOS, tanto com relação ao sistema produtivo como para as preferências pes-

soais, e para alteração de dados cadastrais. Ao acessar o MOS pela primeira vez, o usuário deve configurar pelo menos o sistema produtivo, cujas informações serão utilizadas pelo sistema em todas as otimizações.

Para o gerenciamento da base de dados são necessários diversos formulários, sendo um para inclusão, outro para alteração e outro para exclusão. Considerando a existência do cadastro da máquina-ferramenta, da ferramenta, do processo, da operação e da PG, seriam necessários 15 diferentes formulários para cada processo.

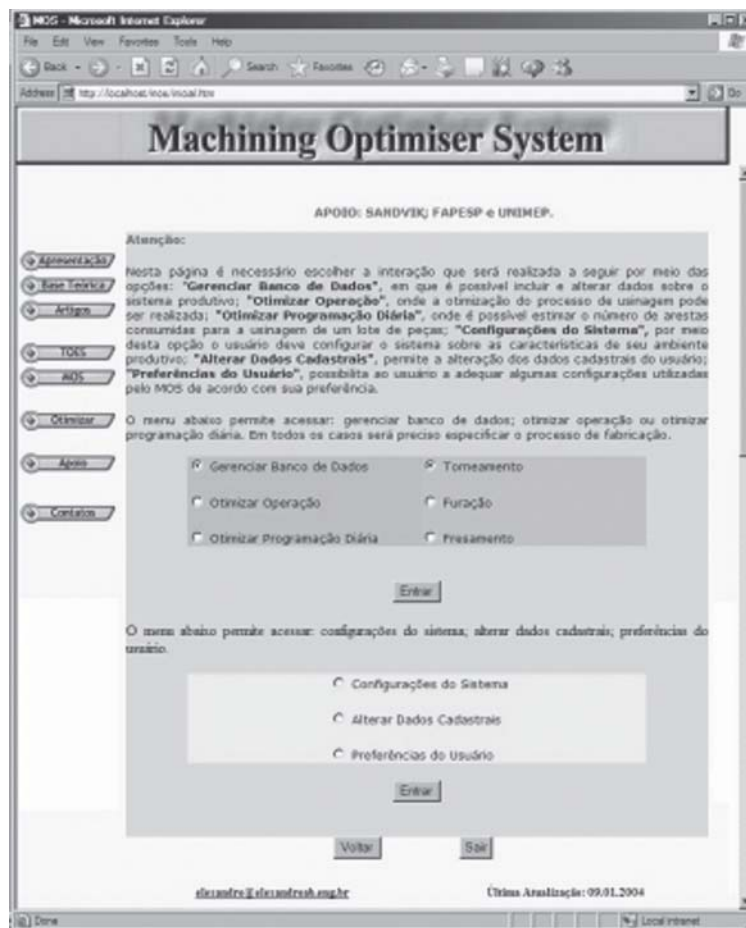


Figura 2 – Tela inicial do sistema.

A Figura 3 apresenta uma tela com um exemplo de formulário, no caso um exemplo de cadastro de um processo. É possível observar que a interação com usuário é simples e objetiva, contando inclusive com a disposição de textos de ajuda (*help*).

Já a Figura 4 apresenta a tela final de otimização de um processo de usinagem.

VALIDAÇÃO

O sistema MOS foi testado exhaustivamente em operações de torneamento, furação e fresamento. É importante destacar que em todos os processos citados, foi alterado apenas o valor da velocidade de corte durante a otimização, pois os outros parâmetros de corte foram especificados anteriormente, respeitando os valores máximos aplicáveis em cada operação.

A seguir é apresentada a utilização do sistema na otimização de um processo de torneamento. Os resultados obtidos em outros processos (furação e fresamento) podem ser solicitados diretamente aos autores.

OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE TORNEAMENTO

O ensaio realizado fundamentou-se na usinagem

de uma peça, corpo de prova, especialmente definida para esta finalidade, como mostrado na Figura 5, o qual possibilitou a determinação do coeficiente “x” e da constante “K” da Equação de vida de Taylor, para o sistema máquina-ferramenta-peça, utilizado. Antes do início dos testes, o sistema foi alimentado com todas as informações do processo, as quais são descritas no decorrer do texto.

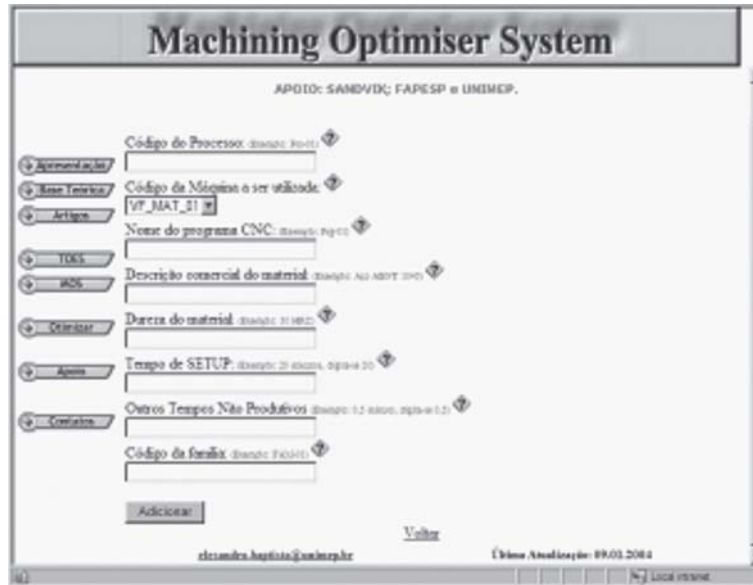


Figura 3 – Tela para o cadastro de um processo.

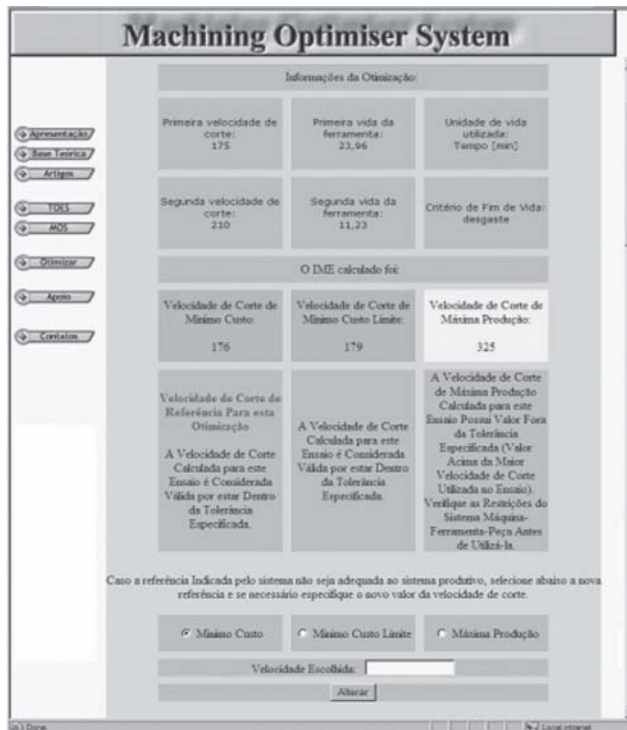


Figura 4 – Tela para o cadastro de um processo.

A operação de usinagem consistiu no desbaste leve do referido corpo de prova em 12 passadas, com profundidade de corte de 1 mm e avanço de corte de 0,25 mm/volta. A primeira velocidade de corte foi definida de acordo com a recomendação do fabricante da ferramenta, cujo valor é 175 m/min.

A alimentação da máquina foi contínua, ou seja, a peça foi fixada imediatamente após o término do ciclo de usinagem da peça anterior; entre o ciclo de cada peça foi considerado, portanto, apenas o tempo de troca da mesma. O tempo efetivo de corte foi calculado por meio de uma planilha eletrônica, devido ao fato de a geometria da peça ter formato cilíndrico, foi de 1,5 minutos.

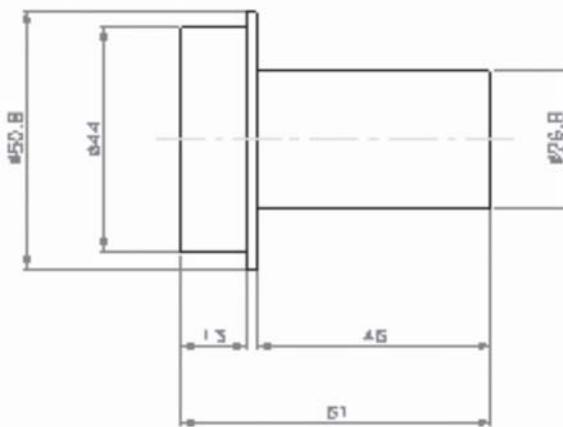


Figura 5 – Peça utilizada na validação do sistema (unidades em mm).

Para geometrias complexas, em que o cálculo do tempo de corte apresenta maior grau de dificuldade, este tempo pode ser obtido por meio de medição na ocorrência do processo de usinagem ou por simulação em sistemas CAM, por exemplo.

O tempo de troca da aresta da ferramenta foi obtido por meio da média de nove trocas realizadas por três operadores diferentes, cujo valor obtido foi 0,58 minutos.

Ao atingir o fim de vida da aresta de corte, em que foi adotado o número de peças como unidade de medição, realizou-se sua substituição e, novamente, repetiu-se a usinagem com a primeira velocidade de corte até a obtenção da segunda vida para a mesma velocidade. Em seguida, a segunda velocidade de corte foi calculada com valor 20% superior a primeira, obtendo, portanto, o valor de 210 m/min, para a qual também foram realizados dois ensaios.

Observa-se que o fim de vida da aresta de corte foi

determinado pela medição do desgaste VB na aresta de corte, conforme descrito na Figura 6. Em todos os casos, a última peça usinada, ou seja, aquela em que foi decretado o fim de vida da ferramenta foi descartada na contagem de peças que expressaram a vida da aresta.

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Na usinagem do corpo de prova realizado em laboratório foram utilizados:

- material da peça:
 - o descrição do material: Aço SAE 4340;
 - o dureza: 33,4 HRC.
- Máquina-ferramenta:
 - o tipo: Torno horizontal a comando numérico – CNC;
 - o modelo: Torno CNC CENTUR 30 RV - Romi;
 - o potência: 7 kW;
 - o rotação máxima: 5500 rpm;
 - o rendimento: 95%;
 - o custo da hora máquina (salário máquina): R\$ 15,00;
- Ferramenta:
 - o inserto: CNMG 120408-PM;
 - o classe: GC 4035;
 - o ângulo de posição: 95°;
 - o ângulo de saída: 16°;
 - o comprimento útil de corte: 5,5 mm;
 - o raio da ponta: 0,8 mm;
 - o ferramenta especial (sim/não): não;
 - o número de arestas do inserto: 4;
 - o fabricante: Sandvik;
 - o custo do ferramental: R\$ 3,28;
 - o quantidade crítica de ferramentas em estoque: 25.
- Suporte da ferramenta:
 - o Código: PCLN 20 x 20;
 - o Fabricante: Sandvik;
 - o Custo: R\$ 40,00;
 - o vida: 500 trocas.
- Informações adicionais:
 - o Salário do operador: R\$ 13,60 / h;
 - o Código da Família: FAM-001;
 - o Outros tempos não produtivos: 2 min (desconsiderando o SETUP);
 - o Tempo de *SETUP*: 35 min;
 - o Menor diâmetro a usar: 26,8 mm;
 - o Maior diâmetro a usar: 50,8 mm;
 - o Valor de χ de catálogo: 4,46;

- o Valor de K de catálogo: $1,0023 \times 10^{11}$;
- o Rotação adotada como limite: 4000 rpm.

Obs.: Como referência pode-se adotar US\$ 1,00 = R\$ 2,70 (Reais).

RESULTADOS

Os resultados obtidos na usinagem dos corpos de prova estão descritos na Figura 6.

V_c (m/min)	Aresta	VB (mm)	Vida da aresta		
			Z_t (peças)	T (min)	Lc (m)
175	1	1,5	16	23,96	8,832
	2	1,4	16	23,96	8,832
210	1	1,4	9	11,23	4,968
	2	1,6	10	12,50	5,520

Figura 6 – Resultados da Usinagem.

Foram inseridos no MOS os valores de vida da ferramenta em número de peças: Primeira vida = 16 peças e segunda vida = 9 peças. Com base nesses dados e demais informações do sistema produtivo, o MOS que calculou as velocidades de corte que constituem as referências a serem utilizadas pelo usuário no momento da seleção da velocidade de corte a ser adotada. Os resultados estão descritos na Figura 7.

V_c (m/min)		Vida (peças)		Coeficiente e Constante da Equação de Taylor		Intervalo de Máxima Eficiência (IME) – (m/min)		
V_{c1}	V_{c2}	T_1	T_2	x	K	V_{cmc}	V_{cmcLim}	V_{cmxp}
175	210	16	9	4,16	$5,04E+10$	176	179	325

Figura 7 – Resultados calculados pelo MOS.

O sistema indicou a utilização da velocidade de corte de mínimo custo como referência para otimização. O cenário foi classificado como produção seriada, visto que o experimento descrito refere-se a usinagem de uma única peça. Outros testes foram realizados para verificação da classificação do cenário produtivo em função das características do ambiente produtivo, contudo, neste trabalho foi apresentado apenas a primeira etapa de verificação do sistema em virtude da não disponibilidade de espaço para a descrição de todos os testes realizados.

A referência para a otimização indicada pelo sistema foi adequada ao contexto do ensaio e os valores do IME calculado conferiram com resultados obtidos com auxílio de planilha eletrônica.

CONCLUSÕES

De acordo com o apresentado no decorrer deste

trabalho pode-se concluir que:

- o MOS pode ser utilizado como ferramenta de apoio a otimização de processos de usinagem, considerando o IME e demais informações do processo produtivo;
- permite a otimização de vários processos simultaneamente;
- considera diferentes cenários produtivos, como produção seriada e flexível, com diferentes abordagens de otimização para cada situação;
- a metodologia de otimização, que se baseia na determinação do IME em ambiente fabril, juntamente com restrições do ambiente produtivo, pode ser aplicada na otimização dos processos de usinagem;
- o MOS permite o armazenamento de informações: da máquina-ferramenta, da ferramenta, e do processo de fabricação da peça, que podem ser recuperados a qualquer momento de forma rápida.

Enfim, construiu-se um sistema que permite que a otimização do processo de usinagem, com todas as características já descritas, seja realizada e, que pode ser utilizado como importante ferramenta para o aumento de competitividade por parte das indústrias manufatureiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Sandvik do Brasil, à FAPESP pelo apoio Financeiro e ao Instituto Fábrica do Milênio.

REFERÊNCIAS

- [1] GAMARRA, J. R. Mais força com novas classes para torneamento. O mundo da usinagem, São Paulo, n.1, p. 18-20. jan. 2000.
- [2] COPPINI, N. L.; MIRANDA, G. W. A.; BAPTISTA, E. A. Drilling Optimized Operations. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH VII - CIM, 2001, Lombardia. 2001.
- [3] COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A. Machining process improvement by practical tests in shop floor. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED MANUFACTURING SYSTEMS AND TECHNOLOGY, 2002, Udine. Sixth International Conference on Advanced Manufacturing and technology Proceedings. UDINE: University of Udine, 2002. v. 1, p. 121-128.
- [4] LEE, B. Y.; TARNG, Y. S. Cutting-parameter selection for

maximizing production rate or minimizing production cost in multistage turning operations. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 105, n. 1, p. 61-66, Sept. 2000.

[5] MENG, Q.; ARSECULARANTNE, J. A.; MATHEW, P. Calculation of optimum cutting conditions for turning operations using a machining theory. *International Journal of MACHINE TOOLS & MANUFACTURE: Design, Research and Application*, v. 40, n. 12, p. 1709-1733, Sept. 2000.

[6] TOLOUEI-RAD, M. Intelligent selection of cutting conditions in turning, milling and drilling. In: *International conference on production research 16.*, 2001, Prague. Annals... Czech Republic: Prague, 2001. (Published in CD) ISBN – 80-02-01438-3.

[7] SHABTAY, D.; KASPI, M. Optimization of the machining economics problem under the failure replacement strategy. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, v. 80, n. 3, p. 213-230, Dec. 2002.

[8] WANG, J.; KURIYAGAWA, T.; WEI, X. P.; GUO, D. M. Optimization of cutting conditions for single pass turning operations using a deterministic approach. *International*

Journal of MACHINE TOOLS & MANUFACTURE: Design, Research and Application, v. 42, n. 9, p. 1023-1033, July. 2002.

[9] MURSEC, B.; CUS, F.; BALIC, J. Organization of tool supply and determination of cutting conditions. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 100, n. 1, p. 241-249, June. 2000.

[10] ZUPERL, U.; CUS, F. Optimization of cutting conditions during cutting by using neural networks. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, v. 19, n. 1-2, p. 189-199, Feb/Apr. 2003.

[11] DINIZ, A. E.; COPPINI, N. L.; VILELLA, R. C.; RODRIGUES, A. C. S. Otimização das condições de usinagem em células. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.281, p. 48-54, jun. 1989.

[12] COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A. Alternativas de otimização dos parâmetros de corte para cenários de fabricação em usinagem. In.: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 18, Niterói, Anais... Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998.