

FABRICAÇÃO DE PEÇAS COMPOSTAS POR FEATURES DE USINAGEM UTILIZANDO UM MODELO DE AGRUPAMENTO: UMA ABORDAGEM BASEADA EM SISTEMAS MULTIAGENTES

João Carlos E. Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. jcarlos@emc.ufsc.br; jcf@grucon.ufsc.br

Izabel Cristina Zattar

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. izabelzattar@netvision.com.br

João Gabriel G. Granado

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. gabrielgranado@gmail.com

Rodrigo Morasco

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. rodrigo_ufsc@yahoo.com.br

Resumo. Neste artigo descreve-se um sistema multiagentes de estrutura heterárquica para a tomada de decisões sobre a fabricação de peças compostas por features de usinagem num sistema de manufatura com layout funcional, job shop. Aplica-se um protocolo de negociação por agrupamento de features de usinagem com período estendido, onde cada tarefa é anunciada e posteriormente tratada como a soma total dos grupos de features de usinagem que a compõe. A negociação por agrupamento apresenta melhores resultados em relação ao tempo de atravessamento associado ao menor número de setups, comparando-se com a negociação feature a feature, normalmente utilizada em trabalhos desta natureza. Os critérios de tempo de atravessamento e tempo de fila serão utilizados para a avaliação de desempenho das simulações apresentadas, nas quais serão comparados os dois tipos de protocolos de negociação. Um primeiro modelo foi criado para ser um protótipo de testes: é um ambiente job shop composto por dez recursos divididos em cinco grupos: centros de usinagem CNC, fresadoras CNC, furadeira de coluna, fresadoras universal e tornos universal. As peças consideradas no experimento foram divididas nas categorias prismáticas e rotacionais, perfazendo um total de dez diferentes peças, cinco em cada categoria. Cada peça é composta por um número variável de features de usinagem, entre duas e nove escolhidas em um total de 31 tipos de features disponíveis. O artigo será dividido em cinco seções, além do resumo, uma introdução, a contextualização e descrição do problema estudado, a apresentação do estudo de caso, a análise dos resultados e conclusão.

Palavras-chave: Features de usinagem, Job shop, Negociação por agrupamento, Sistemas multiagentes.

1. INTRODUÇÃO

Um grande obstáculo para a integração entre o planejamento do processo e o seqüenciamento da produção, em ambientes dinâmicos, é a falta de flexibilidade para a análise de recursos alternativos durante a alocação dos trabalhos no chão-de-fábrica. Normalmente nesta fase o plano de processos é tratado como fixo, isto é, o seqüenciamento não considera todas as combinações de manufatura possíveis. Conforme Smith ⁽¹⁾ diferentes opções de planejamento podem implicar em diferentes necessidades de recursos e neste caso, a utilização das escolhas feitas na fase de planejamento irá depender fundamentalmente da disponibilidade corrente dos recursos no chão-de-fábrica quando do início da produção.

Neste contexto de co-dependência entre o planejamento e o seqüenciamento torna-se vital adiar as decisões de seleção e escalonamento das features executadas no planejamento até o estágio de seqüenciamento. Esta redução na janela de tempo entre as duas funções reflete com maior fidelidade o status do chão-de-fábrica quando do início do processamento das tarefas.

Dentre os diversos ambientes produtivos onde a integração entre o planejamento e o seqüenciamento podem apresentar ganhos, o *job shop* é considerado um dos problemas mais desafiadores devido à sua natureza não determinística, o que acaba por resultar em problemas com grande complexidade de resolução por consumirem excessivo espaço de memória e elevado tempo de processamento.

Neste artigo são comparados dois tipos de protocolos de negociação (agrupamento e feature a feature) tendo-se como critérios os tempos de atravessamento, de setup e de fila. Esta comparação é viabilizada através da utilização de um sistema multiagentes de estrutura heterárquica. O modelo criado é um ambiente *job shop* composto por diferentes máquinas e peças. São permitidas as repetições de uma ou mais features em uma ordem. Cada ordem representa uma quantidade variável de uma única peça (aqui chamado de lote), sendo cada peça composta de um número variável de features de usinagem.

Também é permitida a utilização de recursos alternativos para a manufatura de cada uma das peças, porém considerando os diferentes tempos de fabricação das mesmas em cada máquina. As restrições provenientes das precedências entre features de usinagem serão respeitadas neste modelo, assim como os tempos de preparação das máquinas e fixação das peças. Finalmente propõe-se a adaptação do plano de processo de processo on-line, partindo da disponibilidade das máquinas no chão-de-fábrica quando do seqüenciamento das ordens.

2. REVISÃO E TRABALHOS NA ÁREA

O problema de integração entre o planejamento de processo e o seqüenciamento da produção tem sido pesquisado nos últimos anos sob as mais diferentes abordagens, entre as quais pode-se citar o planejamento de processo distribuído – DTPP, DYNACAPP -DYNAMIC Computer Aided Process Planning, Khoshnevis e Chen ⁽²⁾, simulated annealing, Palmer⁽³⁾, matrizes de decisão como no sistema MADEMA – Manufacturing Decision Making, Lee e Kim⁽⁴⁾ ou o IPPM - Integrated Process Planning Model, Chryssolouris et. al. ⁽⁵⁾, planejamento de processo não linear – NLLP Detand et. al. ⁽⁶⁾, as redes de Petri, FLEXPLAN Shaw e Winston ⁽⁷⁾ e sistemas baseados em conhecimento Zhang e Mallur⁽⁸⁾.

Recentemente vários autores têm sugerido os sistemas multi-agente como uma abordagem adequada para a solução deste problema. Abordagem esta que pode ser utilizada inclusive de maneira combinada às ferramentas já conhecidas para a integração do planejamento de processo e o seqüenciamento da produção. Segundo Mönch et. al. ⁽⁹⁾ são duas as principais razões para que isto ocorra: (a) nos últimos dez anos foram dados importantes passos para fundamentar e validar sistemas MAS, o que resultou em um aumento de sua flexibilidade, capacidade de reusabilidade e escalabilidade; (b) o desenvolvimento e disseminação da linguagem JAVA, a qual reduziu significativamente os esforços e tempo gastos na implementação deste tipo de sistema.

Observa-se, porém, em vários trabalhos que utilizam esta abordagem, um maior enfoque no seqüenciamento da produção, tanto preditivo quanto reativo, enquanto o plano de processos é normalmente tratado de forma estática, sendo definido antes do início da fabricação da peça, o que não é adequado para o tratamento de distúrbios que possam ocorrer no chão-de-fábrica, como quebra de máquinas, falta de matéria-prima ou operadores. Em Wang et. al.⁽¹⁰⁾ um sistema multiagentes baseado em regras distribuídas é proposto para suportar distúrbios no chão-de-fábrica, porém o maior enfoque é dado ao re-seqüenciamento da produção, sendo o plano de processo definido antes do início da fabricação da peça.

O planejamento de processo é chamado de “dinâmico” quando ele é executado de forma online, isto é, se dá no momento em que a peça é liberada para a fabricação. Neste momento o plano de processos macro é recuperado e completado levando em consideração a disponibilidade dos recursos do chão-de-fábrica, além dos objetivos específicos esperados do seqüenciamento (minimização de setup, data de entrega e outros). O planejamento dinâmico permite o replanejamento da peça escolhida tendo como base a análise dos processos de manufatura, podendo gerar um grupo ranqueado de soluções próximas ao plano de processo ótimo. Observa-se, porém, que apesar de alguns autores utilizarem a abordagem do planejamento dinâmico nas suas abordagens, existe um problema recorrente aos trabalhos que estudam a integração entre o planejamento do processo e seqüenciamento da produção, que é o tratamento dado às atividades que compõem o seqüenciamento de uma ordem ou peça. Em Usher⁽¹¹⁾, as features que compõem cada uma das peças são tratadas de forma independente umas das outras, ou seja, uma única feature é negociada por vez entre a peça e os recursos. Este tipo de tratamento pode ocasionar um aumento nos tempos de setup e fila, tendo como consequência um aumento no tempo de atravessamento da peça. Este aumento nos tempos normalmente é decorrente das inúmeras mudanças de máquinas nas quais as peças serão manufaturadas, visto que se ao negociar uma feature por vez não há nenhuma tentativa de agrupamento das mesmas, o que poderia gerar ganhos nos tempos de setup ou de transporte entre as máquinas.

3. CARACTERÍSTICAS DO MODELO PROPOSTO

Conforme citado anteriormente, o modelo criado para ser o primeiro protótipo de testes é um ambiente *job shop* composto por cinco diferentes grupos de recursos formados por: dois centros de usinagem CNC (tc1, tc2), duas fresadoras CNC (ce1, ce2), uma furadeira de coluna (fc1), duas fresadoras universais (fr1, fr2) e três tornos universais (to1, to2, to3).

As peças consideradas no experimento foram divididas em duas categorias: prismáticas e rotacionais, perfazendo um total de dez peças, cinco em cada categoria. Cada peça é composta por um número variável de features situado entre duas e nove. As features também são divididas em dois grupos distintos, rotacionais e prismáticas, perfazendo um total de 31 features disponíveis. A tabela 1 apresenta os grupos de features, rotacionais e prismáticas, utilizadas neste trabalho.

Tabela 1. Grupos de features rotacionais e prismáticas

<i>Features Rotacionais</i>	<i>Features Prismáticas</i>
canal (ca1, ca2, ca3)	cavidade retangular (cr1, cr2, cr3)
chanfro (ch1, ch2, ch3, ch4)	ranhura (ra1, ra2, ra3, ra4)
cilindro (ci1, ci2, ci3)	degrau (de1, de2)
cone (co1, co2, co3, co4)	furo (fp1, fp2)
rasgo de chaveta (rc1, rc2, rc3, rc4)	
furo (ft1, ft2)	

Neste experimento foi permitida a repetição de uma ou mais features no plano de processo de uma mesma peça. Também são respeitadas as precedências entre as features. Em uma mesma peça é permitido que uma ou mais features tenha até duas precedências cada. Outras características do modelo utilizado neste trabalho são:

- 1 – Em um mesmo recurso, podem ser executadas duas ou mais features sucessivas de uma mesma peça;
- 2 – As features de uma peça não necessitam ser executadas em uma ordem específica, a menos que contenham relações de precedência entre si;
- 3 – Cada recurso pode processar apenas uma peça por vez.

A tabela 2 apresenta um plano de processo de uma peça prismática, composto por suas features de usinagem, a quantidade de cada feature para a confecção de uma peça, suas relações de precedências e as diferentes opções de recursos para a sua fabricação.

Como pode ser observado na tabela 2, os planos de processos possuem dois graus de flexibilidade, um relativo à seqüência de fabricação, representado pela ordem de manufatura das features de usinagem que compõem uma peça, a qual deverá apenas respeitar as relações de precedência entre as features. O segundo grau de flexibilidade é relativo ao roteamento dos recursos, o qual deverá respeitar a capacidade dos mesmos e sua disponibilidade.

O tempo de preparação dos recursos por lote e o tempo de fixação por peça também foram considerados. Além disto, no caso da troca de recursos após a confirmação do pedido de fabricação, será computado um tempo de penalidade, o que acarretará um acréscimo no tempo de atravessamento da peça. As restrições quando à capacidade produtiva são tratadas de forma dinâmica (gargalos dinâmicos) e estão diretamente relacionadas ao *mix* produtivo, podendo variar de acordo com a combinação entre a quantidade e os tipos de peças escolhidas.

Tabela 2. Exemplo de um plano de processo de peça prismática com recursos alternativos e precedências

PEÇAS PRISMÁTICAS				
	Features	Quantidade	Precedências	Recursos
Peça 1	cr1	2	***	ce1; ce2; fr1; fr2
	ra1	1	***	ce1; ce2; fr1; fr2
	ra4	2	***	ce1; ce2; fr1; fr2
	de1	2	***	ce1; ce2; fr1; fr2
	de2	2	***	ce1; ce2; fr1; fr2
	fp2	8	de1, de2	ce1; ce2; fc1; fr1; fr2

4. ARQUITETURA DO SISTEMA MULTIAGENTES

Entre as diversas arquiteturas que podem ser adotadas para o desenvolvimento de um sistema multiagentes, a arquitetura heterárquica foi escolhida para o desenvolvimento deste protótipo, tendo em vista sua futura aplicação na análise e tratamento de distúrbios no chão-de-fábrica.

Segundo Wang et. al. ⁽¹¹⁾, arquiteturas heterárquicas possuem duas grandes vantagens: a primeira é não necessitar de um controle global de decisão, o que resulta em um sistema com maior capacidade de adaptação e grande flexibilidade. A segunda é o fato de permitir que agentes heterogêneos interajam em um mesmo ambiente, permitindo ainda, a exclusão, inclusão ou reformas dinâmicas do sistema, afetando apenas os agentes diretamente envolvidos na alteração. A falta de um elemento central que contenha todo o conhecimento do sistema ou responsável pelas tomadas de decisões evita que ocorra uma sobrecarga no fluxo de informações através dos diversos nós, como em um sistema hierárquico, quando da ocorrência de um distúrbio. Esta forma distribuída de organizar o conhecimento faz com que a arquitetura heterárquica seja ideal para lidar com distúrbios decorrentes de imprevistos no chão-de-fábrica.

4.1. Estrutura do sistema proposto

Conforme citado a arquitetura utilizada no protótipo é baseada em uma estrutura heterárquica e é composta por dois tipos de agentes: de ordem e de recurso. Cada um dos tipos de agentes que

compõe o sistema possui tarefas distintas. Um agente de ordem é instanciando cada vez que uma nova ordem entra no chão-de-fábrica e tem seu ciclo de vida encerrado assim que todas as features relativas à ordem são concluídas. Cada nova ordem contém um único tipo de peça, com quantidade variável, e corresponde a um único agente de ordem. Este agente tem seu conhecimento relacionado às informações contidas na ordem, como o tamanho do lote e o plano de processo da peça a ser manufaturada. O plano de processo, por sua vez, é composto pela descrição das features de usinagem, o que inclui a quantidade de features por peça, o número de repetições de cada feature e as relações de precedência, existentes ou não, entre as mesmas. É importante notar que neste trabalho o plano de processo é flexível, desde que respeitadas as relações de precedência entre features, permitindo que a seqüência de fabricação seja definida on-line, baseada no status do chão-de-fábrica quando do instanciamento da ordem. O agente de ordem ainda é responsável pela escolha da melhor oferta entre os recursos com a capacidade necessária para executar uma ou mais features que compõem a ordem. Para isto, aplica-se um protocolo de negociação por agrupamento de features de usinagem com período estendido, além de heurísticas que buscam a “otimização” dos tempos de manufatura (a ser explicado no item 4.3 deste trabalho).

O agente de recursos, por sua vez, possui conhecimento sobre a capacidade, custos de fabricação, tempos de processo e tempos de setups de fixação e preparação, relativos ao recurso que representa. Cada agente de recurso representa um único recurso existente no chão-de-fábrica. Este agente ainda é responsável pela elaboração das propostas de manufatura a serem enviadas aos agentes de ordem, quando solicitado, e pelo envio de mensagens de conclusão de trabalho.

4.2. Funcionamento do sistema

A integração entre o planejamento e o seqüenciamento tem início no momento que uma nova ordem entra no chão-de-fábrica, fato que é o gatilho para o instanciamento de um novo agente de ordem. Este agente de ordem então envia uma mensagem a todos os recursos que já estão instanciados no chão-de-fábrica, avisando de sua chegada ao *shop* e de suas características de ordem, pedindo ofertas por parte dos recursos para sua fabricação. Cada recurso, representado por seu respectivo agente de recursos, envia, uma oferta baseado nas condições de negociação estabelecidas (a ser visto no item 4.3) e em sua capacidade. Caso o recurso não seja capaz de executar nenhuma das features que compõem a peça representada na ordem, ele enviará uma rejeição para o agente de ordem. Após enviar sua oferta o agente de recurso fica no aguardo de um aceite ou rejeite por parte do agente de ordem a fim de confirmar, ou não, a sua contratação. O agente de ordem, por sua vez, tem a tarefa de analisar as diferentes ofertas recebidas, escolher a melhor entre elas, retornar um aceite para o agente de recursos e fechar um contrato. Estas tarefas devem ser executadas dentro de um período de negociação que varia conforme o estágio que a ordem se encontra. Por exemplo, em uma rodada inicial de negociação, o período total corresponde ao tempo decorrente entre o envio da proposta por parte do recurso e o aceite ou rejeite por parte da ordem. Em uma segunda rodada de negociação, no caso da ordem ser executada em mais de um recurso, são computados além do tempo de troca de mensagens, os tempos de fila, de máquina, de setup e de contratação. Esta forma de negociação é chamada aqui de negociação por agrupamento de features de usinagem com período estendido.

4.3. Protocolo de negociação por agrupamento de features de usinagem com período estendido

O protocolo de negociação por agrupamento de usinagem com período estendido é uma adaptação de Usher ⁽¹³⁾ (maiores detalhes sobre este protocolo podem ser encontrados em *Negotiation-based routing in job shops via collaborative agents*). A equação 1 representa os tempos considerados por um agente de recursos na montagem de uma proposta.

$$\text{Tempo_proposto} = (\sum Tf + \sum Tp + \sum Tc + \sum Tn) + (Tm/Nf) + (\text{Setup}/Nf) \quad (1)$$

A primeira parcela da equação 1, $(\sum Tf + \sum Tp + \sum Tc + \sum Tn)$, trata dos tempos relativos a todas as possíveis filas do recurso, ou seja, o intervalo total de espera da ordem para iniciar no recurso. Esta parcela é composta pela soma dos tempos de negociação, de contratação, de processamento e de fila do recurso. Onde:

- Tempo de negociação ($\sum Tn$): soma dos tempos decorrente entre o envio da proposta por parte do recurso e o aceite ou rejeite por parte das ordens que estão atualmente em negociação com o mesmo;
- Tempo de contratação ($\sum Tc$): soma dos tempos de processamento de todas as ordens já contratadas pelo recurso, mas que ainda não chegaram à fila do mesmo;
- Tempo de processamento ($\sum Tp$): tempo total necessário para finalizar todas as features de uma ordem já iniciada no recurso. Se não houver nenhuma ordem em processamento no recurso este tempo será igual à zero; e
- Tempo de fila ($\sum Tf$): soma do tempo de fila, para processar todas as ordens que já estão na fila física do recurso, mas que ainda não iniciaram sua produção;

Para uma melhor compreensão dos tempos de contratação, negociação e de fila, que compõem a primeira parcela da equação 1, é apresentado na figura 1 um exemplo de trocas de mensagens entre as ordens 1, 2 e 3 e o recurso 1. Inicialmente as três ordens enviam um pedido solicitando uma proposta de execução ao recurso 1. Assim que o recurso 1 envia uma proposta para a ordem 1, esta passa a ser computada na parcela de negociação e lá permanece até que recurso receba um aceite ou rejeite referente à sua oferta. No caso de uma resposta positiva (aceite) por parte da ordem 1, esta deixará então de ser computada na parcela de tempo de negociação, passando a ser incluída na parcela de tempo de contratação, onde permanecerá até que o trabalho seja deslocado para a fila do recurso. Neste instante a ordem deixará de ser computada na parcela de tempo de contratação e passará a ser computada na parcela de tempo de fila (física) do recurso. Por outro lado, no caso de uma recusa da proposta por parte da ordem 1, esta também deixará de ser computada na parcela de tempo de negociação daquele recurso, passando então a negociar com outros recursos disponíveis existentes. O processo de negociação se repetirá para i2 e i3.

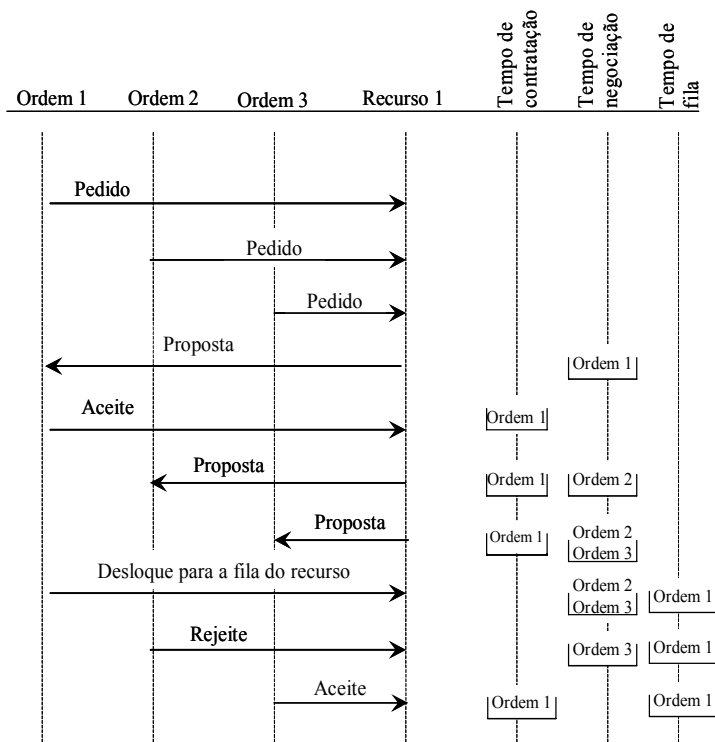


Figura 1 – Parcelas de tempo de negociação, contratação e de fila

realizados três diferentes tipos de simulações. As simulações 1 e 2 tratam somente de ordens referentes às peças prismáticas, totalizando cinco diferentes peças, enquanto a simulação 3 considera as peças prismáticas e rotacionais, perfazendo um total de dez diferentes peças. Nestas simulações foram utilizados três grupos diferentes de recursos A, B e C, sendo que os grupos A e B oferecem uma maior restrição de capacidade instalada, contando com apenas três máquinas disponíveis, enquanto o grupo C possui maior capacidade instalada, com um total de cinco máquinas. O tamanho do lote varia entre dois níveis, entre 5 peças e 15 peças por ordem. Cada simulação foi replicada quinze vezes.

5.1. Resultados obtidos

A seguir são apresentados os resultados comparativos utilizando-se o protocolo de negociação por agrupamento de features proposto neste trabalho e o protocolo tradicional de negociação feature a feature. Os gráficos 1 e 2 apresentam respectivamente os tempos médios de atravessamento e setup.

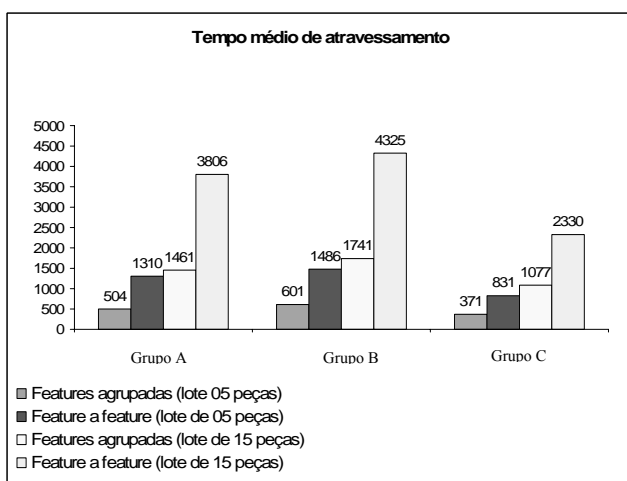


Gráfico 1 – Comparação do tempo médio de atravessamento

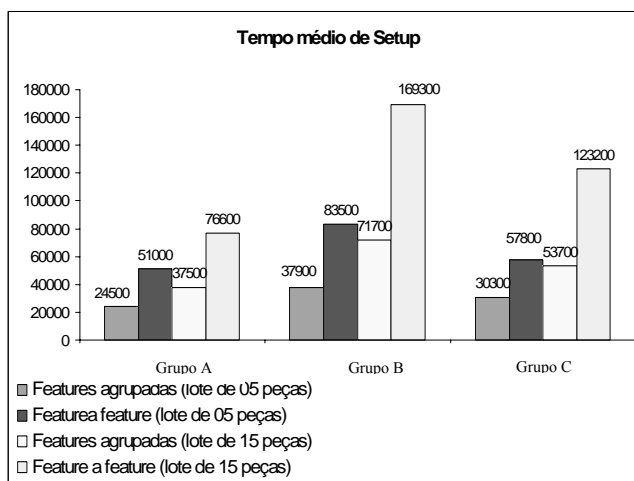


Gráfico 2 – Comparação do tempo médio de setup

Observa-se que o protocolo de negociação por agrupamento de features apresenta resultados comparativos superiores aos apresentados pelo protocolo de negociação feature a feature, independentemente do tamanho do lote ou do grupo de máquinas selecionadas. Porém, nos grupos de máquinas A e B, onde a restrição da capacidade produtiva é maior, o ganho no tempo de atravessamento é significativamente maior que no grupo C, onde não é imposta uma restrição de capacidade significativa. O gráfico 3 apresenta os tempos médios de fila para os dois protocolos.

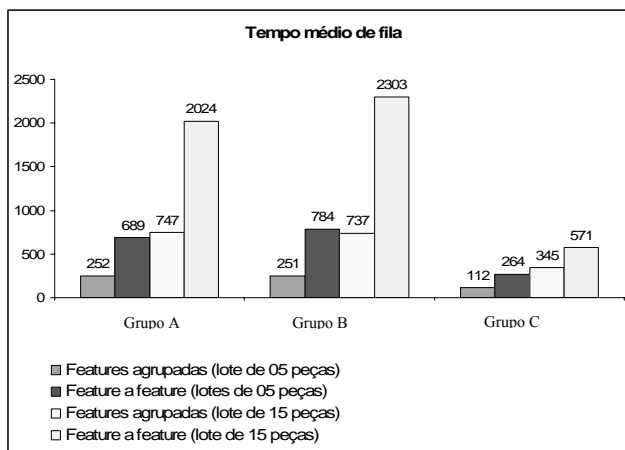


Gráfico 3 – Comparação do tempo médio de fila

De maneira análoga, o protocolo de negociação por agrupamento de features proporciona ganhos nos do tempo de fila, sendo que a maior redução se encontra no grupo de recursos 2. Porém este ganho se mantém próxima da estabilidade ao variar o tamanho do lote, do nível mais baixo (5 peças) para o intermediário (15 peças). Este valor aponta para a necessidade de novos testes, pois aparentemente existe uma tendência a ser comprovada, de que os ganhos com o tempo de fila serão maiores quanto mais restrita for a capacidade produtiva e mais dedicadas forem as máquinas.

A tabela 3 mostra os valores médios percentuais dos ganhos nos critérios de desempenho escolhidos para a avaliação de primeiro trabalho, isto é, tempo de atravessamento, setup e de fila.

Na tabela 4 é apresentado o roteamento das peças em cada um dos grupos de máquinas, utilizando-se o protocolo de negociação por agrupamento de features.

Observa-se que as peças escolheram os recursos mais convenientes dentro do critério estabelecido, que é o maior número de features usináveis no menor tempo total, sem a adição de tempo de setup de preparação entre as features. Esta escolha também levou em consideração a disponibilidade do recurso quando da entrada da ordem no chão-de-fábrica, independentemente do tipo de protocolo de negociação utilizado. Esta estrutura de escolha de plano de processos on-line será útil na continuidade deste trabalho, onde serão impostos distúrbios no chão-de-fábrica, como quebras e falta de operadores.

Tabela 3 – Ganhos na utilização do protocolo por agrupamento de features

Lote 05 peças	Grupo de máquinas	Tempo de atravessamento	Setup	Fila
	A	61.50%	51.96%	63.42%
B	59.56%	54.61%	67.98%	
C	55.35%	47.58%	57.58%	
Lote 15 peças	Grupo de máquinas	Tempo de atravessamento	Setup	Fila
	1	61.61%	51.04%	63.09%
	2	59.74%	57.64%	68.00%
	3	53.78%	56.41%	39.58%

Tabela 4 – Roteamento das peças utilizando-se o protocolo por agrupamento de features

Grupo de máquinas	Roteamento				
	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5
A	CE1, FC1,FR1	CE1, FC1	CE1	CE1	CE1, FR1
B	CE2, FC1, FR2	CE2, FC1	CE2	FR2	CE2, FR2
C	CE1, FC1,FR1	CE2, FC1	CE1	CE2	CE1, FR2

6. CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

O sistema apresentado neste trabalho emprega um modelo multiagentes heterárquico que permite o planejamento dinâmico do processo enquanto busca a redução dos tempos de setup, atravessamento e de fila em um ambiente *job shop*. Para alcançar este objetivo foi empregado um protocolo de negociação estendido por agrupamento de features.

Observou-se que os ganhos relativos à redução do tempo de setup são da ordem de até 52%, quando utilizado o protocolo de negociação por agrupamento de features, em comparação ao agrupamento feature a feature. Como trabalho futuros, pretende-se analisar o desempenho do protocolo de negociação por agrupamento frente a distúrbios imprevistos no chão-de-fábrica, como por exemplo, quebras de recursos e falta de matéria-prima. Também espera-se analisar as reduções de custos de setup e de transporte. Também pretende-se ampliar o grau de complexidade do sistema através do uso de seqüenciamento dinâmico combinado com o uso do planejamento de processo

dinâmico. Atualmente a entrada das ordens é feita de maneira estática. Finalmente se pretende utilizar o protocolo proposto para a análise de redução de tempo de setup em outros layouts produtivos, como o celular e o *flow shop*.

7. REFERÊNCIAS

1. SMITH. S. Is scheduling a solved problem? In: PROCEEDINGS FIRST MULTI-DISCIPLINARY INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCHEDULING: THEORY AND APPLICATIONS (MISTA 03), 2003, Nottingham, UK.
2. KHOSHNEVIS, B., Q. CHEN. Integration of process planning and scheduling functions. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 2, p. 165 – 176, junho 1991.
3. PALMER G. J. A simulated annealing approach to integrated production scheduling. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 7, n. 3, p. 1996, 163 – 176, junho 1996.
4. LEE, H., KIM S. S. Integration of process planning and scheduling using simulation based genetic algorithms. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 8, n. 8, p. 586-590, outubro 2001.
5. CHRYSSOLOURIS G., CHAN S., COBB W. Decision making on the factory floor: An integrated approach to process planning and scheduling. **Robotics & Computer-Integrated Manufacturing**, v. 1, n. 3/4, p. 315 – 319, 1984.
6. J. DETAND, J., KRUTH, J. P., KEMPENAERS J. A computer aided process planning system that increases the flexibility of manufacturing. In: IPDES - ESPIRIT PROJECT 2590 WORKSHOP, 1992.
7. SHAW M. J. P., WINSTON A. B. Automatic planning and flexible scheduling: A knowledge-based approach. In: PROCEEDINGS OF IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS & AUTOMATION, 1985.
8. ZHANG, H., MALLUR, S. An integrated model of process planning and production scheduling, **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 7, n.6, p. 356 – 364, 1994.
9. MÖNCH, L., STEHLI, M., SCHULZ, R. An agent-based architecture for solving dynamic resource allocation problems in manufacturing. IN: PROCEEDINGS OF 14TH EUROPEAN SIMULATION SYMPOSIUM, 2002, Europe.
10. WANG, Y. H., YIN, C. W., ZHANG Y. A multi-agent and distributed ruler based approach to production scheduling of agile manufacturing systems. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 16, n. 2, p. 81-92, 2003.
11. J. USHER. Negotiation-based routing in job shops via collaborative agents, **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 14, n. 5, p. 485-558, outubro 2003.

MANUFACTURE OF PARTS COMPOSES OF MACHINING FEATURES USING A GROUPING MODEL: A MULTIAGENT SYSTEM-BASED APPROACH

João Carlos E. Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. jcarlos@emc.ufsc.br; jcf@grucon.ufsc.br

Izabel Cristina Zattar

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. izabelzattar@netvision.com.br

João Gabriel G. Granado

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. gabrielgranado@gmail.com

Rodrigo Morasco

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: (0xx48) 3721-9387 ramal 212 fax: (0xx48) 3721-7615. rodrigo_ufsc@yahoo.com.br

***Abstract.** In this paper a multiagent system with a heterarchical structure is described for decision making about the manufacture of parts composed of machining features in a manufacturing system with a functional (job shop) layout. A negotiation protocol is applied by grouping of machining features with extended period, where each task is announced and later treated as the total sum of the groups of machining features that compose the task. The negotiation by grouping presents better results with regard to the flow time associated with the lower number of setups, compared with the negotiation feature by feature, which is usually used in works of this nature. The criteria of flow time and queue time will be used for evaluating of performance of the simulations, in which the two types of negotiation protocols will be compared. A first model was created as a test prototype: it is a job shop environment composed of ten resources divided into five groups: CNC machining centers, CNC milling machines, drill presses, universal milling machines, and universal lathes. The parts considered in the experiment were divided into prismatic and rotational, resulting in a total of ten different parts, five in each category. Each part is composed of a variable number of machining features, between two and nine chosen from a total of 31 feature types. The paper is divided into five sections, besides the summary, an introduction, the contextualization and description of the problem in hand, the presentation of the case study, the analysis of the results and conclusion.*

Keywords: Machining features, Job shop, Negotiation by feature grouping, Multi-agent systems.