

# SELEÇÃO DE SOFTWARES DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO BASEADOS EM CAPACIDADE FINITA ATRAVÉS DA RELAÇÃO ENTRE O AMBIENTE PRODUTIVO E O MODELO DE SCHEDULING

**João Carlos Espíndola Ferreira** [jcarlos@emc.ufsc.br](mailto:jcarlos@emc.ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica - GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900  
Florianópolis, SC, Brasil

**Izabel Cristina Zattar** [izabelzattar@netvision.com.br](mailto:izabelzattar@netvision.com.br)

Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica - GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900  
Florianópolis, SC, Brasil

**Resumo.** A preocupação com a integração da cadeia de suprimentos, a mudança do foco para o cliente, a necessidade de reduzir custos e garantir prazos têm feito com que as ferramentas de planejamento e programação da produção baseadas no conceito de capacidade finita tenham conquistado cada vez mais espaço na gestão da manufatura nas duas últimas décadas. Apesar do interesse das empresas em adotar tais sistemas, o assunto ainda é tratado com receio. Por um lado as empresas sentem-se vulneráveis em implantar um sistema que tornará o planejamento da produção o órgão vital de decisão; por outro lado a não adoção de tais sistemas poderá acarretar perdas que resultarão na falta de competitividade. Este artigo busca esclarecer as seguintes dúvidas: quais são as ferramentas baseadas em capacidade finita e quais suas funções principais, quais as abordagens de scheduling utilizadas e qual a relação entre estes modelos e as características do ambiente produtivo. Também será brevemente descrito um estudo de caso, relatando as formas de seqüenciamento adotadas na implantação de uma ferramenta APS numa empresa que possui três ambientes produtivos distintos: montagem, fundição e usinagem de peças. Ao final são apresentadas as conclusões sobre o modelo adotado, relacionando-o com a revisão bibliográfica.

**Palavras-chave:** capacidade finita, seqüenciamento, FCS, APS.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de programação com capacidade finita são definidos pelo DTI – *Departament of Trade and Industry* (England, 2002) como sistemas baseados na simulação dos processos de manufatura. Eles têm como entrada basicamente a demanda, e seu resultado consiste de um plano de produção de curto prazo. Como o modelo utilizado para a simulação é fiel à reprodução das restrições da manufatura (daí provém o termo *Capacidade Finita*), o resultado é um plano de produção viável.

Dois sistemas se destacam nesta categoria:

- *FCS - Sistemas com Capacidade Finita* - que possuem como principal característica considerar a capacidade do sistema produtivo como a restrição principal para a tomada de decisão, buscando garantir que a programação da produção seja viável.

- *APS –Sistemas de Planejamento Avançado* - que estendem o poder dos sistemas de capacidade finita para além da questão da capacidade produtiva em relação à demanda. Eles também reconhecem e consideram as restrições provenientes da matéria-prima, isto é, planejam as futuras entregas de matéria-prima para o cumprimento das ordens de produção e atuam na demanda do suprimento, programação, execução e otimização da programação da produção.

### 1.1. O Escopo dos Sistemas Baseados no Conceito de Capacidade Finita

Atualmente pode-se observar o uso dos sistemas FCS e APS em praticamente todos os três níveis de planejamento da manufatura: estratégico, tático e operacional. Muitas empresas estão optando por trabalhar com sistemas híbridos (como por exemplo, os ERP + APS ou MRP + FCS) na execução de seu plano mestre, obtendo desta forma maior controle de estoques e acuracidade nos prazos. A Figura (1) apresenta uma visão simplificada do escopo dos sistemas baseados em capacidade finita.

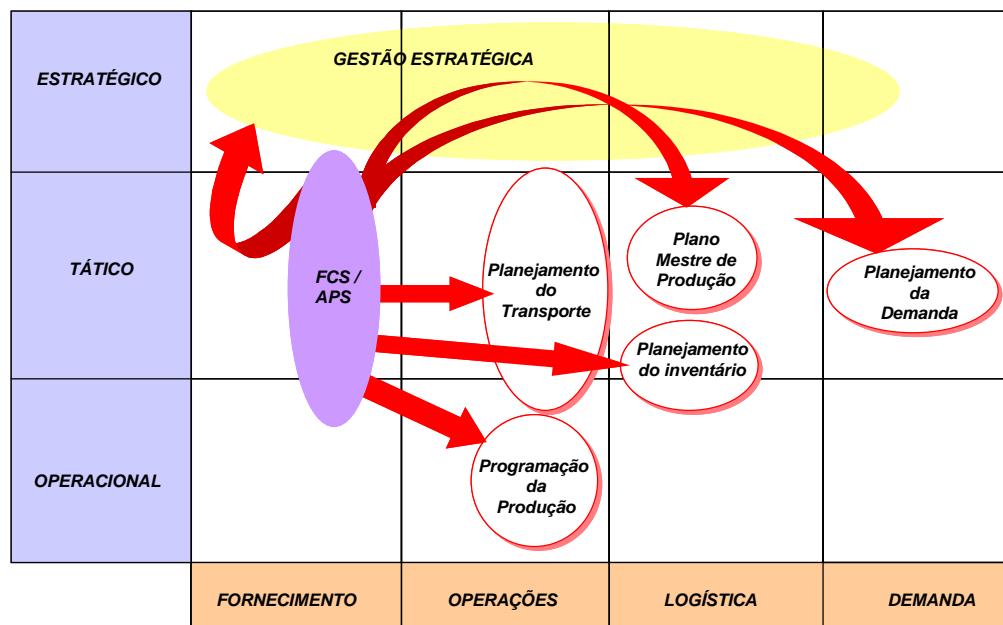


Figura 1. Escopo dos sistemas baseados em capacidade finita

Para realizar tarefas tão extensas, com grande volume de dados e por vezes em sistemas produtivos complexos, os sistemas baseados em capacidade finita vêm sendo desenvolvidos através do uso de diversas ferramentas de programação. A velocidade de processamento na análise dos dados e das possíveis opções é vital na busca de uma solução, que se não for ótima, deverá ser a melhor possível.

### 2. PRINCIPAIS ABORDAGENS DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADAS NOS SISTEMAS COM CAPACIDADE FINITA

Várias abordagens são utilizadas nos sistemas de programação da produção e não existe um consenso entre os diversos autores. Para este artigo são citadas as quatro principais definições citadas por vários autores (Plenert e Kirchmier, 2000; Reklaitis, 2000; Sadowsky, 1998 e Taylor, 2001), que são: programação baseada em recursos - *resource-based*, otimização, programação baseada em trabalho - *job-based*, programação baseada em eventos - *event-based*.

É importante citar que a maioria dos sistemas FCS/APS comerciais são baseados nas duas últimas abordagens, *job-based* e *event-based*, às quais será dado um maior destaque neste trabalho.

## 2.1. Seqüenciamento Baseado em Recursos – *Resource-Based*

A programação baseada em recursos também é chamada de programação por restrições ou de manufatura sincronizada. Sua idéia geral é localizar os gargalos de uma linha e garantir que sua taxa de ocupação seja sempre a mais alta possível. As operações remanescentes nos recursos não gargalos serão seqüenciadas utilizando técnicas de seqüenciamento para frente ou para trás (*forward/backward*).

Por gargalo se entende qualquer recurso com capacidade igual ou inferior à demanda solicitada. Já uma restrição pode ser qualquer regra, limitação física, política interna ou outro fator que impeça um maior desempenho no resultado da organização. A Figura (2) apresenta um exemplo de programação baseada em restrições.

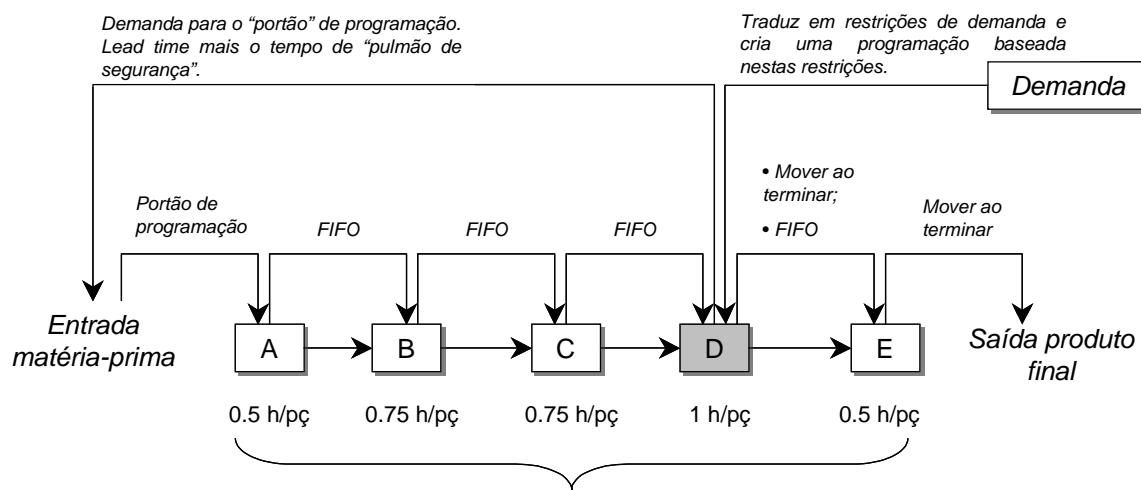


Figura 2. Programação baseada em restrições (adaptado de Bolander e Taylor, 2000)

No exemplo acima observa-se que inicialmente é identificada a restrição do sistema, que neste caso é o processo D. Para melhorar o tempo de atravessamento (*throughput*), a restrição é programada primeiramente. Isto é feito transformando-se as **informações de demanda**, como tempo e quantidade, em **restrições de demanda** e em seguida é elaborando a melhor programação possível para a restrição. Todos os outros processos são subordinados a restrição. Também se pode notar que o lead time anterior à restrição é na verdade o tempo esperado nos processos A, B e C e este tempo é somado com um tempo de pulmão<sup>1</sup>.

### 2.1.1. Utilização do Seqüenciamento Baseado em Recursos

Reklaitis (2000) menciona que, quanto à qualidade da solução, o foco é a obtenção de soluções aceitáveis, porém não otimizadas. Pequenas mudanças paramétricas podem afetar significativamente o resultado final, alterando o grau de interação que as restrições terão sobre o seqüenciamento final. Este

<sup>1</sup> Pulmão - lote de segurança. É utilizado para proteger e abastecer a restrição de matéria-prima, possibilitando que não haja interrupções no seu trabalho.

tipo de seqüenciamento tende a produzir intervalos de tempo ocioso (*gaps*) e é altamente sensível a mudanças.

## 2.2. Programação Otimizada – *Optimization Scheduling*

São métodos baseados normalmente em algum procedimento de busca, com a qualidade da solução diretamente dependente de uma quantidade de tempo reservada para a solução e da qualidade da ferramenta de busca. Entre as ferramentas mais conhecidas destacam-se os algoritmos genéticos, *simulated annealing* e *branch and bound*.

### 2.2.1. Utilização da Programação Otimizada

Estes métodos têm como principal ponto negativo o aumento em escala exponencial do tempo de resolução, ocorrendo proporcionalmente ao aumento da complexidade do problema a ser seqüenciado (aumento do número de variáveis).

Alguns autores (Reklaitis, 2000 e Sadowski, 1998) não recomendam este tipo de solução para problemas simples do dia a dia. De um modo geral, conforme Sadowski (1998), as ferramentas de otimização tendem a trabalhar muito bem em problemas de seqüenciamento de alta complexidade, porém podem exigir muito tempo para gerar uma solução, o que não os indica para empresas com grande variação no mix de produção.

## 2.3. Programação Baseada em Ordens – *Job-Based*

Também conhecida como *order-based*, *blocked-time* ou carregamento horizontal, utiliza a prioridade da ordem como critério para definir a seqüência em que as ordens serão processadas.

Este método escolhe a ordem com maior prioridade e seqüencia todas as tarefas que a constitui. Após concluir este seqüenciamento, repete-se a operação para a ordem com a segunda maior prioridade e continua-se desta forma até que todas as ordens estejam seqüenciadas.

Sadowski (1998) explica que a escolha do critério de prioridade é feita através de um grande número de regras disponíveis, que tendem a ser bastante simples, como as regras estáticas (data de entrega, prioridade de atendimento a cliente, entre outras). Já Plenert e Kirchmier (2000) alertam que é importante observar que as prioridades estabelecidas pelo usuário sobreponem-se às criadas pelo sistema e isto pode diminuir a funcionalidade do mesmo. A Tabela (1) apresenta três ordens a serem seqüenciadas, as operações que as constituem e o tempo de cada operação.

Tabela 1. Ordens para seqüenciamento (Taylor, 2001)

Ordem	Operações	Duração	Tempo inicial	Tempo final
1	A	10	0	40
	B	15		
	C	10		
2	A	5	0	45
	C	15		
3	A	5	10	50
	B	5		
	C	5		

A Figura (3) apresenta o seqüenciamento das ordens da Tab. (1) utilizando-se a abordagem *job-based*.

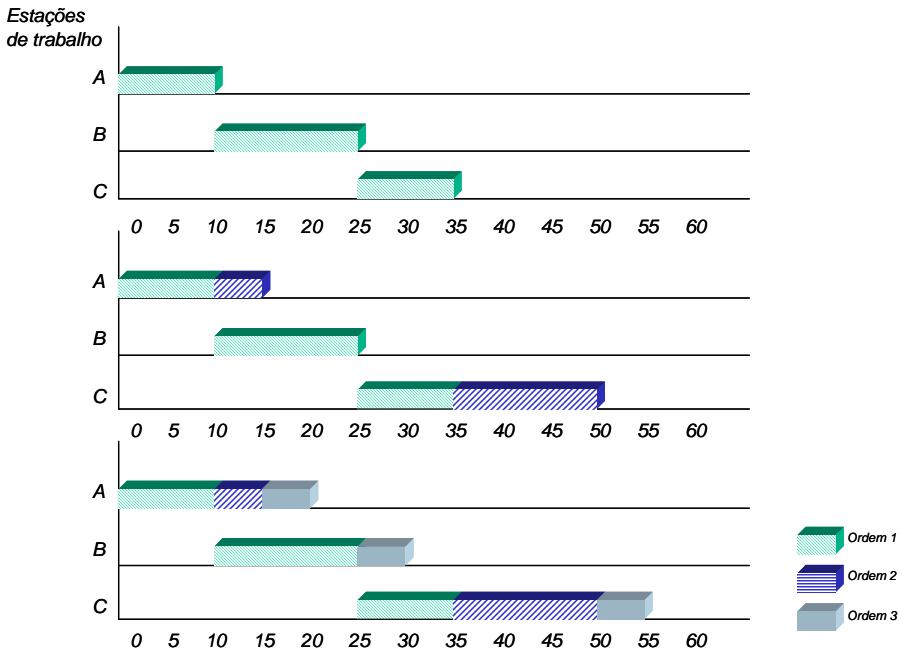


Figura 3. Seqüenciamento *job-based* (adaptado de Taylor, 2001)

Observa-se ao final do seqüenciamento que existem vários tempos de espera não preenchidos (*gaps*) na programação.

### 2.3.1. Utilização da Programação Baseada em Ordens

Segundo Sadowski (1998), este método tende a ser bastante rápido, porém costuma produzir intervalos ociosos, aumentando o tempo de ciclo de trabalho. Além disso, este método não é aplicável com restrições especiais, como por exemplo, seqüência dependente de setup.

Já Plenert e Kirchmier (2000) lembram que os sistemas *job-based* costumam usar uma série de seqüenciamentos para frente e para trás (*forward/backward*) para tentar reduzir o número de intervalos não utilizados. Porém os autores admitem que em muitos casos um ajuste por parte do planejador da produção é imprescindível.

Esta abordagem trabalha bem em ambientes em que é importante fazer o seqüenciamento de poucas ordens de alta prioridade no menor tempo possível. Também funciona relativamente bem em ambientes com baixo nível de utilização da capacidade.

### 2.4. Seqüenciamento Baseado em Eventos – *Event-Based*

Este tipo de seqüenciamento é também conhecido como *simulation-based* ou carregamento vertical. Conforme Sadowski, (1998), esta abordagem utiliza eventos discretos ou a combinação entre eventos discretos e contínuos para simular o modelo de produção, testando seqüenciamentos alternativos. A Figura (4) apresenta o seqüenciamento das ordens da Tab. (1) aplicando-se o seqüenciamento baseado em eventos, onde se observa uma diminuição nos intervalos ociosos e uma redução no tempo total do seqüenciamento.

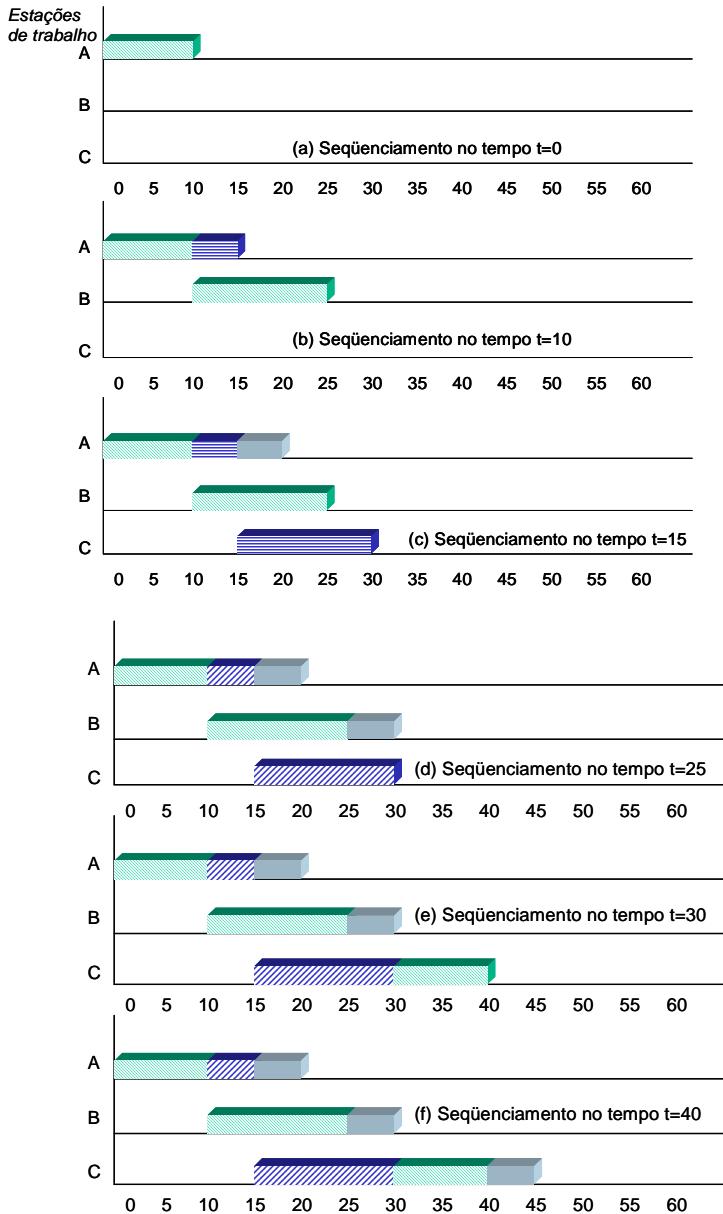


Figura 4. Seqüenciamento de tarefas em um sistema *event-based* (adaptado de Taylor, 2001)

Sadowski (1998) frisa que a simulação somente pode corrigir conflitos entre ordens a partir do uso de regras de expedição ou através da aplicação de um atraso no início de ordens que requeiram os mesmos recursos produtivos.

#### 2.4.1. Utilização do Seqüenciamento Baseado em Eventos

O seqüenciamento baseado em eventos não funciona adequadamente em todos os sistemas produtivos e necessita de alguns cuidados para seu melhor desempenho, já que todas as ordens ficam disponíveis na fila das máquinas e os eventos ocorrem nos tempos designados de simulação. Isto pode causar alguns problemas, pois as ordens de maior prioridade disponíveis são seqüenciadas em primeiro lugar. Esta abordagem tende a manter a máquina ocupada, entretanto não antecipa a futura chegada de novas ordens de alta prioridade. Deste modo uma ordem de baixa prioridade pode iniciar e bloquear uma ordem de alta prioridade que chegou a fila um pouco depois da anterior, Taylor (2001).

O seqüenciamento baseado em eventos trabalha bem em ambientes onde a alta utilização da capacidade é importante e todas as ordens têm igual prioridade.

Já Sadowski (1998) defende o seqüenciamento baseado em eventos dizendo que este método tende a produzir um menor número de intervalos ociosos, e pode fornecer boas soluções em sistemas onde a seqüência dependente do setup ou outra restrição especial se apresente.

### 3. ESTUDO DE CASO

Fundada em 1963 em Joinville, SC, a Schulz S/A iniciou suas atividades como uma pequena fundição. Atualmente ocupa uma área construída de 49 mil m<sup>2</sup> e emprega em torno de 1200 funcionários.

Além da liderança latino-americana no segmento de compressores de ar alternativos de pistão e de diafragma, a empresa investiu na linha de compressores a parafuso e no segmento de componentes fundidos e usinados para o setor automotivo. A Figura (5) mostra um organograma simplificado da Schulz S/A e suas respectivas divisões.

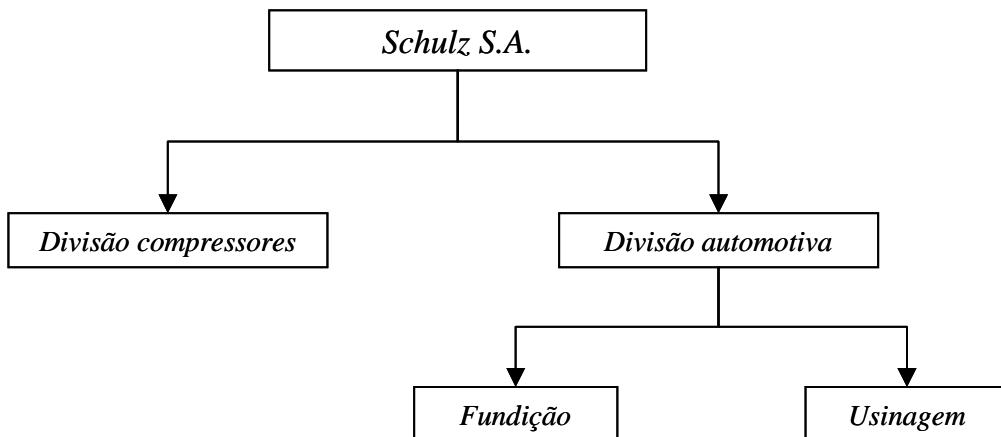


Figura 5. Organograma simplificado da Schulz S/A

#### 3.1. Estrutura de Produção

A divisão de compressores da Schulz S/A é responsável pela fabricação de 21.000 unidades/mês com uma média de 800 itens de produtos finais, e possui um sistema produtivo discreto, repetitivo em lotes, puxado (*kanban*) e com *layout* misto. Trabalha basicamente no regime MTS - *make to stock*, correspondendo a aproximadamente 90% da produção.

A divisão automotiva (unidade de fundição) fabrica peças em ferro fundido cinzento e ferro fundido nodular em moldagem mecanizada, com peso de até 100 kg. Na produção de peças tem uma capacidade de 30.000 toneladas de peças/ano além de possuir mais de 1000 itens em atividade atualmente. No segmento fundição trabalha com 90% a 95% de sua produção no regime MTO - *make to order* e a matéria-prima é controlada através de média de consumo mensal, de forma que não é um dos fatores restritivos da fundição.

Já a unidade de usinagem oferece serviços de usinagem e montagem de conjuntos para indústria automobilística, setor de transportes pesados, agrícola e de elevadores. Nesta unidade trabalha-se exclusivamente no regime MTO.

### 3.2. Características do Planejamento e Programação da Produção

Como visto na estrutura da produção, a Schulz possui, em suas diversas divisões, objetivos táticos diferenciados que irão se refletir no plano mestre da produção.

Na divisão de compressores o ambiente MTS é caracterizado por produtos que irão ser confeccionados para estoque e só então consumidos. Neste tipo de ambiente o controle de estoque deve ser rígido e a acuracidade grande para evitar estoques intermediários. Normalmente os estoques significam uma grande parcela no custo operacional da empresa. O controle dos estoques de matéria-prima, intermediários ou de produtos acabados é a maior prioridade do planejamento e programação da produção e o balanceamento das linhas torna-se mais importante que o uso total da capacidade produtiva.

Já na divisão automotiva(usinagem e fundição) o ambiente MTO caracteriza-se por pouco ou nenhum estoque intermediário, podendo ter estoques de matéria-prima em alguns casos.

### 3.3. Sistema APS Adotado na Schulz

Quando a Schulz iniciou a procura por um sistema baseado em capacidade finita para auxiliar na programação da produção, sua principal prioridade era encontrar um software que fosse capaz de se adaptar as diferentes configurações da empresa (MTO e MTS) e as conseqüentes exigências destas diferenças.

Em 2001 a Schulz instalou o Drummer APS, comercializado pela empresa Linter Sistemas Ltda, na divisão de compressores e em 2002 a empresa deixou de utilizar seu sistema MRP e começou sua expansão do APS para as demais divisões da empresa, trabalhando com uma configuração híbrida (ERP + APS).

O software baseia-se na abordagem *job-based* e também possui características *resource-based*, trabalha com o algoritmo Simplex estendido e com regras de prioridades, além de seguir as heurísticas da Teoria das Restrições, o que era uma exigência inicial da empresa.

Acredita-se que um dos fatores mais importantes para a escolha do software foi a ênfase ao controle de estoques, o que o tornou uma ferramenta auxiliar também no dimensionamento de “pulmões” através da possibilidade de consulta do balanceamento dos estoques.

A empresa faz uso do módulo de gestão da demanda e das estatísticas geradas por ele, como:

- Valor estoque: indica o valor monetário total do inventário da empresa, calculado como o somatório das quantidades de cada item acabado, semi-acabado e matéria-prima comprada, multiplicadas pelos seus custos totalmente variáveis (CTV);
- Giro de estoque projetado: indica o giro de estoque projetado para o ano, de acordo com os valores calculados em memória até o momento;
- Relação MTS/MTO (quantidade): indica a participação percentual de ordens MTO e MTS, em número de registros do total de demandas PMP lidas em memória;
- Relação MTS/MTO (ganho): espelha a mesma relação anterior, desta vez ponderada pelo ganho total gerado pelas ordens MTO e pelas MTS (produtos acabados com reabastecimento de estoque).

Além disto, algoritmos especiais foram desenvolvidos para a divisão de usinagem, onde havia a necessidade de processamento simultâneo de itens diferentes, com ferramentais específicos e cujo tempo de execução pode variar.

Hoje o software é utilizado para a confecção das ordens de compra e produção na divisão de compressores e para emissão de ordens de produção nas demais unidades.

### 3.3.1. Resultados Alcançados

Após a implantação do software Drummer APS, vários resultados foram percebidos. A comparação abaixo foi realizada entre os anos de 2001 e 2002:

- Aumento no giro de estoques de matéria-prima (ano) de 33,52%;
- Aumento no giro de estoques de produtos acabados (ano) de 23,37%;
- Diminuição do inventário em processo (dias) de 46,59%;
- Diminuição do inventário total (dias) de 17,05%;
- Diminuição do lead time (dias) de 15,13%; e
- Melhoria de 3,94% no nível de atendimento chegando ao total de 91,90%.

Com os resultados positivos da implantação até este ponto, a empresa espera muito em breve utilizar o Drummer para a confecção total do seu plano mestre de produção.

## 4. CONCLUSÃO

Tendo em mente os conceitos vistos neste trabalho pode-se apresentar algumas conclusões a respeito da relação entre a utilização dos sistemas baseados em capacidade finita e o modelo produtivo.

A abordagem *resource-based* trabalha bem em ambientes MTS onde a preocupação com o balanceamento das linhas é maior que a taxa de ocupação dos recursos produtivos, isto confere à escolha da Schulz um grande nível de acerto na escolha do sistema APS, principalmente ao observarmos o ambiente produtivo da divisão de compressores (90% MTS).

Porém em ambientes com múltiplas restrições este modelo pode vir a tornar-se lento devido ao grau de interação entre as restrições. Gargalos dinâmicos não são tratados na sua forma pura, sendo que em sua maioria os gargalos devem ser estáticos e pré-definidos. No caso da Schulz as restrições se atêm ao *lead time* dos fornecedores e alguns gargalos produtivos que são tratados de forma estática. Novamente a escolha do software se adequou à necessidade da empresa.

Já na otimização nem sempre o tempo de processamento na busca da solução ótima é permissível. Outro fator que deve ser levado em consideração é seu custo proibitivo em se tratando de sistemas comerciais. Ambientes produtivos com grandes variações no seu *mix* de produção devem pesar bem as vantagens e desvantagens dessa abordagem, que de uma forma geral se adequa a quase todos os níveis de complexidade.

A abordagem *job-based*, também adotada pelo sistema escolhido pela Schulz, comprova sua boa aderência à teoria neste caso. É feito um ajuste para eliminação dos *gaps* antes da emissão das ordens de produção. Como a divisão de compressores hoje trabalha com uma capacidade produtiva ociosa (devido a uma reestruturação interna), o sistema tem apresentado um bom seqüenciamento e controle de matéria-prima como resultado final.

Ao mesmo tempo, observa-se que o sistema escolhido confere maior agilidade de resposta ao sistema MTO adotado pelas unidades da divisão automotiva. Isto é possível devido a inclusão de regras específicas ao processo e a capacidade de criação de cenários, o que permite um estudo prévio da divisão de lotes a ser trabalhada.

Por último a abordagem *event-based* adequa-se melhor a sistemas produtivos com alta utilização de capacidade e pouca variação de prioridades entre as ordens, o que hoje não se enquadra na realidade da empresa na divisão de compressores, porém atenderia as unidades da divisão automobilística.

Como sugestão, seria interessante modelar o sistema da empresa do estudo de caso em um sistema *event-based* e comparar os resultados ao atual APS utilizado (*job-based e resource-based*), uma vez que ambas abordagens parecem adequar-se bem aos diversos sistemas produtivos da empresa.

## 5. REFERÊNCIAS

- BOLANDER, S. F. e TAYLOR, S., 2000, "Scheduling techniques: A comparison of logic", *Production and Inventory Management Journal*; First Quarter 2000; 41, 1; ABI/INFORM Global pp. 1-5.
- CÔRREA, H.L., GIANESE, I.G.N. e CAON, M., 2001, "Planejamento, Programação e Controle da Produção", 4. ed. São Paulo: Atlas, pp. 225 –231.
- ENGLAND. Department of Trade and Industry, 2002, "Finite Capacity Scheduling: an Introductory Guide for Manufacturers", London, pp. 4.
- PLERNERT, G. e KIRCHMIER, B., 2000, "Finite Capacity Scheduling: Management, Selection and Implementation", ed. John Wiley & Sons, Inc, New York, pp. 44-58.
- REKLAITIS, G.V., 2000, "Overview of Planning and Scheduling Technologies", *Latin American Applied Research*, pp. 287-292.
- SADOWSKI, R., 1998, "Selecting Scheduling Software", *IEE Solutions*: Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA, pp. 2.
- TAYLOR, S.G., 2001, "Finite Capacity Scheduling Alternatives", *Production and Inventory Management Journal*, pp 70-71.

## 6. AGRADECIMENTOS

À Schulz S/A pela colaboração e autorização da publicação dos dados do estudo de caso e à Linter Sistemas Ltda pelas informações sobre o sistema Drummer APS.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### **SELECTION OF SOFTWARES FOR PRODUCTION SCHEDULING BASED ON FINITE CAPACITY THROUGH THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PRODUCTION ENVIRONMENT AND THE SCHEDULING MODEL**

**João Carlos Espíndola Ferreira and Izabel Cristina Zattar**

Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Brazil

*Abstract: The concern about supply chain integration, the change of focus to the customer, the need to reduce costs and meet deadlines have led the production planning and scheduling tools based on the concept of finite capacity to become more popular among the management tools in the last two decades. In spite of the interest of the companies in adopting such systems, the subject is still treated with fear. On one side the companies feel vulnerable in implanting a system that will turn production planning a vital decision area of the business; on the other hand, adopting such systems may cause losses that will result in lack of competitiveness. This paper aims at clarifying the following doubts: which are the tools based on finite capacity and which are their main functions, which are the scheduling approaches used and which is the relationship between these models and the characteristics of the production environment. A case study will also be briefly presented, illustrating the sequencing ways adopted in implanting a APS tool in a company that has three different production environments: assembly, foundry and machining. Finally conclusions about the adopted model are presented, relating it with the bibliography survey.*

**Keywords:** finite capacity, scheduling, FCS, APS.