

MICROPLANO – Um sistema de apoio à decisão para o planeamento da produção na indústria dos plásticos

Cristóvão Silva *

Luís M. Ferreira †

* Dept de Engenharia Mecânica – Universidade de Coimbra
cristovao@gestao.dem.uc.pt

† Universidade Católica Portuguesa – Pólo da Figueira da Foz

Abstract

In this paper we introduce a production-scheduling problem found in a Portuguese small medium enterprise (SME) that produces small plastic parts for the electric/electronic industry. The parts are obtained by plastic injection onto a mould, in a shop composed by 32 parallel machines. The characteristics of the production system are presented and a two-step algorithm, choose to schedule all the jobs, is referred. This algorithm, based in two known heuristics, has been incorporated in a decision support system (Microplano), which also contains a database management module and a user interface module. Microplano has been implemented in the factory and is being in use on a regular basis.

Resumo

Neste artigo apresenta-se um problema de planeamento da produção encontrado numa PME portuguesa, que produz componentes de plástico essencialmente para a indústria eléctrica e electrónica. Estes componentes são obtidos por injeção num “shop-floor” composto por 32 máquinas em paralelo.

O sistema produtivo desta PME é apresentado pormenorizadamente e descreve-se o algoritmo escolhido para lotear e sequenciar as encomendas recebidas. Esse algoritmo, baseado em duas heurísticas conhecidas, tem como objectivo planear a execução das encomendas, procurando minimizar o número de mudanças de ferramenta nas máquinas e garantir que os prazos de entrega requeridos pelos clientes sejam cumpridos. Esse algoritmo foi incorporado num sistema de apoio à decisão, chamado Microplano, que também se descreve neste artigo. O Microplano foi implementado na empresa e está a ser utilizado regularmente para obter os planos de produção.

Keywords: Production planning, Lot-size scheduling, Decision support systems, Plastic injection industry

Title: MICROPLANO – A decision support system for production planning in the plastic industry

1 Introdução

Este caso de estudo foi conduzido numa PME portuguesa que produz componentes de plástico por injeção, essencialmente para a indústria eléctrica/electrónica. Estes componentes são obtidos num “shop-floor” composto por 32 máquinas de injeção em paralelo e não idênticas. Alguns dos componentes fabricados necessitam de sofrer apenas a operação de injeção, enquanto outros têm de ser sujeitos a operações de acabamento ou de montagem realizadas manualmente. Os planos de produção desta empresa costumavam ser obtidos manualmente, mas devido ao seu rápido crescimento os responsáveis sentiram a necessidade de melhorar o processo de planeamento da produção. Neste artigo apresenta-se um sistema de apoio à decisão desenvolvido para a empresa acima referida. Esse sistema foi desenvolvido para elaborar os planos de produção para o departamento de injeção da empresa, para o qual se pretendiam dois objectivos:

- Respeitar as datas de entrega, ou pelo menos, minimizar os atrasos verificados.
- Minimizar o número de mudanças de molde.

O sistema de apoio à decisão foi implementado na empresa, onde tem sido utilizado com sucesso para a obtenção de planos de produção.

2 O caso de estudo

A empresa seleccionada para caso de estudo produz pequenos componentes de plástico para a indústria eléctrica/electrónica, sendo a maioria destinados ao mercado externo. Os maiores clientes desta empresa colocam, duas vezes por ano, um conjunto de reservas a seis meses, que representam uma previsão das suas necessidades para o semestre. Essa informação é actualizada mensalmente com a procura provável para o próximo mês. Finalmente, quinzenalmente os clientes colocam encomendas firmes, indicando a quantidade e a data de entrega requerida para cada produto. A empresa fabrica uma grande gama de produtos injectados em mais de 600 moldes diferentes, que são propriedade dos clientes, mas são geridos pela empresa. Para satisfazer a procura, a empresa tem de planear a produção de cerca de 300 encomendas por semana.

Os componentes requeridos são fabricados por injeção de plástico num molde composto por duas partes metálicas. Quando essas duas partes se encontram fechadas, formam uma cavidade com a forma requerida para o produto. Em cada ciclo a máquina fecha o molde, injecta plástico para a(s) sua(s) cavidade(s), abre o molde e ejecta os componentes. Após a operação de injeção alguns produtos estão acabados ao passo que outros necessitam de algumas operações de acabamento. Essas operações são conduzidas no departamento de montagem da empresa e consistem essencialmente na montagem de dois ou mais componentes para obter o produto acabado ou na adição de componentes metálicos (pinos e enrolamentos) aos itens obtidos por injeção.

Um molde pode ter mais do que uma cavidade, e essas cavidades podem ter a mesma forma ou formas diferentes. Assim, em cada ciclo uma máquina pode injectar um componente, vários

componentes iguais ou vários componentes diferentes. Vários componentes, obtidos em moldes diferentes, podem ser necessários para a obtenção de um produto acabado.

O sistema produtivo desta empresa é composto por 32 equipamentos em paralelo. As máquinas não são todas idênticas e conseqüentemente cada molde só pode ser montado num grupo restrito de equipamentos. As máquinas diferem na pressão que podem exercer e na capacidade de introduzir automaticamente pequenos componentes metálicos nos produtos. O problema de sequenciamento ocorre no departamento de injeção onde o planeador deve decidir em que máquina montar cada molde necessário à satisfação das encomendas, e a seqüência de processamento de todas as ordens de produção afectas ao mesmo equipamento.

Antes da implementação do sistema de apoio à decisão, o planeador gerava os planos manualmente. As seqüências resultantes eram introduzidas no “Microsoft Project” para gerar os diagramas de Gantt entregues aos operadores dos equipamentos.

3 Os algoritmos

3.1 Revisão bibliográfica

O problema descrito na secção anterior é geralmente designado por “lot size scheduling problem”, que passaremos a referir por problema de loteamento e sequenciamento. Neste tipo de problema os produtos são fabricados por lotes aos quais se encontra associada uma data de entrega. Quando se passa do fabrico de um lote de um tipo de produto para um lote de um produto de tipo diferente é necessário modificar as configurações dos equipamentos. Como essas mudanças acarretam custos e consomem tempo, o objectivo consiste em minimizar o número de mudanças necessárias, sem prejuízo para o cumprimento das datas de entrega. Assim, neste tipo de problemas deve-se procurar sequenciar a produção de modo a que o fabrico de lotes do mesmo tipo de produtos possa ser realizado sem paragens.

Para o caso em consideração neste artigo os lotes são do mesmo tipo quando correspondem a produtos fabricados no mesmo molde. Sempre que se passa de um lote para um lote de tipo diferente é necessário parar o equipamento para mudar de molde, operação essa que tem uma duração de cerca de 2 horas.

Existem muitas variantes do problema de loteamento e sequenciamento. Encontram-se modelos para máquinas únicas ou múltiplas. Neste último caso existem modelos para máquinas paralelas ou em seqüência. Na formulação deste tipo de problema podem ainda considerar-se custos de “setup”, que podem ser fixos, dependentes do produto ou dependentes da seqüência. Outra das características que varia de modelo para modelo é o tratamento que é dado ao horizonte de planeamento, que pode ser dividido ou não em micro períodos. Para uma descrição mais detalhada e uma classificação dos diferentes tipos de problemas de loteamento e sequenciamento, remete-se o leitor para Drexel and Kimms (1997).

O problema acima referido tem sido estudado por vários autores para o caso em que o horizonte de planeamento é dividido em micro períodos e a capacidade cumulativa até cada período é igual ou superior a procura existente até esse período. Nessa situação, e para o caso de uma máquina única, referem-se a título de exemplo os trabalhos de Glassey (1968), Gascon and Leachman (1988) ou Blocher and Chand (1996). Em Blazewicz *et al* (1996) apresenta-se

um algoritmo polinomial para a obtenção da solução óptima para o caso de uma máquina única. No mesmo livro os autores generalizam esse algoritmo para o caso de várias máquinas idênticas em paralelo. Pattloch et al (2001) desenvolvem uma heurística, baseada nos modelos propostos em Blazewicz et al (1996), avaliando-a recorrendo a um caso industrial. Em todos estes trabalhos os custos de posse e de produção são ignorados.

Meyer (2002) propõe um algoritmo para resolver um problema de loteamento e sequenciamento mais genérico que o referido no parágrafo anterior, continuando no entanto a considerar que a capacidade disponível até um dado instante é superior à procura cumulativa até esse instante. Esse algoritmo resolve o problema combinando as meta heurísticas de pesquisa local “threshold acceptance” e “simulated annealing”, com reotimização dual. Em Santos-Meza *et al* (2002) é apresentada um problema de loteamento e sequenciamento encontrado numa fundição, cuja estrutura se aproxima bastante da verificada para o nosso caso de estudo. Os autores desenvolvem um algoritmo, baseado na metodologia “branch and bound”, comparando-o com uma heurística mais simples direccionada para o problema em causa. Os autores concluem que algoritmos genéricos, como o apresentado no artigo, são pouco melhores que procedimentos heurísticos mais direccionados para o problema em causa para obter uma solução satisfatória em tempo útil.

Para uma revisão das metodologias seguidas por diferentes autores para a resolução de diferentes problemas de loteamento e sequenciamento propõe-se a leitura de Staggemeier and Clark (2001).

Tendo em conta a especificidade do problema analisado neste artigo e os resultados apresentados em Santos-Meza *et al* (2002), optámos por desenvolver um procedimento heurístico que permitisse obter uma solução aceitável em tempo útil. Esta opção deveu-se essencialmente ao facto de se pretender implementar a metodologia desenvolvida numa empresa, o que implicava:

- procedimentos simples de entender para facilitar a aceitação, por parte dos utilizadores, do sistema de apoio à decisão a desenvolver,
- necessidade de obter rapidamente uma solução satisfatória, que poderia ser posteriormente manipulada com a ajuda do sistema de apoio à decisão,
- dificuldade em quantificar alguns parâmetros do problema. Por exemplo, para algumas encomendas pode ser aceitável atrasar a entrega por algum tempo se isso permitir poupar uma paragem, não sendo no entanto aceitável para outras encomendas.

Assim, pareceu-nos que a abordagem mais correcta ao problema que nos era colocado consistia em desenvolver uma metodologia simples, que permitisse obter uma solução satisfatória em tempo útil. Pensamos que essa metodologia, devidamente suportada por um sistema de apoio à decisão, poderia ajudar na resolução do problema de planeamento da produção colocado pela empresa que nos serviu de caso de estudo.

A metodologia que implementamos assenta em duas heurísticas, apresentadas em Sule (1997), e descritas nas secções 3.3 e 3.4. Essas heurísticas, não tendo sido desenvolvidas para o problema de loteamento e sequenciamento em máquinas paralelas não idênticas, podem, como se verá, conduzir a uma solução para o problema quando usadas sequencialmente.

Nas três secções seguintes descrevemos os três passos que compõem a metodologia que implementámos para o planeamento da produção tratado neste artigo.

3.2 Preparação do sequenciamento

As encomendas não são sequenciadas tal como são recebidas do cliente, é necessário proceder a algumas operações preliminares para gerar as ordens de produção e as suas características. Essas operações devem-se ao facto de:

- existir stock de produtos intermédios e acabados,
- haver diferentes produtos injectados em simultâneo no mesmo molde,
- existirem produtos que são obtidos com componentes fabricados em moldes diferentes,
- haver diferentes encomendas para o mesmo produto e data de entrega.

Num primeiro passo as quantidades de material existente no stock de produtos acabados é descontada às necessidades impostas pelas encomendas, gerando-se uma lista de todos os produtos acabados requeridos para satisfazer as encomendas. Essa lista é “explodida”, obtendo-se uma segunda lista contendo as necessidades dos componentes. A essa segunda lista subtrai-se as existências de componentes existentes em armazém, obtendo-se uma terceira lista contendo todos os componentes que devem ser injectados para satisfazer as encomendas dos clientes.

No passo seguinte essa lista é analisada, de modo a encontrar ordens de produção que são processadas em simultâneo no mesmo molde. A existência de ordens de produção desse tipo pode implicar um reajuste das quantidades a fabricar. Suponha-se por exemplo duas ordens de produção referentes a produtos fabricados no mesmo molde: uma ordem para 200 unidades de X e outra de 50 unidades de Y. O molde onde X e Y são injectados possui duas cavidades para X e uma cavidade para Y. Neste caso a segunda ordem de produção deve ser ajustada para 100 unidades de Y, sendo 50 utilizadas para satisfazer as encomendas dos clientes e as restantes para stock.

As ordens de produção referentes a produtos processados no mesmo molde para a mesma data de entrega são agrupadas numa tarefa. Assim, uma tarefa pode satisfazer uma ou mais ordens de produção.

O último passo consiste em determinar o tempo de processamento de cada tarefa, que é função do tempo de ciclo do molde, quantidade requerida e número de cavidades.

Após estes passos as tarefas geradas têm de ser sequenciadas no departamento de injeção. De modo a simplificar o problema decidiu-se originar as sequências de fabrico em dois passos.

- No primeiro passo os moldes são afectos aos equipamentos, procurando equilibrar a carga de trabalho imposta às diferentes máquinas
- No segundo passo as tarefas impostas pelos moldes afectos a uma máquina são sequenciadas, procurando-se minimizar os atrasos e o número de paragens para mudança de molde.

Para realizar estes dois passos recorre-se a duas heurísticas referidas em Sule (1997) que se descrevem nas secções seguintes.

3.3 Heurística 1 – Afecção dos moldes aos equipamentos

Considera-se que quando se afecta um molde a um determinado equipamento todas as tarefas correspondentes a produtos processados por esse molde são afectas a esse equipamento. Assim, cada molde irá impor uma carga ao equipamento onde é afecto igual ao somatório dos tempos de processamento de todas as tarefas que necessitam desse molde. A afecção dos moldes pelos equipamentos é realizada recorrendo ao algoritmo abaixo apresentado, que procura equilibrar a carga de trabalho, medida em horas, imposta aos diferentes equipamentos.

Passo 1: Calcular o índice de flexibilidade de cada molde (número de máquinas onde este pode ser montado) e para cada máquina (número de moldes que podem ser montados nessa máquina).

Passo 2: Seleccionar o molde (I) menos flexível, em caso de empate escolher o molde associado à máquina menos flexível. Do conjunto de máquinas onde o molde I pode ser montado, escolher a máquina (J) com menor carga e afectar-lhe o molde I.

Passo 3: Recalcular a carga do equipamento J, considerando a carga imposta pelo molde I.

Passo 4: Recalcular os índices de flexibilidade para todas as máquinas onde esse molde poderia ter sido montado. Repetir o passo 2, 3 e 4 até que todos os moldes tenham sido afectados a algum equipamento.

3.4 Heurística 2 – Sequenciamento das tarefas

Após a execução da heurística 1 todas as tarefas encontram-se afectas a um determinado equipamento. Com a heurística que se apresenta neste ponto pretende-se determinar a sequência pela qual devem ser processadas as tarefas afectas ao mesmo equipamento, procurando minimizar o número de mudanças de molde e garantir o cumprimento das datas de entrega. Para tal recorre-se a heurística que se apresenta de seguida.

Passo 1: Agrupar as tarefas por tipo – tarefas referentes a produtos fabricados no mesmo molde – e dentro de cada grupo ordená-las por ordem crescente das suas datas de entrega.

Passo 2: Calcular o instante de início mais próximo (IIP) de cada tarefa. O IIP de uma tarefa é definido como sendo a data de entrega – (tempo de processamento + tempo de “setup” + tempo requerido por operações posteriores à injeção)

Passo 3: Começar a sequência com uma das tarefas com menor IIP e calcular a duração da sequência.

Passo 4: Continuar a sequência afectando-lhe a tarefa seguinte do mesmo grupo até que todas as tarefas do grupo tenham sido sequenciadas ou até que a duração da sequência ultrapasse o IIP de alguma tarefa não sequenciada de outro grupo. Denote essa tarefa por k e passe ao passo 5

Passo 5: Se todas as tarefas foram afectadas pare. Se não, remova a tarefa que levou a duração da sequência a exceder o IIP de k e afecte a tarefa k . Calcule o novo valor da sequência e volte ao passo 4.

Verifica-se que esta heurística procura minimizar o número de paragens para mudança de moldes e não o tempo total dessas paragens. Esta opção é adequada para este problema, uma vez que o tempo de montagem associado aos diferentes moldes nos diferentes equipamentos não se encontra sujeito a grande variabilidade.

Os dois algoritmos acima descritos e as operações referidas para a preparação das ordens de produção foram implementados num sistema de apoio à decisão que se descreve na secção seguinte.

4 MICROPLANO: O sistema de apoio à decisão

Cada vez que o planeador pretende realizar um plano de produção, todas as encomendas são descarregadas do sistema de informação da empresa. Esse ficheiro representa todas as encomendas inseridas pelo departamento de vendas desde o último plano de produção. Essas encomendas são adicionadas à base de dados do Microplano gerando um ficheiro com todas as encomendas por satisfazer.

4.1 Preparação das ordens de fabrico

O primeiro passo realizado pelo Microplano consiste em analisar o ficheiro das encomendas, gerando as ordens de produção e as suas características de acordo com o que foi descrito em §3.1. Nesta fase o Microplano apresenta num conjunto de ecrãs, a informação relevante para a realização do plano de produção: disponibilidade dos moldes e das máquinas (algumas podem estar inoperacionais por motivo de manutenção), a matriz molde/máquinas, e as ordens de produção que devem ser sequenciadas. Após esta operação o utilizador pode aceder a dois ecrãs que lhe permitem preparar o plano pretendido. No primeiro são apresentadas todas as ordens de produção, dando-se ao utilizador a hipótese de apagar ou adicionar novas ordens de produção (ver Figura 1). Esta capacidade tem sido utilizada para eliminar ordens de produção correspondente a encomendas canceladas pelos clientes, ou para criar novas ordens quando a carga imposta ao sistema é baixa e o utilizador decide aproveitar este facto para produzir alguns itens para stock.

O utilizador pode ainda aceder à matriz molde/máquina, apresentada na figura 2, alterando-a. Neste ecrã o utilizador pode ainda definir os períodos de disponibilidade dos moldes e dos equipamentos. Quando todas as ordens de produção foram geradas o Microplano passa ao passo seguinte que consiste no carregamento dos equipamentos.

4.2 Carregamento dos equipamentos

Nesta fase o Microplano afecta cada molde a uma máquina, recorrendo à heurística apresentada na secção § 3.2. O resultado desta afectação é apresentado sob a forma de uma tabela onde se apresenta a carga imposta a cada equipamento, bem como sob a forma de um gráfico de barras

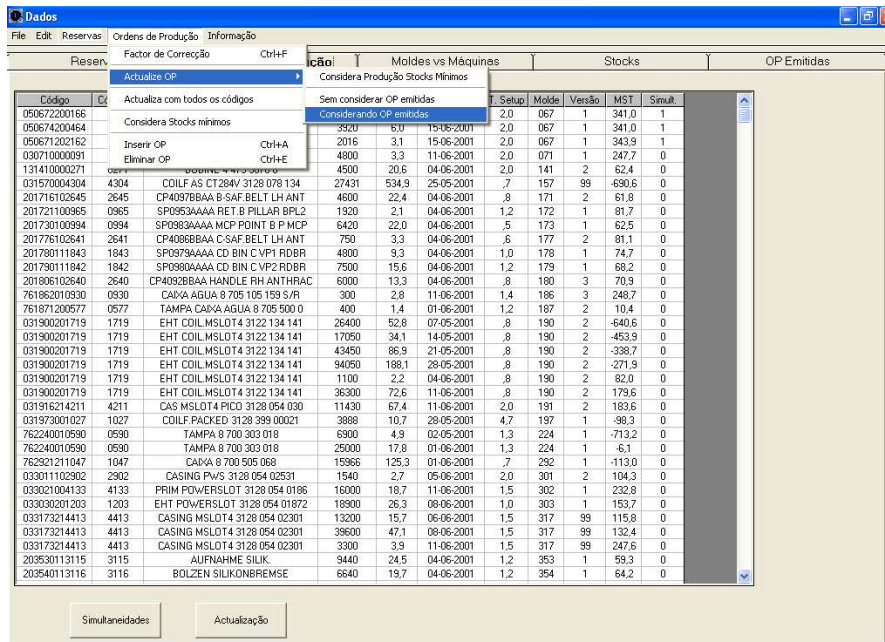


Figura 1: Ecrã dados, apresentando a lista de ordens de produção geradas pelo Microplano.

Molde	Disponível?	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
067		15,1	X	X																										
071		3,3	X	X																										
141		20,6			X																									
157		534,9				X										X														
171		22,4	X	X	X				X	X	X											X								
172		2,1											X	X	X			X				X			X		X	X	X	
173		22,0										X	X	X						X		X					X			
177		3,3	X	X					X	X	X																			
178		9,3										X	X	X			X		X						X		X		X	
179		15,6										X	X	X			X					X		X			X			
180		13,3	X											X					X	X	X								X	
186		2,8	X	X	X				X	X									X	X	X									
187		1,4	X						X	X	X										X	X								
190		436,7												X								X		X			X	X	X	
191		67,4										X																		
197		10,7																											X	
224		22,6										X	X	X			X					X								
292		125,3				X	X		X	X																				
301		2,7			X	X																								
302		18,7							X										X	X	X									
303		26,3						X	X	X																				
317		66,8	X																											
353		24,5											X	X	X							X					X			
354		19,7												X	X							X					X			
359		19,0																					X							
360		5,8				X				X													X							
364		4,0									X					X						X								
365		2,3												X								X								
371		22,0																		X		X								
373		21,8														X						X								
382	Disponível	8,4											X									X								
389		4,1	X		X	X																								
397		7,0							X					X				X	X	X									X	
404		31,7																					X							
406		10,1																							X					

Figura 2: Pormenor da matriz molde/máquina com indicação dos equipamentos indisponíveis (colunas amarelas).

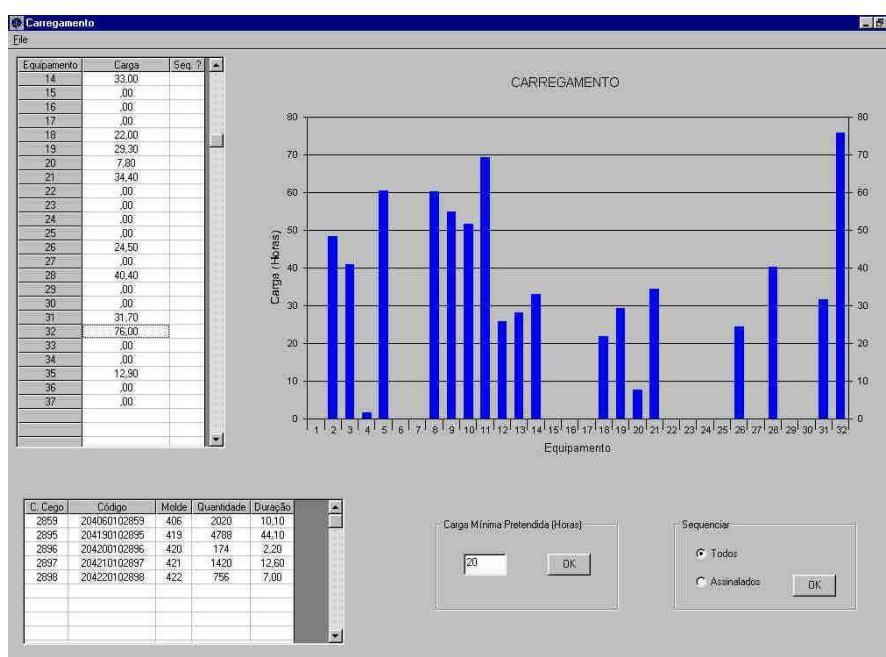


Figura 3: Ecrã onde se apresenta o resultado da afectação dos moldes aos equipamentos.

que permite avaliar rapidamente possíveis desequilíbrios entre a carga imposta às diferentes máquinas (Figura 3).

Neste ecrã o utilizador pode ainda definir uma carga mínima para os equipamentos. Por exemplo, pode não ser conveniente preparar um equipamento para que este esteja a produzir durante um período muito curto. Geralmente, nesta empresa não há interesse em arrancar com um equipamento se este não estiver a produzir pelo menos durante um turno completo.

Quando esta opção é seleccionada a carga dos equipamentos que não atinjam a carga mínima pretendida é, se possível, transferida para outros equipamentos, procurando-se sempre garantir um equilíbrio da carga imposta às diferentes máquinas.

4.3 Sequenciamento das ordens de produção

Nesta fase o Microplano obtém a sequência de produção que deve ser seguida em cada equipamento, apresentando o resultado sob a forma de uma tabela. As tarefas que serão concluídas com atraso são apresentadas a vermelho. Quando a execução de uma tarefa implica a paragem da máquina para se montar o molde requerido, o seu código é apresentado a **bold**.

O número total de ordens de produção concluídas com atraso e o número de mudança de moldes são apresentados em duas caixas de texto, para permitir um conhecimento rápido das medidas de desempenho. O ecrã onde é apresentada a sequência obtida para um determinado equipamento é apresentado na Figura 4.

O utilizador pode alterar a sequência proposta pelo Microplano, trocando a posição de uma ou mais ordens de produção. O planeador tem recorrido a esta possibilidade para procurar uma redução no número de mudanças de molde, movendo tarefas para posições adjacentes a

Código Cego	Designação	Código	Quant.	Início	T.Proc	Fim	Prazo	Pos.
0577	TAMPA CAIXA AGUA 8 705 500 0	761871200577	400	1-6-01	2,60	1-6-01	01-06-2001	1
2521	CP4014AAAA RET. FRONT DOOR F	203694102521	4500	1-6-01	18,60	2-6-01	04-06-2001	2
2517	CP4012AAAA RET. FRONT DOOR F	203690102517	3900	2-6-01	,00	2-6-01	04-06-2001	3
2518	CP4013AAAA RET. FRONT DOOR F	203691102518	1800	2-6-01	,00	2-6-01	04-06-2001	4
2522	CP4016AAAA RET. FRONT DOOR F	203695102522	1500	2-6-01	,00	2-6-01	04-06-2001	5
3861	CE4096AAAA INSERT FR B RH SE	203820103861	1200	2-6-01	9,90	2-6-01	04-06-2001	6
3862	CE4097AAAA INSERT FR B LH SE	203821103862	1200	2-6-01	,00	2-6-01	04-06-2001	7
2527	CP4031AAAA RET. FRONT DOOR F	203604102527	1500	2-6-01	5,70	3-6-01	04-06-2001	8
2524	CP4030AAAA RET. FRONT DOOR F	203601102524	1200	3-6-01	,00	3-6-01	04-06-2001	9
2523	CP4029AAAA RET. FRONT DOOR F	203600102523	900	3-6-01	,00	3-6-01	04-06-2001	10

Figura 4: Ecrã onde se apresenta o sequenciamento obtido para uma determinada máquina.

tarefas que requerem o mesmo molde.

Estas trocas conduzem, geralmente a sequências com menor número de mudanças de molde, mas com um maior número de ordens de produção concluídas com atraso. O utilizador pode conhecer rapidamente o efeito que as trocas efectuadas têm sobre o plano obtido, podendo decidir se pretende mantê-las ou não.

4.4 Relatórios

Quando o utilizador considera que obteve um plano de produção satisfatório, pode utilizar o Microplano para gerar uma série de relatórios. O plano obtido é apresentado sob a forma de uma tabela onde, para cada máquina se refere a lista das ordens de produção a processar. Para cada uma dessas ordens é dada a data de início e fim de processamento e a data de entrega. Essa informação pode ser automaticamente transferida para o MicrosoftProject que irá gerar os diagramas de Gantt a fornecer aos operadores.

O Microplano também gera relatórios, contendo informação acerca das matérias-primas, componentes e material de embalagem, necessários para satisfazer o plano obtido. Esta informação pode ser utilizada pelo departamento comercial para definir políticas de aquisição correctas.

Na figura 5 apresentam-se dois relatórios gerados pelo Microplano: o plano de produção obtido e o consumo de matérias-primas necessárias à sua satisfação.

4.5 Operação do Microplano

O Microplano pode ser utilizado de duas formas distintas:

- Considerar que não existem actualmente tarefas afectas às máquinas, i.e., ignorando o plano de produção anterior.
- Considerando o plano de produção anterior, i.e., considerando as tarefas que se encontram em processamento nos equipamentos.

A segunda maneira de utilizar o Microplano é a mais frequente e a mais adequada à geração de planos semanais de produção. Neste caso o Microplano acede ao Microsoft Project, onde o plano de produção anterior está a ser actualizado e analisa o estado actual das tarefas sequenciadas na semana anterior. O Microplano analisa o plano anterior, fixando em cada máquina a tarefa que se encontra em processamento e a que lhe sucede. As restantes tarefas retornam para a base de dados do Microplano para serem sequenciadas com as tarefas que entretanto resultaram das novas encomendas. O Microplano calcula o tempo necessário à conclusão das ordens de produção fixadas obtendo assim o instante inicial da sequência para cada máquina no novo plano.

Este procedimento tem duas implicações no procedimento seguido para obter os planos de produção:

- Todos os moldes requeridos para processar as tarefas do plano anterior que foram fixadas, são mantidos nas máquinas onde estavam afectos. Isso implica que todas as novas tarefas que necessitam desse molde serão afectas a esses equipamentos.
- Quando a sequência de produção obtida é apresentada ao utilizador, o código do molde actualmente em utilização no equipamento é apresentado numa caixa de texto. O utilizador, com essa informação, pode procurar alterações na sequência proposta pelo Microplano, que permitam passar do plano anterior para o plano actual sem necessitar de parar o equipamento.

A outra forma de operar o Microplano ignora o que se está a passar nos equipamentos, considerando que no início do planeamento todas as máquinas estão com carga nula. Este modo é mais simples dando menos trabalho ao planeador, mas é inadequado ao estabelecimento de planos de produção semanais. Este modo de operação está a ser utilizado para gerar planos de médio prazo. Para tal o Microplano considera, não apenas as encomendas firmes, mas todas as reservas colocadas pelos clientes, que poderão ou não vir a transformar-se em encomendas firmes. Este procedimento permite ter uma previsão da carga que será imposta aos equipamentos nos próximos meses permitindo a identificação de possíveis problemas de capacidade.

5 Avaliação do MICROPLANO

O Microplano encontra-se implementado na empresa referida neste artigo e está a ser utilizado para planear a produção no departamento de injeção. A sua avaliação em termos quantitati-

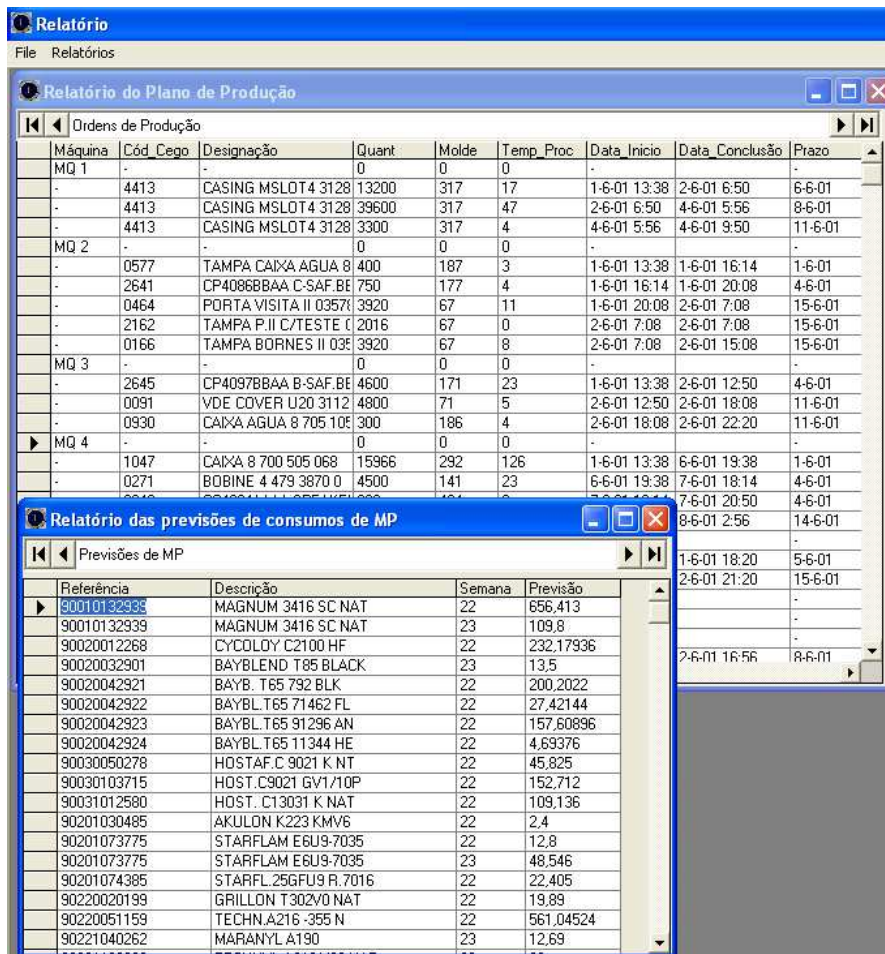


Figura 5: Alguns relatórios gerados pelo Microplano.

vos, redução de tarefas concluídas com atraso ou redução do número de mudanças de molde, tem sido impossível devido a vários factores:

- Não existem dados históricos relativos aos planos de produção. Com efeito, o que existe são os diagramas de Gantt resultantes da actividade dos operadores, i.e., existe um registo do trabalho efectuado que pode não corresponder ao que tinha sido planeado.
- Em muitas situações não é possível estabelecer uma relação entre a produção de um determinado período e as encomendas que geraram essa produção.
- Não é possível reproduzir os passos realizados pelo planeador, uma vez que existem decisões que obedecem a critérios subjectivos.

Apesar destas dificuldades a avaliação do Microplano é positiva. O Microplano está implementado na empresa e está a ser utilizado para elaborar os planos de produção. Isto indicia que os planos obtidos com a sua utilização são, pelo menos, tão bons quanto os que eram obtidos antes da sua implementação. A qualidade dos planos obtidos deve-se essencialmente à rapidez com que é possível obter planos, o que permite disponibilizar tempo para manipular os planos gerados, testando várias alternativas e obtendo um “feedback” imediato acerca da influência das alterações realizadas sobre as medidas de desempenho.

Além disso, como em qualquer implementação de sistemas de apoio à decisão, as melhorias para a empresa não se limitam às melhorias dos planos obtidos ou à redução do tempo necessário à sua geração. No caso deste trabalho podem destacar-se as seguintes vantagens:

- Definição de regras de planeamento claras. A título de exemplo, foi o desenvolvimento e implementação do Microplano que obrigou os responsáveis a decidir como lidar com as tarefas não concluídas de planos anteriores quando se inicia a realização de um novo plano.
- Possibilidade de realizar planos de mais longo prazo, considerando as reservas em vez das encomendas firmes, que permitem uma antecipação na detecção de eventuais problemas e permitem coordenar mais facilmente as tarefas de diferentes departamentos da empresa, nomeadamente a coordenação produção/compras.
- A implementação do Microplano obrigou a uma revisão do sistema de informação da empresa. Essa revisão consistiu numa actualização da informação e numa redefinição das fichas dos produtos, onde foi adicionada informação relevante quer para os responsáveis do departamento de produção quer para outros departamentos.
- Manutenção de um histórico de planos de produção e das encomendas que o geraram, o que associado a um histórico da produção efectivamente realizada, facilita as tarefas de controlo da produção.

6 Conclusões

Neste artigo apresenta-se um problema de planeamento da produção encontrado numa PME portuguesa do ramo dos plásticos. Descrevem-se as heurísticas escolhidas para realizar o planeamento e o sistema de apoio à decisão, o Microplano, desenvolvido para as suportar.

O Microplano foi implementado na empresa descrita neste artigo e tem sido utilizado regularmente para a obtenção dos planos de produção. O planeador tem seguido os planos obtidos com o Microplano, que parecem ser melhores que os que eram obtidos manualmente. Isto deve-se ao facto de o planeador perder menos tempo na geração dos planos, podendo aproveitá-lo para manipular os planos obtidos tendo um “feedback” imediato sobre as medidas de desempenho.

Pretende-se desenvolver o Microplano, procurando melhorar o seu desempenho. Os desenvolvimentos pretendidos prendem-se essencialmente com a introdução de novos algoritmos de planeamento, procurando melhorar as soluções iniciais. Os novos algoritmos que pretendemos implementar e testar são de três tipos:

- Algoritmos que permitam o carregamento e o sequenciamento dos equipamentos em simultâneo e não em dois passos distintos como o que se verifica na versão actual.
- Pretende-se ainda permitir que ordens de produção fabricadas no mesmo molde possam ser afectas a diferentes equipamentos.
- Meta heurísticas para procurar automaticamente trocas que possam melhorar os planos obtidos.

7 Referências

- [1] Blazewicz J, Ecker K H, Pesch E, Schmidt G S and Weglarz J. “Scheduling Computer and Manufacturing Processes”, Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- [2] Blocher J D and Chand S. “A Forward Branch-and-Search Algorithm and Forecast Horizon Results for the Changeover Scheduling Problem”, *European Journal of Operational Research*, 1996, 91: 456-470.
- [3] Drexel A and Kimms A “Lot sizing and scheduling – Survey and extensions”, *European Journal of Operational Research*, 1997, 99: 221-235.
- [4] Gascon A and Leachman R C. “A Dynamic Programming Solution to the Dynamic, Multi-Item, Single-Machine Scheduling Problem”, *Operations Research*, 1988; 1: 50-56.
- [5] Glassey C R. “Minimum Change-Over Scheduling of Several Products on one Machine”, *Operations Research*, 1968; 342-352.
- [6] Mayer H. “Simultaneous lotzising and scheduling on parallel machines”, *European Journal of Operational Research*, 2002, 139: 277-292.
- [7] Santos-Meza E, Santos M O and Arenales M N. “A lot-sizing problem in an automated foundry”, *European Journal of Operational Research*, 2002, 139: 490-500.
- [8] Staggemeier A T and Clark A R. “A survey of lot sizing and scheduling models”, 23rd Annual Symposium of the Brazilian Operational Research Society (SOBRAPO), Campos do Jordão SP, Brazil, November 2001.
- [9] Sule D R, *Industrial Scheduling*, PWS Publishing Company, Boston, 1997.
- [10] Pattloch M, Schmidt GS and Kovalyov MY. “Heuristic Algorithms for Lotsize Scheduling with Application in the Tobacco Industry”, *Computers & Industrial Engineering*, 2001; 31: 235-253.