



REDUÇÃO DE TEMPOS DE CICLO NO FABRICO DE PROTÓTIPOS DE MOLDE

CRISTÓVÃO SILVA, JOSÉ MIGUEL MAGALHÃES

Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Mecânica
Pólo II – Pinhal de Marrocos, 3030 Coimbra, Portugal

(Recibido 2 de abril de 2004, para publicación 1 de diciembre de 2007)

Resumo – Neste artigo apresenta-se a adaptação de uma metodologia de planeamento da produção por controlo de carga, desenvolvida nos anos 80 na Universidade de Lancaster, de modo a possibilitar a sua aplicação numa empresa que fabrica protótipos de moldes. Descreve-se um sistema de apoio à decisão desenvolvido para suportar a referida metodologia, ilustrando como este pode contribuir para o controlo dos tempos de ciclo de fabricação pretendido pela empresa que serviu de caso de estudo.

Palavras-chave – Planeamento e controlo da produção, controlo de carga, caso de estudo.

1. INTRODUÇÃO

Muita da literatura existente acerca do planeamento da produção diz respeito à fabricação para stock. O modo de produção por encomenda, que pode ser encontrado numa parte importante da indústria, tem recebido menos atenção. As empresas que operam em modo de produção por encomenda fabricam produtos de acordo com as especificações dos clientes. O primeiro contacto entre o cliente e a empresa é, geralmente, um pedido de orçamento com indicação do preço e prazo de entrega para a aquisição de um produto que obedeça a um conjunto de especificações. Um dos principais problemas sentidos pelas empresas com modo de produção por encomenda é a capacidade de propor prazos de entrega curtos e fiáveis. Para se manterem competitivas, estas empresas têm necessidade de propor prazos de entrega curtos, sendo fundamental que estes sejam cumpridos para garantir a satisfação do cliente e gerar confiança para futuros negócios. Assim, a redução dos tempos de ciclo e o seu controlo deve ser uma preocupação das empresas com modo de produção por encomenda.

O controlo de carga é um conceito de planeamento e controlo da produção desenvolvido tendo em conta as necessidades das empresas com modo de produção por encomenda, tendo origem no conceito *input/output* apresentado pela primeira vez por Wight [1] em 1970. O conceito de controlo de carga assenta num princípio simples: o *input* de trabalho para a oficina é controlado de acordo com a capacidade dos centros de trabalho (*output*), recorrendo a uma reserva de ordens de produção que são lançadas para a oficina de acordo com regras definidas por um mecanismo de lançamento. Vários autores referem que o controlo de carga pode conduzir a uma redução dos tempos de ciclo e a uma maior facilidade em cumprir os prazos de entrega propostos aos cliente, ver por exemplo Land e Gaalman [2].

A investigação na área do planeamento da produção por controlo de carga tem sido predominantemente baseada em simulação, ver por exemplo Perona e Portioli [3] ou Henrich *et al.* [4]. Poucos têm sido os autores que procuraram implementações deste conceito em ambiente industrial. Como excepção a esta situação podem destacar-se os trabalhos de Fry e Smith [5], Betche [6], Wiendhal [7] ou Hendry *et al.* [8]. De acordo com Bertand e Van Ooijen [9] e Kingsman e Hendry [10] os estudos empíricos, em que o conceito de controlo de carga seja implementado em ambiente industrial, são vitais para validar os resultados obtidos por simulação.

Este artigo pretende ser um contributo nesse sentido, mostrando como uma metodologia de planeamento da produção por controlo de carga foi adaptada para poder ser implementada em ambiente

industrial, neste caso concreto numa empresa que produz protótipos de moldes. Descreve-se um sistema de apoio à decisão, denominado MAPP, desenvolvido com o intuito de suportar a implementação da referida metodologia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1961, Little [11] explicou a relação existente entre os tempos de ciclo, stock de produtos em vias de fabrico e taxa de produção. Nesse trabalho demonstra-se que quando a carga imposta ao sistema produtivo aumenta para além de um dado limite, a taxa de produção deixa de aumentar mas os tempos de ciclo continuam a crescer. Esse facto levou ao aparecimento de um novo conceito de planeamento da produção, que se pode denominar de controlo de carga, onde se procura controlar o lançamento de trabalho para a oficina, controlando assim a sua carga e, conseqüentemente, os tempos de ciclo. De acordo com este conceito, as ordens de produção são mantidas em reserva até que as condições presentes na oficina permitam o seu lançamento. Uma boa revisão bibliográfica acerca do planeamento da produção por controlo de carga pode ser encontrada em Cigolini *et al.* [12].

Nos anos 80, foi desenvolvida, na Universidade de Lancaster, uma metodologia para o planeamento da produção adaptada a empresas com modo de fabricação por encomenda, baseada no conceito de controlo de carga. Essa metodologia assenta no controlo de uma hierarquia de cargas para controlar os tempos de ciclo.

A carga presente num determinado centro de trabalho num dado período t é dada pela diferença entre o *input* e o *output* de trabalho verificado nos períodos anteriores. A metodologia acima referida permite controlar uma hierarquia de cargas associadas a cada centro de trabalho: (1) carga lançada, resultante da carga imposta por todas as ordens de fabrico que se encontram na oficina; (2) carga planeada, que é igual à carga lançada acrescida da carga imposta por todas as ordens de fabrico que se encontram na reserva a aguardar lançamento e (3) carga total, que é igual à carga planeada acrescida da carga de todas as ordens de fabrico que ainda não deram entrada na reserva por não estarem disponíveis todos os materiais necessários à sua execução. Note-se que a carga imposta por uma determinada ordem de fabrico só terá efeito sobre os centros de trabalho por onde esta terá que passar. Cada uma das cargas anteriormente referidas dividida pela capacidade disponível num dado centro de trabalho dá origem, respectivamente, ao comprimento da carga lançada (RBL), comprimento da carga planeada (PBL) e comprimento da carga total (TBL) desse centro de trabalho. Esses valores correspondem ao tempo necessário para o processamento de cada uma das cargas e o seu controlo conduz ao controlo pretendido para os tempos de ciclo.

A metodologia acima referida encontra-se documentada em vários artigos, dos quais se podem destacar Hendry e Wong [14], Kingsman *et al.* [15] e Kingsman [16]. Nesses artigos pode-se encontrar a descrição da metodologia e a sua avaliação conduzida por simulação. No entanto, pouco trabalho tem sido feito no sentido de procurar implementar essa metodologia em ambiente industrial para verificar a sua adequação a situações reais. Esta crítica pode ser apontada a outras metodologias de planeamento da produção por controlo de carga, conforme foi referido na secção 1 deste artigo.

3. O CASO DE ESTUDO

Um molde é um produto complexo que pode implicar a compra e/ou fabricação de mais de uma centena de componentes. Tipicamente, na indústria dos moldes, o cliente apresenta um projecto do molde que pretende e o fornecedor é responsável pelo seu fabrico. Neste artigo apresentamos um caso de estudo que, pertencendo à indústria dos moldes, é atípico porque a empresa seleccionada produz protótipos de moldes utilizados para o fabrico de pré-séries. Assim, o cliente não apresenta o projecto do molde ao fornecedor mas, sim, a especificação do produto que deve ser obtido pelo molde. A empresa apresentada neste artigo é, então, responsável, não só pelo fabrico do molde, mas também pelo seu projecto. De notar que esta empresa opera segundo um modo de produção por encomenda, uma vez que cada produto é fabricado de acordo com as especificações dos clientes.

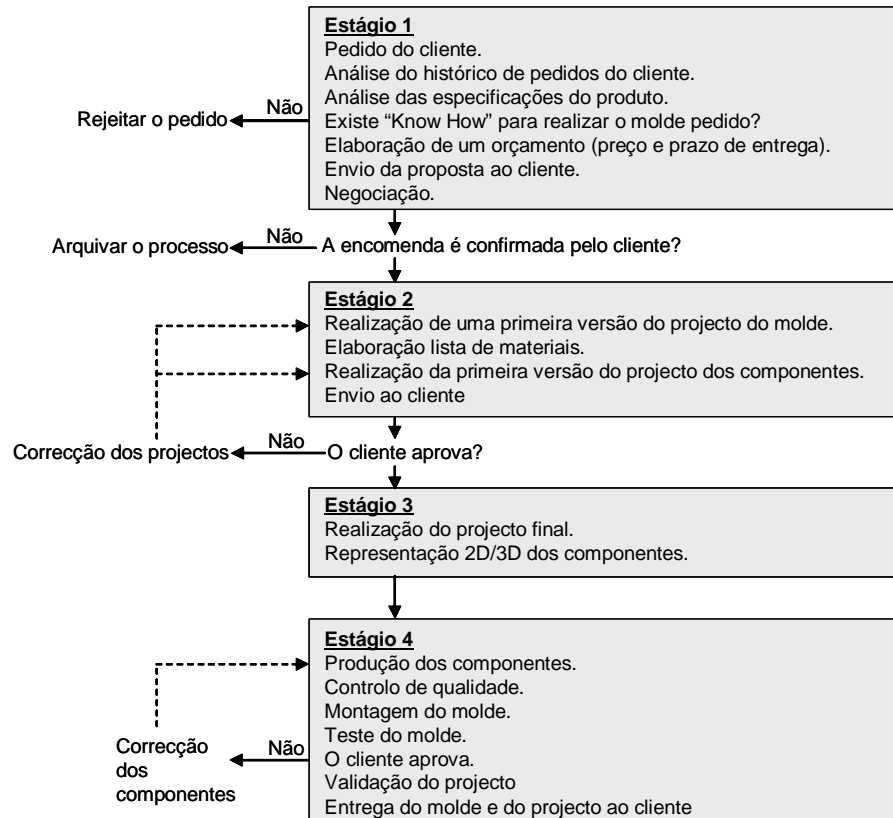


Fig. 1. Fluxo de uma encomenda e interacção cliente/empresa.

A empresa encontra-se dividida em duas grandes áreas: a área de projecto e a área de fabrico. Na área de projecto existem 6 projectistas responsáveis pelo desenvolvimento dos desenhos 2D/3D dos componentes e do molde. A área de produção é composta por 15 centros de trabalho divididos em 4 grupos: fresagem CNC, electro-erosão, equipamentos de apoio e equipamentos de montagem. Para que seja possível compreender o problema associado ao planeamento da produção desta empresa é necessário entender o fluxo de uma encomenda e a interacção que se verifica entre o cliente e a empresa, desde o momento em que este pede uma proposta até ao instante em que o molde lhe é entregue. O fabrico de um molde desde a chegada de um pedido de orçamento até a sua entrega pode ser dividido em quatro estágios, representados na Fig. 1.

Estes quatro estágios, embora representados sequencialmente, podem sobrepor-se. É possível, por exemplo, ter componentes do molde na fase de projecto, enquanto outros componentes já se encontram em produção.

O fluxo de uma encomenda, acima representado, refere-se ao que acontece para moldes novos. No entanto, a empresa também lida com outro tipo de trabalhos – correcções efectuadas sobre moldes fabricados anteriormente. Quando o molde sai da empresa, o cliente utiliza-o para realizar pré-séries do produto pretendido. Essas pré-séries são utilizadas para verificar a qualidade e as especificações do produto acabado. Às vezes, o cliente necessita de realizar pequenas alterações ao molde, para resolver problemas verificados durante a realização das pré-séries. Essas pequenas alterações, que implicam alterações no projecto e nalguns componentes do molde, são realizadas na empresa apresentada neste artigo e são consideradas como trabalho urgente.

A direcção da empresa pretendia ajuda em vários pontos do fluxo de uma encomenda acima apresentado. Para o estágio 1, pretendia-se manter uma informação precisa acerca do histórico de orçamentos e encomendas realizados para os clientes, no sentido de facilitar a tarefa de definição de preços e prazos de entrega para os novos moldes. No estágio 2, a direcção da empresa pretendia facilitar o

processo de troca de informação entre o cliente e a empresa, com vista a acelerar a realização das primeiras versões dos projectos do molde e correspondentes componentes. Além disso, pretendia-se neste estágio definir um procedimento que permitisse agilizar a elaboração da lista de materiais correspondentes a um molde, devido à morosidade do procedimento existente na empresa. Para os estágios 3 e 4 pretendia-se uma ferramenta que ajudasse a estabelecer planos para as actividades de projecto e produção, tendo como objectivo prazos de entrega curtos e fiáveis. Para todos os estágios, a direcção pretendia manter informação fiável acerca dos moldes, tendo a possibilidade de a distribuir rapidamente pelos intervenientes no processo de fabrico. Finalmente, pretendia-se que fosse fácil acompanhar a evolução do fabrico do molde.

4. MAPP – O SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

A empresa apresentada neste artigo tem grande capacidade para subcontratar trabalho. Essa capacidade encontra-se bem ilustrada em dados históricos, que mostram que, para alguns moldes que a empresa realizou, mais de 80% dos componentes foram subcontratados a empresas externas. Assim, a metodologia referida na secção 2, escolhida para ser implementado na empresa que serviu de caso de estudo, foi adaptada para considerar este facto. Nesta secção apresenta-se a metodologia conforme ela foi adaptada para se adequar ao nosso caso de estudo e descreve-se o MAPP, um sistema de apoio à decisão desenvolvido para suportá-la.

4.1. Opções de desenvolvimento do MAPP

Como qualquer sistema de apoio à decisão o MAPP é composto por uma base de dados, contendo toda a informação necessária à metodologia implementada, uma base de modelos e um interface. O MAPP foi desenvolvido utilizando tecnologia Web o que facilita a rápida partilha de informação dentro da empresa via intranet e com os clientes e fornecedores via Internet. Espera-se que essa disseminação rápida da informação reduza os erros gerados devido à falta ou má interpretação da informação partilhada entre a empresa e o cliente.

O MAPP encontra-se instalado num servidor, podendo ser totalmente ou parcialmente acedido por elementos internos ou externos à empresa, mediante autenticação através de um par utilizador/*password*, recorrendo a um simples *browser* de Internet. A opção da utilização de tecnologia Web para o desenvolvimento do MAPP implica que os seus interfaces se assemelhem a páginas Web.

4.2. Apoio à decisão na fase de negociação de uma encomenda

A metodologia original foi desenvolvida de modo a garantir apoio na fase de negociação de uma nova encomenda. Nessa fase a carga total é actualizada, adicionando-lhe uma percentagem da carga de trabalho associado ao pedido do cliente, que corresponde à probabilidade desse pedido se tornar numa encomenda firme. A carga total assim determinada é utilizada para calcular o comprimento da carga total que, comparado com o limite máximo imposto, permite determinar se o pedido do cliente deve ser aceite e que data de entrega deve ser negociada.

Na adaptação que fizemos essa fase da metodologia original não foi implementada porque: (1) no nosso caso de estudo menos de 5% dos pedidos de clientes se transformam em encomendas firmes e (2) a empresa em consideração não considera necessário rejeitar encomendas, visto que se se verificar que existe excesso de trabalho, este pode ser facilmente subcontratado.

Apesar do que foi anteriormente referido, o MAPP encontra-se preparado para dar apoio na fase de negociação de uma nova encomenda. Para tal é disponibilizado ao utilizador um conjunto de informação histórica acerca de pedidos realizados no passado pelo mesmo cliente ou para moldes com características semelhantes. Essa informação consiste numa descrição dos preços/prazos de entrega propostos no passado e na reacção que o cliente teve, ou seja, se aceitou ou rejeitou a proposta da empresa. Além disso, o MAPP permite que o utilizador conheça em tempo real as cargas impostas a cada centro de trabalho o que permite auxiliá-lo na definição de prazos de entrega exequíveis.

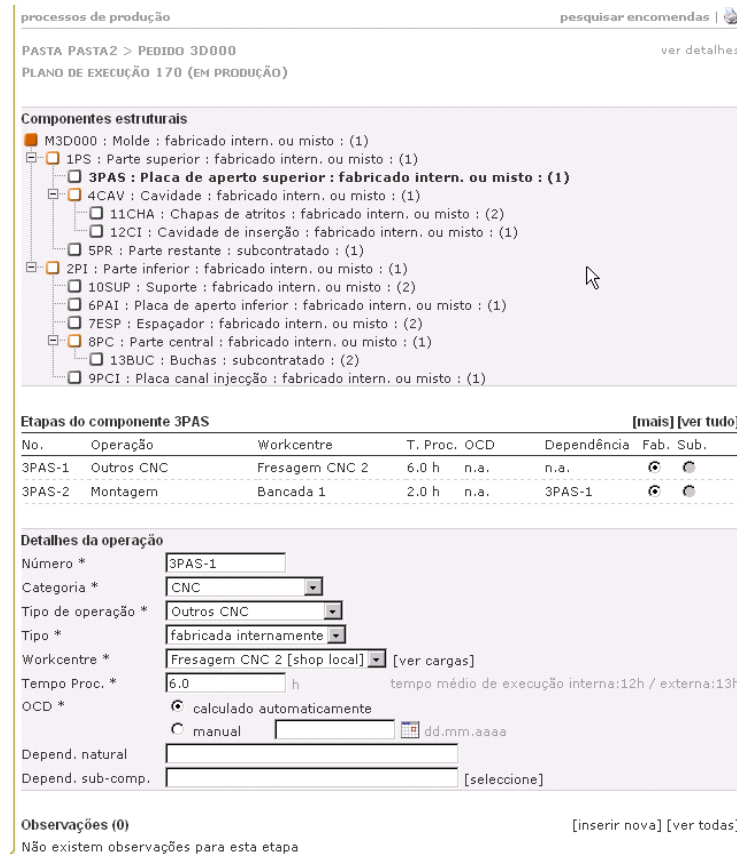


Fig. 2. Pormenor do interface utilizado para definir a lista de materiais e rotas de fabrico.

4.3. Apoio à decisão na fase de entrada de uma nova encomenda

4.3.1 Elaboração da lista de materiais e das rotas de fabrico

Quando o cliente confirma a sua encomenda o primeiro passo a realizar consiste na elaboração do projecto do molde e dos seus principais componentes. Com base nesse projecto, o director de produção elabora a lista de materiais necessários à execução do molde, especificando os seus componentes, as rotas de produção e uma estimativa dos tempos de processamento.

Para realizar a lista de materiais de um molde, o director de produção utiliza o interface do MAPP apresentado na Fig. 2. Nesse interface, para cada componente, o utilizador insere os seguintes dados: o código do componente, a sua designação, se o componente deve ser produzido pela empresa ou subcontratado e os seus componentes parentes. Essa informação é apresentada sob a forma de uma árvore. Seleccionando um determinado componente, é possível visualizar as operações necessárias à sua execução.

A informação relativa às operações necessárias à execução de um determinado componente é também inserida no interface utilizado para definir a lista de materiais. Para cada operação, o utilizador insere: o seu código, a sua categoria, o tipo de operação em causa, se esta deve ser realizada internamente ou subcontratada, o centro de trabalho onde irá ser realizada e a estimativa do tempo de processamento. O utilizador indica, ainda, se a data de conclusão da operação deve ser calculada pelo MAPP ou se pretende fixá-la manualmente para garantir a utilização de capacidade num determinado conjunto de períodos. Finalmente, é estabelecida a sequência de fabrico do componente, indicando as dependências entre as várias operações a realizar.

De modo a auxiliar o utilizador na definição das rotas de fabrico, o MAPP permite a visualização dos diferentes comprimentos de carga considerados pela metodologia de forma gráfica. Essa informação pode ser utilizada para definir rotas de fabrico que conduzam a um equilíbrio das cargas impostas aos diferentes centros de trabalho.

4.3.2 Controlo dos comprimentos da carga total e da carga planeada

Os dados referentes a um novo molde, inseridos no MAPP conforme se descreveu no ponto anterior, são utilizados para calcular um conjunto de parâmetros determinantes para o controlo pretendido para os tempos de ciclo. Para cada componente são calculados os seguintes parâmetros: (1) o período em que cada operação do componente deve ser concluída para garantir o prazo de entrega associado ao molde a que pertence (OCD); (2) o último período em que o componente deve ser lançado para fabricação se se pretender cumprir o prazo de entrega do molde (LRD) e (3) o primeiro período em que o componente pode ser lançado para fabricação (ERD).

O cálculo desses parâmetros é efectuado sequenciando o fabrico do fim para o início, partindo da data de entrega acordada com o cliente. O OCD da última operação de um determinado componente depende da sua posição na lista de materiais. Se o componente pertencer ao nível 0 da lista de materiais, o OCD correspondente à sua última operação será igual a data de entrega do molde menos o tempo requerido para este ser testado. Se o componente pertencer a um nível superior da lista de materiais, o OCD da sua última operação será igual ao primeiro LRD dos seus componentes parentes.

Tendo determinado o OCD da última operação de um componente é possível calcular os OCD's das restantes operações necessárias ao seu fabrico. O processamento de uma operação implica que a operação que a precede na rota de fabrico tenha sido concluída. Isso significa que uma determinada operação x não pode ser iniciada enquanto a operação $x-1$ não tiver sido concluída. Cada operação requer um determinado tempo num determinado centro de trabalho. Esse tempo, para uma determinada operação x de um componente j pode ser designada por $L_{x,j}$, dado pelo tempo de permanência na fila de espera do centro de trabalho mais o tempo de preparação do centro de trabalho acrescido do tempo de processamento da operação. Assim, o OCD de uma operação que não seja a última a realizar no componente, é dada por:

$$\text{OCD}_{x-1,j} = \text{OCD}_{x,j} - L_{x,j} \quad (1)$$

Assume-se que a dimensão das filas de espera de cada centro de trabalho é aproximadamente constante, uma vez que a metodologia utilizada controla a carga de trabalho presente na oficina.

O OCD da primeira operação de um componente menos o tempo requerido no centro de trabalho onde esta é realizada, $L_{1,j}$, resultará no LRD associado ao componente.

$$\text{LRD}_j = \text{OCD}_{1,j} - L_{1,j} \quad (2)$$

Considerando o tempo de espera na reserva (PD), pode-se determinar o ERD do componente recorrendo à equação (3). O ERD de um componente corresponde ao período em que este dá entrada na reserva, tornando-se disponível para ser lançado para fabricação.

$$\text{ERD}_j = \text{LRD}_j - \text{PD} \quad (3)$$

Os ERDs, LRDs e OCDs determinados para todos os componentes de um novo molde e a carga imposta pelos moldes já aceites pela empresa permitem calcular: (1) o comprimento da carga total (TBL) imposta a cada centro de trabalho, (2) o comprimento da carga planeada (PBL) associado a cada centro de trabalho, (3) a capacidade necessária para manter o TBL e o PBL de cada centro de trabalho abaixo do limite máximo pré-especificados e (4) a capacidade requerida para processar todas as operações antes do seu OCD.

A carga de trabalho imposta pela execução dos componentes de um novo molde é adicionada à carga total (TB) dos N centros de trabalho que compõem a oficina. O comprimento da carga total (TBL) representa o tempo necessário à execução da totalidade do trabalho presente na empresa. Pretende-se que esse tempo seja mantido abaixo de um valor máximo pré-definido (TBL_{max}). Isso significa que nenhum molde aceite pela empresa terá um tempo de execução superior ao TBL_{max} , garantindo-se assim o controlo

pretendido para o tempo de ciclo total, que corresponde ao tempo de espera que será sentido pelo cliente. Para garantir essa condição é necessário verificar se a carga total de trabalho presente na empresa pode ser processada até ao fim do limite definido para o comprimento da carga total, o que se consegue recorrendo à equação (4).

$$TB_n \leq \sum_{t=1}^{TBL_{\max}} C_{n,t} \quad n=1 \text{ to } N \quad (4)$$

O controlo do comprimento da carga total permite perceber se a capacidade disponível em cada centro de trabalho é suficiente para garantir que os moldes aceites serão produzidos num tempo de ciclo total inferior ao desejado. No entanto, a verificação feita recorrendo à equação (4) não permite identificar, caso eles existam, os períodos onde existirá falta de capacidade, nem garante que a capacidade disponível possibilite a execução do molde até a data de entrega negociada com o cliente. Essa informação só pode ser conseguida controlando também o comprimento da carga planeada.

A carga planeada (PB), dos N centros de trabalho que compõem a oficina pode ser calculada para cada período futuro t , recorrendo à equação (5).

$$PB_{n,t+1} = PB_{n,t} - Z_{n,t} + I_{n,t+1} \quad n=1 \text{ to } N \quad (5)$$

Assim, a carga planeada para o início do período $t+1$ será igual a carga planeada no início do período t , menos o trabalho realizado no período t (Z_t), acrescida da carga imposta por todas as tarefas com ERD no período $t+1$.

Dividindo a carga planeada pela capacidade disponível obtém-se o comprimento da carga planeada (PBL) para cada período. O PBL para um dado período representa o tempo necessário à conclusão de todo o trabalho existente na empresa e cuja execução possa ser iniciada até esse período. Isso significa que no PBL não se considera a carga imposta pelo trabalho que só poderá vir a ser iniciado em períodos futuros.

A ideia central da metodologia aplicada pode ser descrita da seguinte forma: para qualquer período futuro t , deve ser possível processar a carga de trabalho planeada para esse período, num tempo inferior ou igual ao limite máximo imposto para o PBL (PBL_{\max}), que corresponde ao tempo de ciclo de produção máximo pré-definido pela empresa. Ou seja, essa carga de trabalho deve poder ser processada entre os instantes t e $t+PBL_{\max}$. Se isso não for possível pode-se calcular o acréscimo de capacidade necessário para atingir esse objectivo recorrendo às equações 6 e 7.

$$Cextra_{n,t} = PB_{n,t} - \sum_{h=t}^{t+PBL_{\max}} C_{n,h} \quad ; \quad t=0 \text{ to } TBL_{\max} - PBL_{\max}, \quad n=1 \text{ to } N \quad (6)$$

e

$$Cextra_{n,t} = PB_{n,t} - \sum_{h=t}^{t+PBL_{\max}} C_{n,h} \quad ; \quad t=TBL_{\max} - PBL_{\max} \text{ to } TBL_{\max}, \quad n=1 \text{ to } N \quad (7)$$

As equações (4), (6) e (7) garantem o controlo dos tempos de ciclo total e de produção, que poderão assim ser mantidos abaixo do valor máximo estipulado pela empresa. No entanto, não são suficientes para garantir que as datas de entrega negociadas com os clientes sejam satisfeitas. Para isso é necessário verificar, para todos os centros de trabalho, se o *output* requerido para um dado período t , formado por todas as tarefas cujo OCD é igual a t , é inferior ao trabalho que se pode realizar até esse período. Se essa condição não se verificar, a data de entrega negociada com o cliente não poderá ser satisfeita, sendo necessário garantir um aumento da capacidade disponível, calculado recorrendo à equação (8).

$$Cocd_{n,t} = \sum_{h=1}^t O_{n,h} - \sum_{h=1}^t Z_{n,h} - A_{n,1} \quad ; \quad t=0 \text{ to } TBL_{\max} - 1 \quad ; n=1 \text{ to } N \quad (8)$$

onde:

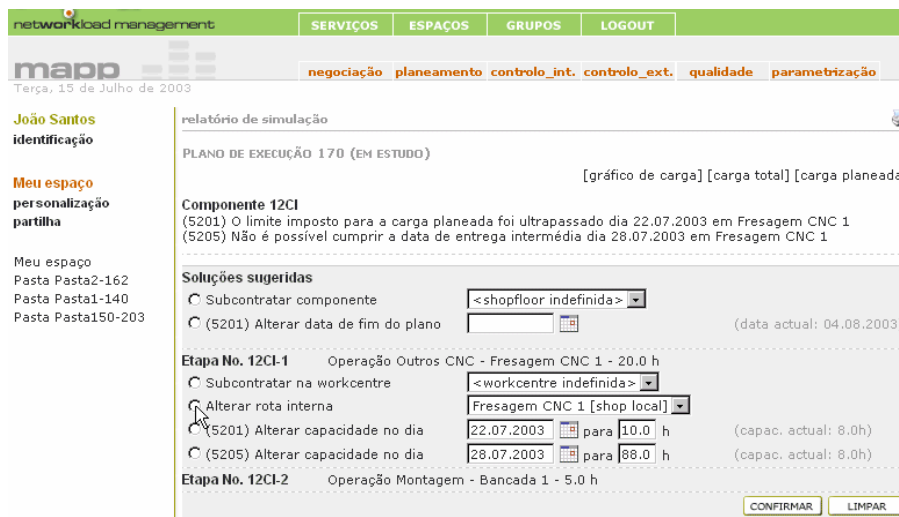


Fig. 3. Relatório dos problemas de capacidade gerados pela aceitação do novo molde.

- $O_{n,h}$ = *output* requerido no posto de trabalho n até ao período t
- $Z_{n,h}$ = quantidade de trabalho que se pode realizar no posto de trabalho n até ao período t
- $A_{n,1}$ = trabalho realizado em períodos passados sobre tarefas com OCD no período t

4.3.3 Resolução dos problemas de capacidade detectados

Recorrendo às equações definidas no ponto anterior, o MAPP verifica se existe capacidade suficiente para cumprir os tempos de ciclo total e de produção e para garantir a satisfação da data de entrega proposta ao cliente. Se se verificar que existem problemas de capacidade, o MAPP elabora um relatório identificando esses problemas, apresentado ao utilizador no interface representado na Fig. 3. Esse relatório consiste numa listagem dos componentes que originam os problemas de capacidade detectados e numa breve descrição desses problemas. Nesse mesmo interface, o MAPP apresenta ao utilizador um conjunto de opções que podem ser tomadas para resolver os problemas de capacidade detectados.

As opções que podem ser tomadas para resolver os problemas de capacidade encontrados são: (1) alterar a data de entrega para passar carga para períodos sub-carregados; (2) alterar a rota de fabrico do componente para equipamentos menos carregados; (3) subcontratar o fabrico de parte ou da totalidade do componente e (4) aumentar a capacidade disponível, recorrendo a trabalho extraordinário. O utilizador pode ir seleccionando as opções que lhe parecem ser mais adequada a cada caso até resolver todos os problemas de capacidade identificados.

4.4. Apoio à decisão na fase de lançamento de trabalho para a oficina

O procedimento acima descrito permite manter o controlo da carga total e da carga planeada, o que permite controlar os tempos de ciclo total e de produção. Para realizar o controlo da carga lançada, controlando assim o tempo de passagem pela oficina e a dimensão das filas de espera, o MAPP apoia o planeador na escolha da data em que deve lançar os componentes para fabrico. Como se referiu, esse lançamento pode ocorrer entre dois instantes: o ERD e o LRD.

Ao controlar a carga lançada para a oficina, pretende-se controlar o comprimento da mesma que corresponde ao tempo de passagem do componente pela oficina. Tal como para os restantes comprimentos de carga, o comprimento da carga lançada deve ser mantido abaixo de um limite máximo pré-definido (RBL_{max}), se se pretender exercer o controlo pretendido para o tempo de passagem pela oficina e para a dimensão das filas de espera.

lançamento componentes lançados

Componentes a aguardar entrada na reserva

Pedido No.	Comp. No.	Designação	Qt.	Agregado	ERD	LRD	Slack
3D000	5PR	Parte restante	1	1PS	21.07.2003	23.07.2003	8
3D000	12CI	Cavidade de inserção	1	4CAV	21.07.2003	23.07.2003	8
3D000	13BUC	Buchas	2	8PC	22.07.2003	24.07.2003	9
3D000	7ESP	Espaçador	2	2PI	23.07.2003	25.07.2003	10
3D000	10SUP	Suporte	2	2PI	23.07.2003	25.07.2003	10
3D000	8PC	Parte central	1	2PI	21.07.2003	26.07.2003	11
3D000	1PS	Parte superior	1	M3D000	26.07.2003	28.07.2003	13
3D000	2PI	Parte inferior	1	M3D000	23.07.2003	28.07.2003	13
3D000	6PAI	Placa de aperto inferior	1	2PI	26.07.2003	28.07.2003	13
3D000	3PAS	Placa de aperto superior	1	1PS	23.07.2003	28.07.2003	13
3D000	4CAV	Cavidade	1	1PS	26.07.2003	28.07.2003	13
3D000	M3D000	Molde	1	nenhum	27.07.2003	29.07.2003	14

Componentes na reserva

Pedido No.	Comp. No.	Designação	Qt.	Agregado	ERD	LRD	Slack	Lançar?
3D000	9PCI	Placa canal injeção	1	2PI	19.07.2003	21.07.2003	6	<input type="checkbox"/>
3D000	11CHA	Chapas de atritos	2	4CAV	19.07.2003	24.07.2003	9	<input checked="" type="checkbox"/>

SIMULAR CONFIRMAR

Fig. 4. Pormenor do interface utilizado para controlar o lançamento de trabalho para a oficina.

Para exercer esse controlo, o utilizador recorre ao interface apresentado na Fig. 4. Aí são apresentadas ao utilizador duas listas: (1) a primeira contendo informação acerca dos componentes que devem ser produzidos pela empresa, mas que ainda não podem ser lançados por não se ter atingido o seu ERD e (2) uma lista de componentes cujo ERD já foi atingido e que, conseqüentemente, se encontram na reserva a aguardar lançamento.

Este interface é acessado diariamente pelo planeador que escolhe os componentes que pretende lançar para fabrico. Para facilitar essa escolha, os componentes são ordenados por ordem decrescente da sua folga, que representa a diferença entre o seu LRD e o período actual. Após serem seleccionados os componentes que devem ser lançados para fabrico, o MAPP simula o efeito que esse lançamento teria sobre o comprimento da carga lançada, verificando se existe violação do limite máximo imposto. O planeador deve procurar seleccionar para lançamento uma *mix* de trabalho que garanta que o limite máximo imposto para o comprimento da carga total não seja violado em nenhum dos centros de trabalho da oficina.

4.5. Apoio à decisão para controlo na oficina

A metodologia acima descrita permite reduzir a complexidade associada ao sequenciamento da produção na oficina visto que existe um controlo do número de ordens de fabrico aí presentes. Este facto, aliado à vontade dos gestores da empresa de dar alguma autonomia aos seus operadores, levou à decisão de não implementar um algoritmo de sequenciamento das ordens de fabrico presentes na oficina. Decidiu-se que cada operador seria responsável por escolher a ordem pela qual deveria processar as operações correspondentes aos componentes lançados para o seu centro de trabalho.

Para auxiliar o operador de um determinado centro de trabalho nessa decisão, o MAPP cria uma lista de todos os componentes lançados para fabrico e que tenham de passar por esse centro de trabalho, ver Fig. 5.

Cada componente que deve passar pelo centro de trabalho é representado por uma barra. Essa barra pode estar dividida em várias secções que representam as diferentes operações que devem ser realizadas para fabricar o componente. As secções representadas a cinza claro, representam operações que serão realizadas noutros centros de trabalho. A secção representada a cinza escuro representa a operação a realizar no centro de trabalho em causa. Para a operação a realizar no centro de trabalho em causa o MAPP apresenta: o código da operação a realizar, o código do componente, o tipo de operação a realizar,

Etapa	2PI-1	8PC	
Compon.	2PI	6PAI	
Operação	Montagem	7ESP	M3D000
T. estim.	17.0 h	10SUP	2PI-1
OCD	10.06.2003	9PCI	
Prioridade	não		

Etapa	3PAS-2		
Compon.	3PAS		
Operação	Montagem		1PS
T. estim.	2.0 h		
OCD	09.06.2003		
Prioridade	não		

Etapa	6PAI-2		
Compon.	6PAI		
Operação	Montagem		2PI
T. estim.	2.0 h		
OCD	06.06.2003		
Prioridade	não		

Etapa	8PC-2		
Compon.	8PC		
Operação	Montagem		2PI
T. estim.	4.0 h		
OCD	06.06.2003		
Prioridade	não		

Etapa	9PCI-3		
Compon.	9PCI		
Operação	Montagem		2PI

Fig. 5. Listagem das operações a realizar num determinado centro de trabalho.

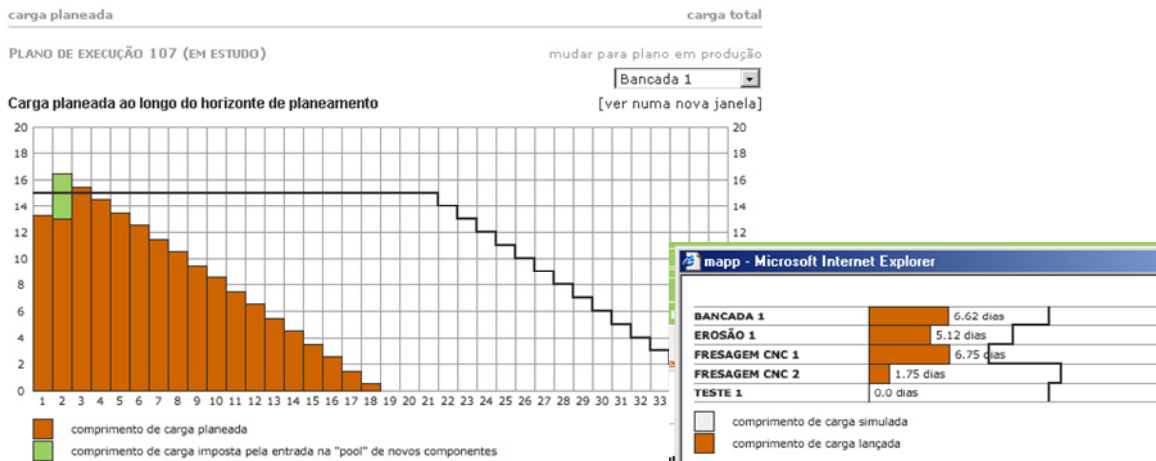


Fig. 6. Gráficos representando o comprimento da carga planeada e da carga lançada.

o tempo de processamento estimado e o OCD da operação a realizar. Essa informação é utilizada pelo utilizador para definir a ordem pela qual os componentes devem ser processados.

A lista apresentada na Fig. 5, pode ser impressa ou acedida *online* e o operador deve utilizá-la para registar diariamente o trabalho executado em cada componente. Essa informação é depois utilizada pelo MAPP para actualizar as diferentes cargas de trabalho presentes na empresa.

4.6. Diagramas de carga apresentados pelo MAPP

Conforme se referiu ao longo da descrição do MAPP feita nos pontos anterior, este pode apresentar graficamente os diferentes comprimentos de carga considerados pela metodologia implementada. Na Fig. 6 apresenta-se um exemplo do gráfico do comprimento da carga planeada – Fig. 6(a) - e um exemplo do gráfico do comprimento da carga lançada – Fig. 6(b).

A visualização desses diagramas é importante em várias fases do planeamento de um molde. Na fase de negociação de uma nova encomenda eles podem ser utilizados para estabelecer datas de entrega fiáveis, dando informação acerca da carga presente em cada centro de trabalho da oficina. Na fase de planeamento esses diagramas são úteis para a definição de rotas de fabrico para os diferentes componentes, permitindo escolher rotas que equilibrem a carga presente nos diferentes centros de trabalho. Na fase de lançamento esses diagramas são fundamentais para determinar o *mix* de componentes que devem ser lançados para fabrico.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo apresenta-se a adaptação de uma metodologia genérica de planeamento da produção para empresas que operam em modo de fabricação por encomenda, à indústria dos moldes. Descreve-se um sistema de apoio à decisão, denominado MAPP, desenvolvido para suportar a referida metodologia e testado em ambiente industrial numa empresa que serviu de caso de estudo.

O MAPP permite o controlo dos tempos de ciclo, controlando uma hierarquia de cargas: a carga total e a carga planeada, quando a encomenda é aceite, e a carga lançada, quando se lançam componentes para fabrico. A manutenção das ordens de fabrico numa reserva é de particular importância para a empresa em consideração neste artigo devido às frequentes alterações requeridas pelos clientes. A manutenção das ordens de fabrico numa reserva permitirá que grande parte das alterações pedidas pelos clientes não interfira com o trabalho que se encontra em execução na oficina.

O MAPP foi testado em ambiente industrial e a reacção que obtivemos por parte dos responsáveis da empresa é encorajadora. O MAPP parece responder às necessidades da empresa, quer em termos de planeamento da produção, quer em termos de gestão da informação.

Espera-se que a implementação final do MAPP na empresa que serviu para caso de estudo permita melhorar o seu desempenho em termos de planeamento da produção e contribua para validar a aplicabilidade da metodologia de controlo de carga desenvolvida na Universidade de Lancaster, na indústria dos moldes.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e por fundos FEDER ao abrigo do projecto de investigação POCTI/EME/38516/2001.

REFERÊNCIAS

- [1] Wight, O., “Input/output control: A real life handle on lead-time”, *Production and Inventory Management*, **11**(3), 9-30 (1970)
- [2] Land, M.J., Gaalman, G., “Workload control concepts in job shops – A critical assessment”, *International Journal of Production Economics*, **46/47**, 535-448 (1996)
- [3] Perona, M., Portioli, A., “The impact of parameters setting in load oriented manufacturing control”, *International Journal of Production Economics*, **55**, 133-142 (1998)
- [4] Henrich, P., Land, M.J., Gaalman, G., Van Der Zee, D.J., “The effect of information on workload control”, *Proceedings of the first joint EUROMA POMS Conference*, **4**, 141-160 (2004)
- [5] Fry, T.D., Smith, A.E., “A procedure for implementing input/output control: A case study”, *Production and Inventory Management Journal*, **28**, 50-52 (1987)

- [6] Betche, W., "Theory and practice of load oriented manufacturing control", *International Journal of Production Research*, **26**(3), 375-395 (1988)
- [7] Wiendhak, H.P., *Load oriented manufacturing control*, Springer, New York (1995)
- [8] Hendry, L.C., Elings, P., Pegg, D., "Production planning for an artist studio: A case study", *European Journal of Operational Research*, **64**(1), 12-20 (1993)
- [9] Bertand, J.W.M., Van Ooijen, H.P.G., "Workload based order release and productivity: A missing link", *Production planning and control*, **13**, 665-678 (2002)
- [10] Kingsman, B.G., Hendry, L.C., "The relative contribution of input and output controls on the performance of a workload control system in make-to-orders companies", *Production planning and control*, **13**, 579-590 (2002)
- [11] Little, J.D., "A proof for the queuing formula: $L = \lambda W$ ", *Operations Research*, **9**, 383-387 (1961)
- [12] Cigolini, R., Perona, M., Portioli, A., "Comparison of order release review and release techniques in a dynamic and uncertain job-shop environment", *International Journal of Production Research*, **36**, 2931-2952 (1998)
- [13] Hendry, L.C., Wong, S.K., "Alternative Order Release Mechanisms: A Comparison by Simulation", *International Journal of Production Research*, **32**, 2827-2842 (1994)
- [14] Kingsman, B.G., Tatsiopoulos, I.P., Hendry, L.C., "A structural methodology for managing lead times in make-to-order companies", *European Journal of Operational Research*, **40**, 196-209 (1989)
- [15] Kingsman, B.G., "Modelling input-output workload control for dynamic capacity planning in production planning systems", *International Journal of Production Economics*, **68**, 73-93 (2000)

LEAD TIME REDUCTION FOR A MANUFACTURER OF MOULD PROTOTYPES

Abstract - In his paper we present how a workload control production planning methodology, developed at Lancaster University in the 80's, has been adapted to the specific needs of a company from the mould industry. We describe a decision support system developed to sustain the referred methodology, showing how it can be used to exercise the lead time control expected by the company.

Keywords – Production planning and control, Workload control, Case study.