

Otimização de sequenciamento da produção na fabricação de serras seriadas com alta customização: Estudo de Caso

Leonardo Luz¹
Miguel Afonso Sellitto²

Resumo

O objetivo deste artigo é apresentar e relatar um Estudo de Caso de planejamento de implantação de um software APS (Advanced Planning and Scheduling ou Programação Fina de Produção) na programação da produção de uma linha de fabricação de serras circulares. Esse estudo abrange as fases de planejamento e execução de cenários que possibilitarão a visualização antecipada dos resultados possíveis deste projeto, quando colocado em prática. Uma simulação foi desenvolvida em uma planta multinacional, líder mundial no segmento de ferramentas de corte para madeira. O produto responde por 60% do faturamento da companhia e se caracteriza por possibilitar uma grande gama de customizações, tornando a busca pela otimização da produção mais complexa, quanto ao aspecto capacidade produtiva. Os resultados foram verificados, executando o cenário no software com base nos dados de um período anterior conhecido. O principal resultado da simulação foi a definição de que não seria necessário aumentar os recursos produtivos em cerca de 20%, como pensado inicialmente.

Palavras-chave: Programação fina. Software APS. Sequenciamento.

Abstract

The purpose of this article is to present and report a Case Study of a development planning of an APS (Advanced Planning and Scheduling) software on scheduling production of a circular saw manufacturing line. This study covers planning and developing phases of scenarios, which will enable the previous possible outcomes of this project, when put into practice. A simulation was developed in a multinational leading plant in cutting tools for wood. The product accounts for 60% of the company's revenue and it is characterized by providing a wide range of customizations, making the quest for production optimization more complex, regarding the productive capacity aspect. The results were verified by running the scenario in the software based on data from a known previous period. The main result of the simulation was the definition that it would not be necessary to increase the productive capacity in about 20%, as thought at the beginning.

Keywords: Advanced planning. APS software. Scheduling.

¹ Engenheiro de Produção pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil. Engenheiro de processos na Leitz Ferramentas, São Sebastião do Caí, RS, Brasil. E-mail: leoluzrs@gmail.com

² Doutor em Engenharia de Produção pela Univeridade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. Professor e pesquisador do PPGEPS da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS. E-mail: sellitto@unisinos.br

1 Introdução

A disputa por espaço no mercado industrial vem se tornando cada vez mais acirrada. O aumento da competitividade tem se ampliado com as mudanças nos cenários globais, desencadeando uma competição mundial pelos mercados locais (CLETO, 2002). Corrêa, Gianesi e Caon (1997) consideram que, nesse cenário, a estratégia de competitividade antecipa o desejo do mercado, promovendo transformações na forma de produzir. Com isso, o planejamento e controle da produção (PCP) se depara com uma nova e mais desafiadora realidade: a customização do produto tende a tornar os estoques mais baixos, as ordens de produção mais frequentes e os lotes menores (RUSSOMANO, 2000).

A empresa, alvo deste trabalho, fabricante de serras circulares para madeira, vem apresentando, ao longo da última década, uma gama cada vez maior de produtos customizados especificamente para cada uma das necessidades de seus clientes e fabricados em lotes cada vez menores, tendendo sempre a lotes unitários. As necessidades das empresas que produzem sob encomenda (*Manufacture to Order - MTO*) são peculiares e, em geral, existe a necessidade de serem mais ágeis e enxutas do que aquelas voltadas à produção para estoque (*Manufacture to Stock - MTS*) (BREMER; LENZA, 2000).

Em MTO, o PCP não define o que produzir, apenas como e em que sequência fazer, de acordo com a capacidade de cada setor (PIRES, 1995). Sem essas definições, aumentam muito as chances de todo o processo sair de controle, ocasionando aumento dos custos ou mesmo a perda de clientes. Do mesmo modo, se houver incerteza nessas definições, como em relação à sequência de execução, por exemplo, equívocos poderão ser cometidos no abastecimento, comprometendo o resultado e aumentando os custos. De fato, verifica-se que esse é um quadro comum em algumas empresas brasileiras (LIDDELL, 2008). Tais erros e descompasso não ocorrem apenas por problemas técnicos, mas principalmente pela dificuldade em

sincronizar a produção (JUNG; LEE, 2010).

Sistemas informatizados utilizam o MRP (*Material Requirement Planning*), que executa o planejamento da produção, através da exploração da estrutura do produto sobre seus vários níveis, para determinar quais os materiais que a empresa precisa adquirir e/ou as partes que teria que fabricar para conseguir produzir o produto final. Pode-se afirmar que o MRP funciona melhor para as empresas que produzem para estoque (MTS), pois ele é projetado para permitir o aumento da eficiência, agrupando a demanda em grandes lotes. Isso é possível devido à manutenção de estoques de segurança de produtos intermediários (LIDDELL, 2008).

As empresas que produzem para estoque vendem seus produtos, enquanto as que produzem sob demanda (MTO) vendem capacidade de produção (CORRÊA; GIANESI; CAON, 1997). Em produção para estoque, cada minuto desperdiçado, fazendo estoque desnecessário, consome os materiais e a capacidade de produção que seriam necessários para entregar os pedidos dos clientes nas datas prometidas (TUBINO, 2007).

Como alternativa de gerenciamento, a empresa, em questão, implantou um *software* APS (*Advanced Planning Systems*) que se vale de dados do sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) existente para gerar cenários. Com base nesse contexto, a questão de pesquisa deste artigo é: como ocorre a implantação de um *software* de sequenciamento em uma operação de manufatura seriada? O objetivo deste artigo é apresentar e testar a execução de um cenário já conhecido, no *software* APS, comparando os dados ocorridos no passado com as novas previsões para o mesmo cenário. Os objetivos específicos são: (i) verificar, com o uso do APS, as potenciais oportunidades de acréscimo de capacidade de produção sem investimento em mais equipamentos; e (ii) verificar como fatores, tais como a flexibilidade da linha, podem tornar as entregas mais rápidas e reduzir custos de operação. O método de pesquisa foi o Estudo de Caso único. O estudo justifica-se pela importância que o

software de sequenciamento tem no contexto da manufatura. A relevância do estudo se relaciona às possibilidades de ganhos que tal implantação oferece. O escopo de pesquisa limita-se ao planejamento da implantação feito em 2012 e 2013 e que foi iniciada em 2014.

2 Referencial teórico

A produção é a função que deve alcançar o objetivo principal de uma empresa de manufatura. Devido à complexidade envolvida, as atividades de planejamento, programação e controle de produção são, em grande parte, automatizadas (SLACK *et al.*, 1996).

A literatura traz métodos para dimensionamento de lotes (*lot sizing*) e para sequenciamento de produção (*scheduling*). Salomon *et al.* (1997) combinam decisões de dimensionamento de lote e de programação por um método baseado em programação dinâmica. Haase (1996) propõe uma variação do problema capacitado CLSP (*Capacitated Lot Sizing and Scheduling Problem*) e apresenta um método de solução heurístico baseado em regras de prioridades. Fleischmann e Meyr (1997) desenvolvem o GLSP (*General Lot Sizing Problem*) e propõem três algoritmos de busca local para resolvê-lo. Meyr (2002) desenvolve extensões do GLSP, solucionadas por técnicas combinadas de reotimização e heurísticas de busca local. O APS, analisado neste estudo, utiliza algoritmos de otimização, visando alcançar uma alternativa ótima de sequenciamento nas operações. Dado o elevado tempo de processamento para casos complexos, o tempo de processamento é limitado: não se obtém o melhor resultado possível, mas o melhor resultado calculado.

Segundo Pinedo (2002), podem-se classificar os modelos de sequenciamento como: (i) *flow shop*: existem n máquinas em série. Cada trabalho tem que ser processado em cada uma dessas máquinas. Todos os trabalhos têm que seguir o mesmo roteiro. Depois de ser concluído em uma máquina, um trabalho é inserido na fila da próxima máquina; (ii) *flow shop* flexível: é

uma generalização do *flow shop* com máquinas em paralelo. Ao invés de n máquinas em série, existem centros de trabalho, agrupando máquinas idênticas que funcionam em paralelo; (iii) *job shop*: cada trabalho tem uma rota pré-determinada para seguir, seguindo caminhos diferentes um do outro; e (iv) *job shop* flexível: da mesma forma que o *flow shop* flexível, é uma derivação do *job shop* com máquinas em paralelo.

No caso estudado, o processo combina *flow shop* e *flow shop* flexível, dado que todo o processo ocorre em série e todos os trabalhos devem percorrer esse mesmo caminho, mas com a derivação em operações estratégicas ou gargalos, onde há máquinas idênticas em paralelo, desenvolvendo a mesma função.

Devido ao elevado número de combinações possíveis, a programação geralmente torna-se a atividade mais complexa do gerenciamento da produção (SLACK *et al.*, 1996). A complexidade decorre do volume de variáveis envolvidas e sua capacidade de influenciar os diferentes e conflitantes objetivos de desempenho do sistema de PCP (PEDROSO; CORRÊA, 1996). Para lidar com essa complexidade, foram desenvolvidas, nos anos 1960, abordagens baseadas em programações detalhadas de chão de fábrica e levado em conta a capacidade finita de todas as máquinas. Em geral, os sistemas de programação fina de produção (PFP) foram implantados, baseando-se em tecnologia e computação (GOLDRATT; FOX, 1988).

Nesse sentido, o objetivo principal da programação fina de produção consiste em achar a melhor resolução da sequência de produção, buscando a melhor utilização dos tempos disponíveis nos recursos, por uma distribuição balanceada, avaliando simultaneamente a lógica da gestão dos materiais e das questões ligadas à gestão da capacidade (ANTUNES JR., 1998). No caso estudado, o objetivo é reduzir o *lead-time* de fabricação.

3 A pesquisa

O método de pesquisa foi o Estudo de Caso. O estudo compreende o teste e a execução

de um cenário já conhecido, dados de um período de tempo, já efetuado operacionalmente, e a análise comparativa com as previsões vislumbradas no cenário hipotético de um *software* de simulação APS, visando incrementar a capacidade produtiva da linha de fabricação de serras circulares, sem que haja necessidade de incremento dos recursos.

3.1 A empresa

A empresa estudada é uma fabricante multinacional de ferramentas de corte para madeira, com ampla atuação no mercado mundial e com mais de 30 anos de atuação no mercado brasileiro, tem como principal produto de seu portfólio a linha de serras circulares para madeira, cujo processo ocorre em uma única linha produtiva (*flow shop* flexível), independente das customizações necessárias, solicitadas pelo cliente. Contudo, o excesso de customização, somado à tendência de redução dos lotes solicitados pelos clientes, está gerando um excessivo número de *setups* nos equipamentos, aumento dos *buffers* e *lead times* demasiadamente grandes para a realidade do mercado. O projeto em desenvolvimento, que busca minimizar esses efeitos, é a implantação de um *software* de simulação de programação

da produção que visa sequenciar as ordens de fabricação (OF), reduzindo o número de *setups* dos equipamentos, assim como os *buffers* e, principalmente, os *lead times* da linha.

O processo total de implantação desdobra-se em diversas fases, sendo a primeira destas, a etapa de avaliação, o alvo desta pesquisa. Nessa etapa, são realizadas as avaliações que propiciam a execução do projeto, sua viabilidade e mensuração dos possíveis resultados. É denominada etapa administrativa que consiste em planejar, organizar, dirigir e controlar os recursos envolvidos. Como resultado deste Estudo de Caso, obtém-se o *feedback* da fase de avaliação de forma positiva, viabilizando a implantação do sistema ou de forma negativa, inviabilizando-a. Inicialmente, foi realizada uma correta análise e descrição global do processo (macrofluxo) e suas respectivas particularidades para que, posteriormente, fosse possível identificar e relacionar as restrições desse processo. Essas restrições são a chave para a implantação do sistema APS (LIDDELL, 2008).

No processo de produção de serras circulares, esse fluxo pode ser representado por uma única linha reta, dado que, independentemente da customização, os processos que envolvem a confecção do produto final não se alteram. A figura 1 mostra o processo.



Figura 1 - Fluxo produtivo
Fonte: Os autores (2012).

A matéria-prima inicial é a chapa de aço que passa por processos de retificação, revenimento e inspeção parcial. Após, segue para soldagem e mais revenimento, ao fim do qual, o produto passa por jateamento de granalha e é inspecionado. Os processos finais são a afiação da serra, a gravação, a inspeção final e o embalamento. O fluxo é o mesmo, independente da customização, do tamanho do lote, do material ou de sua utilização no destino final. Por esse motivo, sejam quais forem as características do lote em produção em determinado equipamento, o próximo lote deve aguardar na fila, produzindo o indicador *WIP* (*Work In Progress*), que é o número de itens em processo. Os tempos de *setup* e de espera são controlados pela forma com que os pedidos são agendados. Contudo, cada operação é visualizada isoladamente e assim medida. Como resultado, há indicadores individuais de eficiência para cada recurso que, mesmo que incrementados, não garantem um resultado satisfatório no que tange a um índice global de eficiência.

3.2 Aplicação do APS

A implantação do sistema APS se desdobra em seis fases sequenciadas: avaliação inicial; projeto; desenvolvimento; testes; implementação e pós-implantação. Este artigo abrange apenas a fase da avaliação inicial. Ao se implementar um sistema de programação, deve-se definir os objetivos do projeto. No caso em estudo, trata-se de reduzir *lead times*. Esses objetivos devem ajudar a selecionar os parâmetros que são utilizados para dimensionar o problema e os indicadores para acompanhar o desempenho. Entre os parâmetros principais estabelecidos, o primeiro (e principal) refere-se ao *lead time*, ou seja, o tempo compreendido entre o momento de entrada do material na primeira operação até a sua saída na última operação (ANTUNES JR. *et al.*, 2008). Esse parâmetro motivou o projeto de implantação.

A tabela 1 apresenta os *lead times* TM1 e TM2 objetivados, em horas.

Tabela 1 - Lead times em horas

	TM1	TM2
Tempo de produção + revenimento	12+60	300+60
Tempo Total	72	360

Fonte: Os autores (2012).

TM1 é o tempo médio de atividade, em horas, considerando a soma de todas as operações e eventuais *setups*, pelos quais a peça em produção passa. Já o TM2 é o *lead time*, o tempo real que a peça em produção leva para atravessar todo o fluxo. Nota-se, nessa comparação, que o tempo de atividade TM1 representa apenas 20% do *lead time* médio TM2.

A representação do tempo em duas notações (12+60) deve-se ao fato de se considerar a operação de revenimento em forno, uma distinção perante as demais operações, dada a sua representatividade no tempo total e a sua constância do tempo operacional, indiferentemente do tipo de produto. A tabela 2 mostra os demais parâmetros e indicadores utilizados.

Tabela 2 - Indicadores

Indicadores	Descrição	Modelagem	Quantidade
Zglobal	Total de dentes produzidos	Maior = Melhor	84.000
Nglobal	Total de peças produzidas	Maior = Melhor	1.400
STP	Número de <i>setups</i> executados	Menor = Melhor	481
NoSaw	Tempo médio de máquina parada sem produto	Menor = Melhor	18,5 (h)
Adm	Tempo médio administrativo	Menor = Melhor	18 (d)

Fonte: Os autores (2012).

Os valores da tabela representam a realidade passada, ou seja, são os valores obtidos na mensuração da produção no período determinado com duração de uma semana e são os principais indicadores que devem ser otimizados na execução do cenário. Essa semana foi pré-selecionada dentre algumas semanas, onde a intensidade de produção (medida pelo Zglobal) fora médio, ou seja, nem excessivamente alto nem reduzido. Das semanas pré-selecionadas, escolheu-se a semana 06/2012, de 06/02/12 a 11/02/12.

O indicador Nglobal indica o total de serras produzidas na semana em questão. Como essa linha produz apenas esse tipo de produto, o Nglobal indica o total de peças fabricadas. As serras podem assumir as mais variadas configurações, de acordo com a especificação do cliente, e a principal característica de uma serra é o número de dentes. A quantidade de dentes da serra influencia diretamente nos tempos de operação, como soldagem e afiação e, portanto, interfere nos indicadores de produtividade e capacidade. Para uma avaliação mais correta desses fatores, em paralelo com o indicador de

produtividade Nglobal, a empresa adotou o indicador Zglobal que registra o total de dentes produzidos no período.

O indicador STP representa o número de *setups* realizados na linha durante o período. Como os *setups* são idênticos a cada ciclo de todas as operações, independentemente das configurações dos produtos, o STP informa sobre a eficiência nos processos de *setup*. O excesso nesse indicador demonstra ineficiência (lotes pequenos demais) nas operações.

O *NoSaw*, juntamente com o *lead time*, é o indicador mais expressivo neste projeto, indicando o tempo médio de máquina parada, por falta de peça (espera de processo), ou seja, em média, quanto tempo uma operação parou, por não receber material do processo anterior.

Por fim, o indicador Adm refere-se ao tempo total de atravessamento da empresa, do pedido ao faturamento. Compreende a soma do tempo administrativo com o *lead time* da linha de produção. Para a semana citada, fora recuperado a lista de OF (ordens de fabricação) das serras circulares produzidas e listadas, como segue na tabela 3.

Tabela 3 - Ordens de Fabricação (OF):

OF	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro furo (mm)	Tipo Afiação	Quantidade
01	220	2,2	30	FZ	40
02	380	4,0	30	WZ	1
03	500	2,8	60	WZ/FA	5
04	400	3,0	45	TR	12
05	160	4,0	30	FZ	20
06	200	2,2	30	FZ	80
07	240	2,2	30	WZ/FA	4
08	280	2,2	30	WZ	10
09	400	2,8	30	WZ	5
10	440	4,0	30	WZ	3
11	175	3,0	20	WZ	2
12	300	2,8	30	WZ/FA	1
13	320	2,4	30	TR	24
14	400	3,8	30	TR	24

Continuação...

...continuação

15	380	2,2	30	FZ	1
16	240	4,0	30	FZ	10
17	440	2,8	60	WZ	2
18	175	3,0	20	WZ	5
19	300	4,0	30	TR	7
20	320	2,2	30	TR/TR	1
21	240	2,2	30	TR/TR	20
22	440	2,2	30	WZ	12
23	400	2,8	42	FZ	6
24	200	4,0	30	FZ	60
25	160	3,0	20	FZ	3
26	440	2,8	60	WZ/FA	18
27	175	2,4	20	TR/TR	10
28	175	3,8	20	WZ	10
29	320	2,2	30	WZ	5
30	240	4,0	30	WZ	3
31	300	2,8	30	TR	2
32	240	3,0	30	FZ	1
33	240	4,0	30	TR/TR	24
34	300	2,2	30	WZ/FA	24
35	320	2,2	30	WZ/FA	1
36	300	2,2	30	WZ	10
37	440	2,8	48	WZ	2
38	160	4,0	20	FZ	5
39	200	3,0	30	WZ	7
40	500	2,8	30	FZ	4

Fonte: Os autores (2012).

Por preservação da informação industrial, solicitada pela empresa, algumas informações foram omitidas como o real número das OF's, informações de ângulos e medidas especiais, etc. De qualquer forma, essas não prejudicam a análise dessa fase de avaliação.

A partir das informações, até aqui já referenciadas, foi possível nesse ponto, a criação de um mapa operacional (tabela 5), onde foram listadas todas as OF's, e relacionadas com todas as operações do fluxo produtivo, além de determinados seus respectivos tempos de operação (TO), *setup* (TS), carga e descarga (TC) e transporte (TT). Essas

informações são a base para a montagem do cenário no sistema APS. Novamente, para preservar a informação industrial, os tempos não são listados.

O sistema APS permite elaborar a programação da produção, considerando regras de programação como, por exemplo, menor duração da operação (SPT – *Shortest Processing Time*), menor tempo disponível (SLK – *Slack*), maior trabalho restante (MWR – *Most Work Remaining*) e data de entrega mais próxima (EDD – *Earliest Due Date*), além de permitir também o emprego de otimização, pela heurística como *Beam Search*.

As regras de programação ou regras de prioridade são os planos de sequenciamento, onde é definido qual tarefa é iniciada antes na fila de uma determinada máquina ou centro de trabalho (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001), quando existem várias tarefas, aguardando processamento.

Das inúmeras regras possíveis para determinar as prioridades de processamento, foram selecionadas algumas (MONKS, 1987):

– SPT - *Shortest Processing Time* ou menor tempo de processamento. Conforme essa regra, o processamento seguinte é realizado com a tarefa que apresentar menor tempo de processamento dentre as tarefas em espera, visando minimização das filas e aceleração do fluxo;

– SLK - *Slack* ou menor folga. A próxima tarefa a processar é a que apresentar menor folga (tempo previsto para entrega menos tempo restante de processamento), visando priorizar as tarefas urgentes e minimizando os atrasos;

– MWR - *Most Work Remaining* ou maior trabalho restante. Essa regra prioriza as tarefas com maior tempo restante de processamento, visando executar primeiro as tarefas que mais consomem recursos, tornando o fluxo mais rápido posteriormente;

– EDD - *Earliest Due Date* ou data de entrada mais próxima. Conforme essa regra, a próxima tarefa a ser executada é aquela que apresentar uma data de entrega mais próxima, ou seja, as tarefas são classificadas em ordem crescente de prazo.

Para avaliar os resultados, foram realizados experimentos, considerando todas essas regras de programação: SPT, SLK, MWR e EDD. Também, foi aplicado o método de otimização, analisando dois diferentes objetivos de otimização, quais sejam, minimizar o tempo total da programação e minimizar o atraso das ordens. Para ambos os objetivos, foram empregados cinco minutos como tempo limite de otimização (LIDDELL, 2008).

3.3 As restrições

Algumas restrições devem ser levadas em conta no momento da programação da produção. Primeiramente, o mais evidente dos fatores, o terceiro processo da linha, o alívio de tensões no forno de revenimento que possui um tempo de operação mais elevado que os demais, necessitando de um lote mínimo para a execução. Por questões de custo, o processo é ligado uma única vez por semana, possibilitando dois momentos distintos no planejamento da produção: antes do forno e após o forno. O tempo total de operação do forno de revenimento é de 2,5 dias (ou 60 horas) ininterruptos: *start*, aquecimento, tempo de revenimento e resfriamento. Verifica-se que o tempo de *setup*, tanto para carregamento, quanto para descarregamento, não consta como parte integrante do tempo operacional.

Outras restrições são consideradas no atual sequenciamento. O corte da chapa, efetuado em máquina de corte a laser, propicia uma restrição, devido à espessura da chapa. Na abertura e no acabamento do furo central, ocorre outra restrição devido ao diâmetro do furo e aos respectivos ferramentais necessários para fazê-lo. Na soldagem, a restrição se deve ao tamanho da pastilha; na afiação, ao perfil de afiação do dente e assim sucessivamente.

Ordens de fabricação de diferentes serras, mas com características similares, são agrupadas no momento da operação, o que pode mudar a ordem inicial. O método FIFO (*first in, first out* – primeiro que entra, primeiro que sai), utilizado no momento do planejamento, se perde completamente já no primeiro processo e continua sendo alterado de forma inconsistente, à medida que passa de um recurso para outro.

A tabela 4 apresenta a listagem completa das operações e das respectivas restrições que modelam a sequência de operação da linha de fabricação das serras circulares:

Tabela 4 - Operações e restrições

Sequência	Operação	Restrição
01	Corte chapa	Espessura chapa
02	Retífica plana	Espessura chapa
03	Revenimento (Forno)	Preenchimento total
04	Inspeção 1	---
05	Abertura / acabamento furo	Setup ferramental
06	Prep. Soldagem	Tamanho de pastilha
07	Soldagem	Tamanho de pastilha
08	Revenimento (dentes)	---
09	Limpeza	---
10	Jato de granalha	---
11	Inspeção 2	---
12	Afiação	Tipo afiação
13	Gravação	---
14	Inspeção 3	---
15	Embalagem	---

Fonte: Os autores (2012).

3.4 Customizações e possibilidades

Para as duas primeiras operações, com restrição referente à espessura da chapa (corte e retífica) verificam-se as seguintes possibilidades de espessura da chapa: 1,6; 2,0; 2,2; 2,5; 2,7; 3,0; 3,2; 3,5; 3,7; 4,0; 4,5; 5,0 mm. As médias intermediárias são obtidas, através do processo de retífica (adicionando novos passes que retiram mais material).

Para a operação de abertura do furo central, cortado com 28mm no corte a laser, e posterior acabamento (padrão de nomenclatura é furo h7), observa-se a restrição de dimensão do furo, já que, para cada dimensão, diferentes ferramentas são necessárias (brocas, brochas, alargadores e passadores) e, por isso, agrupam-se as peças de furos equivalentes.

Nas operações de soldagem, tanto na preparação, quanto na soldagem propriamente dita, a restrição que define o sequenciamento é o tamanho da pastilha. Existem gamas para esse fator, mas se pode listar os mais utilizados (esses abrangem cerca de 98% dos casos totais): 3,8 x 6,0; 4,0 x 6,0; 4,0 x 6,4; 4,0 x 7,2; 4,4 x 3,0; 4,4 x 4,0; 4,4 x 6,0; 5,5 x 8,0; 5,8 x 8,0; 6,0 x 10,0 mm.

Quanto à afiação, podem-se obter vários tipos de perfil de pastilhas, sendo que todas, antes de afiadas, possuem formato retangular.

Mesmo que o processo de confecção das serras circulares não se altere, conforme já havia sido caracterizado anteriormente, dadas as inúmeras possibilidades de configuração do produto, deve-se levar em consideração que, apesar dessas características não representarem uma restrição diretamente, as frequentes alternâncias entre essas características geram paradas de máquina, novos *setups*, eventuais períodos de arranque ou de inércia, etc. Esses, por sua vez, por representarem perda no precioso tempo da linha, representam também uma restrição no plano da produção.

4 Resultados

O gráfico de Gantt é a ferramenta básica para a programação das ordens gerado pelo *software* APS, empregando a regra com melhor retorno em relação à minimização do tempo total de execução: a regra SPT. Essa regra constrói a sequência de tarefas, ordenando-as de tal forma que a tarefa com tempo

de processamento mais curto seja processada antes daquela com tempo de processamento mais longo.

Na execução desse cenário, verifica-se uma redução do *lead time* médio, anteriormente registrado em 360h, para cerca de 230h, o que representa cerca de 36% de redução no tempo médio de atravessamento e, conseqüentemente, no tempo total de execução das OF da semana 06/2012. Essa redução representa, em uma empresa MTO,

uma aproximação entre as datas de pedido e entrega, reduzindo o prazo do cliente em escala de 1/3. Ainda sobre essa mesma perspectiva, 36% de redução no *lead time* médio, representa também a possibilidade de incrementar em cerca de 20% a 25% a produção semanal, sem que haja necessidade de aumento de investimentos em recursos, tanto humanos, quanto no parque industrial. A tabela 5 apresenta estes resultados.

Tabela 5 - Indicadores:

Indicadores	Descrição	Modelagem	Quantidade
Zglobal	Total de dentes produzidos	Maior = Melhor	105.000
Nglobal	Total de peças produzidas	Maior = Melhor	1.750
STP	Número de <i>setups</i> executados	Menor = Melhor	221
NoSaw	Tempo médio de máquina parada sem produto	Menor = Melhor	10 (h)
Adm	Tempo médio administrativo	Menor = Melhor	8 (d)

Fonte: Os autores (2012).

Baseados no cenário, podem-se verificar os novos patamares dos indicadores, em alguns casos,

diretamente do sistema APS e, em outros, através de cálculos. A tabela 6 apresenta estes resultados.

Tabela 6 - Quadro comparativo – Indicadores e fatores extras

Indicadores	Modelagem	Anterior	Previsão	Diferença
Zglobal	Maior = Melhor	84.000	105.000	+25,0 %
Nglobal	Maior = Melhor	1.400	1.750	+ 25,0 %
STP	Menor = Melhor	481	221	- 54,0 %
NoSaw	Menor = Melhor	18,5 (h)	10 (h)	- 45,9 %
Adm	Menor = Melhor	18 (d)	8 (d)	- 55,6 %
Leadtime	Menor = Melhor	360 (h)	230 (h)	- 36,1 %
Incremento de linha	Maior = Melhor	100 (%)	125 (%)	+ 25 %
Necessidade Investimento	Menor Melhor	100 (%) *	0 %	- 100 %

* Necessidade de investimento com base percentual para proteção de informação sigilosa.

Fonte: Os autores (2012).

Os novos números para os indicadores Zglobal e Nglobal (total de dentes e de peças

produzidas, respectivamente), foram calculados com base na possibilidade de incremento

de 25% da capacidade produtiva, dado que a redução do tempo total para fabricação “libera” a linha para que esse incremento seja possível.

O indicador Adm (tempo administrativo, baseado na diferença entre pedido e entrega), por sua vez, pode ser visualizado diretamente no *software* APS, visto que se refere exatamente ao tempo médio de execução de cada OE, da sua emissão até o encerramento. Nesse indicador, pode-se verificar uma expressiva queda de 55%, referente a 10 dias a menos no tempo médio total. A diferença apreciada no indicador Adm, representa uma expressiva redução no *lead time*, contudo, de forma indireta, reduz o tempo administrativo e burocrático do atravessamento total, devido a maior clareza no cronograma de atividades, proporcionado pelo sistema.

Assim como o *NoSaw* que representa o tempo médio de todos os recursos em que esses ficaram inoperantes por falta de sua matéria-prima proveniente do recurso anterior, também pode ser visualizado através do *software* e mostra uma variação das 18,5 h anteriores para as 10h possíveis nesse novo cenário.

Por último, mas talvez mais expressivamente, a redução do indicador STP, referente ao número total de *setups* realizados para executar todo o planejamento, ocorreu na escala de 54%, dos 481 *setups*, realizados anteriormente para os 221 possíveis no cenário estudado.

5 Considerações finais

No desenvolvimento deste artigo, o planejamento e a programação da produção foi desenvolvido para um ambiente específico de produção em linha de serras circulares, um produto padronizado com alto índice de customização, o qual visou minimizar simultaneamente dois objetivos, a penalidade, causada pelo atraso na entrega das ordens e a ociosidade que mede a taxa de utilização das máquinas.

O objetivo proposto de apresentar e testar a execução de um cenário já conhecido, em um *software* APS, comparando os dados ocorridos no passado, com as novas previsões para

o mesmo cenário, foi concluído com êxito. Da mesma forma, foi possível invalidar a proposta de aquisição de novos equipamentos que aumentariam os recursos em 20%, uma vez que, com a nova capacidade calculada pelo *software* APS, é possível obter esse aumento com um correto sequenciamento das tarefas, sem a necessidade de ampliação do parque fabril.

Para viabilizar os objetivos propostos, o estudo buscou evidenciar a etapa de avaliação da implantação e os resultados, obtidos nesse processo, que permitiram quantificar as reais divergências entre o processo atual e o cenário futuro.

Foram realizadas diversas programações da produção de serras, baseando-se nas regras de programação e na ferramenta de otimização. Como resultado, pode-se verificar a existência de uma possibilidade de redução do tempo total de produção para a gama programada. Os novos números para os indicadores, principalmente Zglobal e Nglobal (total de dentes e de peças produzidas, respectivamente), indicam a possibilidade de incremento de 25% da capacidade produtiva, resultando em uma redução do tempo total de fabricação e liberando a linha para que o incremento necessário seja possível. Recorde-se que essas são apenas estimativas e que as altas variabilidades presentes nos processos produtivos costumam afetar significativamente os resultados esperados, o que deve ser considerado na sequência das atividades.

O sistema e a simulação permitiram que a empresa passasse a visualizar os níveis previstos de utilização dos equipamentos, identificando os gargalos e tendo maior confiabilidade na programação, além de mais flexibilidade nas alterações dos cenários, garantindo velocidade na geração dos cenários e permitindo criar alternativas rápidas, quando necessário, resultando no controle total simulado de todas as etapas do processo de produção. Com a possível futura implantação do sistema APS, a empresa possivelmente poderá reduzir o estoque intermediário, resultado da redução das esperas entre as etapas de produção.

Por fim, com a continuidade do projeto de implantação do APS, outros sistemas da empresa podem ser beneficiados, tais como manutenção e controle de estoque. Assim, podem surgir outros benefícios para a empresa e para toda a cadeia de suprimentos, dado que muitos dos conceitos e ferramentas adotadas ainda não estão totalmente colocados em prática e os treinamentos de capacitações, ainda não estão completamente implantados, uma vez que o plano de execução está projetado a médio e longo prazo.

Referências

- ANTUNES JR., J. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção:** uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e a teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) - Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- ANTUNES, JR., J. *et al.* **Sistemas de produção e praticas para projeto e gestão da produção enxuta.** Porto Alegre: Bookman, 2008.
- BREMER, C.; LENZA, R. Um modelo de referência para gestão da produção em sistemas de produção assembly to order: ATO e suas múltiplas aplicações. **Gestão & Produção**, v. 7, n. 3, p. 269-282, 2000.
- CLETO, M. A gestão da produção nos últimos 45 anos. **Revista FAE Business**, v. 4, n. 1, p. 38-41, 2002.
- CORRÊA, H.; GIANESI, I.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção, MRPII/ERP:** conceitos, uso e implantação. São Paulo: Atlas, 1997.
- DAVIS. M.; AQUILANO, N.; CHASE, R. **Fundamentos de administração da produção.** Porto Alegre: Bookman, 2001.
- FLEISCHMANN, B.; MEYR, H. The general lot sizing and scheduling problem. **OR Spektrum**, v. 19, n. 1, p. 11-21, 1997.
- GOLDRATT, E.; FOX, R. **A meta.** São Paulo: Nobel, 1988.
- HAASE, K. Capacitated Lot-Sizing with Sequence Dependent Setup Costs. **OR Spektrum**, v. 18, n. 2, p. 51-59, 1996.
- JUNG, J.; LEE, Y. Heuristic algorithms for production and transportation planning through synchronization of a serial supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 124, n. 2, p. 433-447, 2010.
- LIDDELL, M. **O pequeno livro azul da programação da produção.** Vitória: Tecmaran, 2008.
- MEYR, H. Simultaneous lot sizing and scheduling on parallel machines. **European Journal of Operational Research**, v. 139, n. 3, p. 277-292, 2002.
- MONKS, J. **Administração da produção.** São Paulo: McGraw-Hill, 1987.
- PEDROSO, M.; CORRÊA, H. Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica? **RAE**, v. 36, n. 4., p. 60-73, 1996.
- PINEDO, M. **Scheduling:** theory, algorithms, and systems. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2002.
- PIRES, S. **Gestão estratégica da produção.** SP: Unimep, 1995.
- RUSSOMANO, V. **PCP:** planejamento e controle de produção. São Paulo: Pioneira, 2000.
- SALOMON, M. *et al.* Solving the discrete lotsizing and scheduling problem with

sequence dependent setup costs and setup times using the Travelling Salesman Problem with time windows. **European Journal of Operational Research**, v. 100, n. 3, p. 494-513, 1997.

SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

TUBINO, D. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2007.

