



PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA PLÁSTICA: UMA ABORDAGEM BASEADA EM PREVISÃO DE DEMANDA E NÍVEIS DE CAPACIDADE

PRODUCTION CAPACITY PLANNING IN PLASTIC INDUSTRY: AN APPROACH BASED ON FORECASTING AND CAPACITY LEVELS

Rodrigo Pessotto Almeida* E-mail: rodrigopa7@hotmail.com

Fernanda Romanzini* E-mail feromanzini@outlook.com

Liane Werner* E-mail: liane.werner@ufrgs.br

***Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

Resumo: Este artigo apresenta um estudo da aplicação de conceitos de capacidade de produção e previsão de demanda, voltado a propor soluções para problemas acerca do planejamento da capacidade. O objetivo do estudo é prever o *mix* de produtos e o nível de atividade prevista que otimiza a utilização da capacidade disponível. Para isso é proposta uma modelagem matemática, que utiliza o algoritmo GRG não linear disponível através da planilha do Microsoft® Excel. A aplicação do modelo é conduzida utilizando dados de uma das principais empresas brasileiras transformadoras de plástico. Os resultados revelam a habilidade do modelo proposto em fornecer informações que auxiliam a tomada de decisões para o planejamento da capacidade de produção.

Palavras chave: Planejamento da capacidade de produção. Previsão de demanda. Nível de atividade. Sistema produtivo.

Abstract: This article presents a study of the application of production capacity concepts and forecasting, focused in the proposition of solutions to problems concerning capacity planning. The objective is to predict the mix of products and the expected activity level in order to optimize the capacity use. With this aim, it is proposed a mathematical model that uses the nonlinear GRG algorithm available in Microsoft® Excel worksheet. The model application is conducted using data of a main Brazilian manufacturing plastic company. The results show the ability of the model to provide information to assist decision making for the production capacity planning.

Keywords: Production capacity planning. Forecasting. Activity level. Production system.

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário de constantes mudanças, cada vez mais as empresas são desafiadas tanto pela complexidade provocada pela variação de demanda de seus clientes, como pela acirrada concorrência imposta pelo mercado. Assim, faz-se necessário determinar políticas otimizadas de ajuste da capacidade para equilibrar demanda com a oferta viabilizada pela sua capacidade de produção (LINGITZ *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2012).

Porém, determinar níveis de capacidade de produção é um desafio, tanto pelo comportamento estocástico do sistema de produção, como pela chegada imprevisível

de pedidos. Assim, para o caso de capacidade insuficiente os problemas concentram-se no aumento do ciclo de produção, provocando atrasos nas entregas, aliado a altos níveis de *work-in process*. Já o excesso de capacidade resulta em desperdícios de recursos, provocado pela baixa utilização da estrutura produtiva ou de equipamentos (KORYTKOWSKI, 2006).

Tan e Alp (2009) destacam a importância da habilidade das empresas para lidar com a volatilidade na demanda para seus produtos. Para Giri e Moon (2004), cenários com baixa utilização da capacidade de produção apresentam maior habilidade para absorver a variabilidade da demanda do que um sistema com elevada utilização. Porém, nestas condições é indispensável a mensuração das perdas associadas à baixa utilização destes recursos.

Decisões assertivas no planejamento de capacidade em nível tático e estratégico são essenciais para uma utilização otimizada dos recursos investidos em estrutura produtiva ou equipamentos, principalmente em sistemas modernos de manufatura (GUNASEKARAN *et al.*, 1998). Portanto, determinar um nível ótimo de capacidade para atender a demanda é fundamental para o desempenho do sistema produtivo, ao passo que o desequilíbrio entre estas pode provocar perdas econômicas para a organização. Assim, o desafio repousa sobre harmonizar o grau de capacidade de produção com o nível de demanda do mercado, visando a maximização dos lucros (HO e FANG, 2013).

Modelos de previsão de demanda e decisões de capacidade assumem papéis importantes para teoria e prática, pois para obterem oportunidades de mercado e alcançar demandas de longo prazo, as empresas devem frequentemente ajustar sua capacidade de produção (ZHANG *et al.*, 2012).

Neste artigo, são abordados os temas previsão de demanda e capacidade de produção, de forma a entender e propor soluções para o problema de decisões acerca do planejamento da capacidade de produção, enfrentado por diversas organizações. O objetivo é prever o *mix* de produtos, ou seja, o nível de atividade prevista (*NAP*), que otimiza a utilização da capacidade de produção disponível, avaliando os desajustes entre capacidade de produção e demanda que representam respectivamente, estrutura produtiva e o mercado.

Para alcançar este objetivo, o modelo proposto neste estudo utiliza modelagem matemática para estabelecer o relacionamento de informações provenientes do sistema produtivo e mercado. A Seção 2 apresenta uma revisão da literatura contemplando os temas propostos. As Seções 3 e 4 apresentam a metodologia de pesquisa e o modelo proposto, respectivamente. A Seção 5 apresenta um estudo aplicado, onde é utilizado o método proposto. Por fim, a Seção 6 traz as conclusões deste estudo e indicações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme proposto por Slack *et al.* (2002), as etapas iniciais do planejamento da capacidade de produção consistem em medir a demanda e a capacidade da operação produtiva.

2.1 Previsão de demanda

Previsões de demanda desempenham importante papel na gestão organizacional, pois permitem o planejamento das diversas áreas, como área financeira, de recursos humanos e de vendas. Previsões também apresentam relação direta a diversos aspectos do gerenciamento de produção, como gestão de estoques e planejamento de produção (PELLEGRINI e FOGLIATTO, 2001).

De modo geral, as diversas técnicas de previsão de demanda podem ser classificadas em métodos quantitativos, qualitativos ou combinações de ambos. Métodos quantitativos geralmente são mais precisos, quando uma quantidade adequada de dados históricos esteja disponível e o fenômeno em investigação seja estável. Métodos qualitativos são utilizados quando não existem dados disponíveis e o fenômeno em investigação está em mudança, fazendo com que o passado seja incapaz de explicar o estado futuro (CANIATO *et al.*, 2011).

Os métodos de suavização exponencial são relativamente simples, mas constituem técnicas robustas de previsão, as quais são amplamente utilizadas no mundo dos negócios para prever demandas de inventários. Aplicações de modelos de suavização exponencial para previsão de séries temporais geralmente contam com três métodos básicos: (i) Suavização Exponencial Simples; (ii) Suavização Exponencial Linear de Holt; e, (iii) Modelos de Holt-Winters (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998; EVERETTE e GARDNER Jr., 2006; BILLAH *et al.*, 2006).

Para escolha do modelo a ser empregado, esta pode ser realizada baseada no comportamento da série temporal a ser analisada. Assim Modelos de Suavização Exponencial Simples são utilizados para séries temporais sem tendência, onde os dados são representados pela média da série (PELLEGRINI, 2000; EVERETTE e GARDNER Jr., 2006). Sua representação matemática é dada pela equação (1) (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998).

$$\hat{Z}_{t+1} = \alpha z_t + (1 - \alpha)\hat{z}_t \quad (1)$$

Onde \hat{Z}_{t+1} é a previsão da demanda para o período $t+1$, feita no período atual t , α é a constante de suavização, podendo assumir valores entre 0 e 1; z_t corresponde ao valor observado na série temporal para o tempo t , e, \hat{z}_t é o valor da previsão para o período t .

Para dados que apresentam tendência o modelo a ser utilizado, de maneira satisfatória, é Suavização Exponencial Linear de Holt, que é representado matematicamente pelas equações (2), (3) e (4) (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998).

$$L_t = \alpha z_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3)$$

$$\hat{Z}_{t+k} = L_t + KT_t \quad (4)$$

Onde α e β são constantes de suavização; L_t é a estimativa do nível da série temporal no período t ; T_t é estimativa de tendência da série temporal para o período t ; e, \hat{Z}_{t+k} é a previsão para o período $t+k$.

Quando a série além de tendência apresentar sazonalidade, a previsão é apropriadamente obtida a partir dos Modelos de Holt-Winters. Devido à componente sazonal apresentar diferentes características em seu comportamento, os modelos de Holt-Winters são divididos em dois grupos, aditivo e multiplicativo (PELLEGRINI, 2000; EVERETTE e GARDNER Jr., 2006; BILLAH *et al.*, 2006). Para o modelo aditivo a amplitude da variação sazonal apresenta comportamento constante ao longo do tempo, sendo este modelo representado pelas equações (5), (6), (7) e (8) (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998).

$$L_t = \alpha(Z_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (5)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (6)$$

$$S_t = \gamma(Z_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (7)$$

$$\hat{Z}_{t+k} = L_t + KT_t + S_{t-s+k}, \quad (8)$$

Onde s é uma estação completa da sazonalidade, ou seja, o número de períodos por ciclo sazonal; L_t , T_t , e S_t representam o nível, a tendência e a sazonalidade da série, respectivamente; γ é a constante de suavização relacionada à sazonalidade, assumindo valores entre 0 e 1; e, \hat{Z}_{t+k} é a previsão para k períodos a frente.

Já o modelo multiplicativo tem como característica o aumento ou diminuição da amplitude da variação sazonal, como função do tempo. A representação matemática do modelo é dada pelas equações (9), (10), (11) e (12) (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998).

$$L_t = \alpha \frac{Z_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (9)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (10)$$

$$S_t = \gamma \frac{Z_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (11)$$

$$\hat{Z}_{t+k} = (L_t + KT_t)S_{t-s+k} \quad (12)$$

Onde a equação de tendência permanece a mesma utilizada no modelo aditivo, tendo como única diferença nas demais equações a componente sazonal efetuando operações de multiplicação e divisão, ao invés de somar e subtrair.

2.2 Capacidade de produção e seu planejamento

Para Slack *et al.* (2002), a capacidade de produção de uma operação pode ser definida como o máximo nível de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo que o processo pode realizar sob condições normais de operação. Para Osorio (1992), capacidade de produção e nível de atividade são conceitos que apresentam, além de significados diferentes, consequências distintas para a gestão da produção. Este classifica a capacidade como condicionante do nível de atividade,

apresentando as seguintes definições para os conceitos: (i) capacidade é a competência de uma operação para gerar bens ou serviços, em função de transformação ou qualquer outra forma que implique em criação de utilidade ou adição de valor; (ii) nível de atividade é o grau de uso que se prevê ou se realiza da capacidade possível ou disponível, dependendo de uma decisão imposta ou condicionada.

Para se manterem competitivas, as empresas precisam tomar decisões acerca do dimensionamento de sua capacidade produtiva no curto e longo prazo, seguindo políticas adequadas de planejamento de sua capacidade (GUJARATHI *et al.*, 2004). Neste sentido, Silva e Kopittke (2002) destacam dois tipos de decisões presentes na indústria, produzir e investir. A decisão de produzir se relaciona ao curto prazo, ou seja, uma decisão tomada continuamente pela organização, tendo como fator limitante sua capacidade de produção. Já investir é caracterizado como uma decisão de longo prazo, relacionada ao tamanho da capacidade produtiva da organização.

Após (i) medir demanda e capacidade, as etapas seguintes do planejamento de capacidade consistem em (ii) identificar as políticas alternativas de capacidade e (iii) escolher as políticas de capacidade mais adequadas (SLACK *et al.*, 2002).

O planejamento da capacidade é a atividade de analisar e tomar decisões visando equilibrar o nível de produção ou serviços com a demanda de mercado, decidindo também como esta deve reagir frente aos desafios provocados pela flutuação na demanda (KAZANCIOGLU e SAITOU, 2006). Para enfrentar estes problemas, Volting *et al.* (2013) destacam as vantagens da utilização de instrumentos que propiciem flexibilidade aos sistemas de produção. Para os autores, o planejamento da capacidade consiste em um conjunto de decisões em termos de volume e *mix*, que podem influenciar tanto os investimentos de médio prazo como a flexibilidade operacional. Nesta mesma linha, Bish *et al.* (2005) investigam os custos e benefícios associados à gestão da flexibilidade da capacidade para mitigar flutuações de curto prazo na demanda, utilizando políticas variadas de alocação de capacidade. Já Zhang *et al.* (2012) determinam políticas de ajuste de capacidade baseadas em estimativas de vendas obtidas a partir de um modelo matemático.

Neste sentido, Martínez-Costa *et al.* (2014) fornecem uma revisão detalhada da literatura, destacando a aplicação de modelos de programação matemática como alternativa para explorar problemas de planejamento da capacidade de produção. Ji *et al.* (2016) desenvolvem uma modelagem matemática para estabelecer a minimização de custos de produção, considerando efeitos de variabilidade da demanda e incerteza na capacidade de produção.

Um modelo utilizando programação inteira mista para estabelecer o planejamento da capacidade de produção em termos de localização e ajustes da capacidade é apresentado por Mariel e Minner (2015). Já Beerbühl *et al.* (2015) utilizam programação inteira mista e programação não linear para determinar o planejamento e programação da capacidade de produção.

O planejamento baseado na aplicação de técnicas de simulação, tais como simulação de eventos discretos, permite modelar sistemas complexos de produção,

além de que diferentes configurações do sistema podem ser facilmente modeladas graças à flexibilidade oferecida pela simulação (KAZANCIOGLU e SAITOU, 2004; SMITH, 2003). No estudo apresentado por Kazancioglu e Saitou (2006), um método baseado em simulação busca determinar a capacidade ideal, maximizando a qualidade do produto e minimizando os custos de produção.

Para Li e Ierapetritou (2010), um modelo de planejamento de produção para fornecer metas de produção realistas, deve levar em conta não só as demandas do mercado, mas também a real capacidade de produção do sistema. Tal ideia é corroborada por Wang *et al.* (2011), pois mesmo com o surgimento de fatores da indústria moderna como flexibilidade de produção e customização, os autores destacam que o desafio do sistema de produção permanece na sua capacidade de responder às flutuações da demanda. Investigando cenários de demanda incerta, Ho e Fang (2013) utilizam um algoritmo para definir a alocação otimizada de capacidade em um processo multiprodutos com restrições de capacidade, visando a maximização dos lucros deste sistema.

Sendo assim, torna-se necessário medir o potencial produtivo disponível no sistema. Horngren *et al.* (2000) e Osorio (1992) convergem para o conceito de capacidade produtiva, apresentando as definições de capacidade máxima teórica (Qt) e capacidade máxima prática ou real (Qm). Capacidade máxima teórica é definida como a produção possível de alcançar por uma planta ou um setor desta, em determinado período, trabalhando 100% do tempo total disponível em condições de máxima ou absoluta eficácia de aproveitamento dos meios produtivos. Trata-se da capacidade ideal, porém quase impossível de alcançá-la. Já capacidade máxima prática entende-se como à máxima capacidade para produzir, operando 100% do tempo possível com a máxima eficiência, porém deduzindo as interrupções consideradas normais na operação, tais como o tempo para reparos, manutenção preventiva, não funcionamento em feriados, preparação de equipamentos, falta de materiais e falta de operador. Esta constitui a capacidade máxima real de produção, considerando certa ineficiência previsível ou normal de difícil ou impossível eliminação.

Outra condicionante para se determinar a capacidade de um sistema é a variável tempo de trabalho. Assim, Osorio (1992) apresenta as definições de tempo cronológico ou possível, tempo de uso disponível e tempo efetivo ou ativo, conforme Figura 1. A definição de tempo cronológico refere-se a um intervalo de tempo entre dois momentos de maneira contínua sem nenhuma interrupção, medido em uma unidade conveniente (anos, dias, horas). Ao reduzir do tempo máximo possível, os tempos não utilizados relativos a paradas normais ou inevitáveis, motivadas por razões legais, convencionais ou técnicas, pode-se calcular o tempo de uso disponível, que é representado pela equação (13).

$$Td = Tp - (Pc + Pt) \quad (13)$$

Onde, Td é o tempo disponível; Tp tempo possível; Pc paradas por razões legais ou convencionais; e, Pt paradas por razões técnicas.

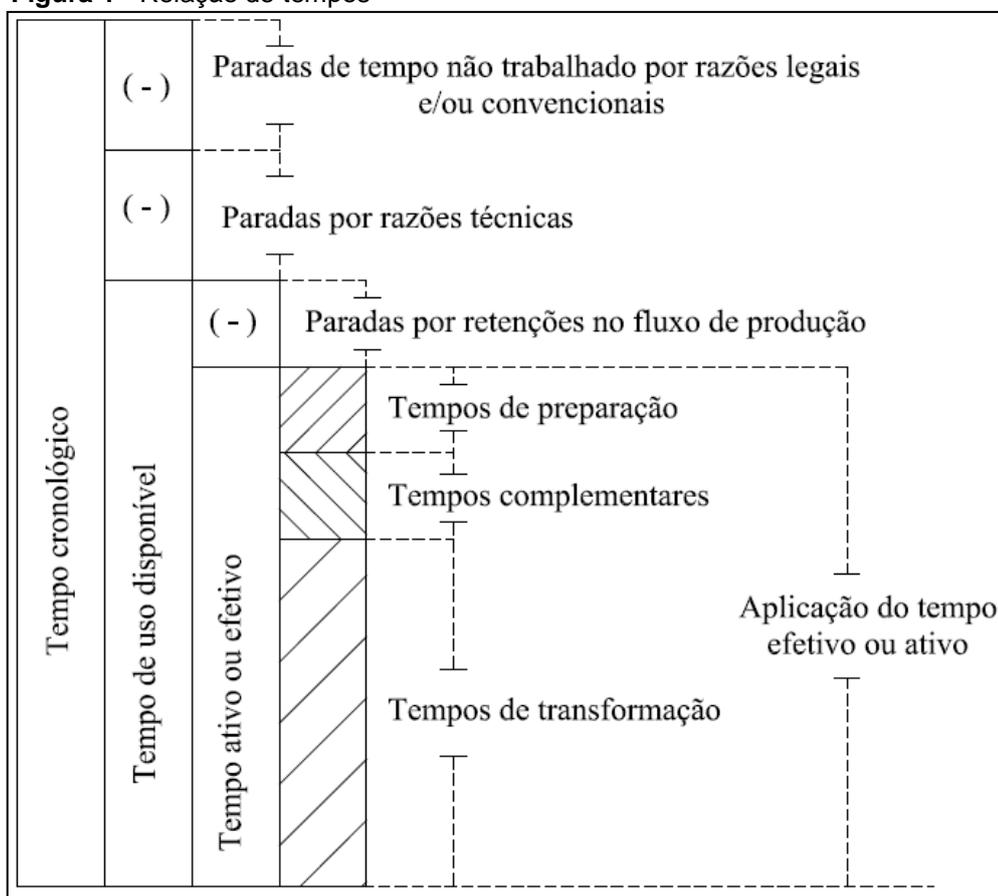
O período de tempo em que os meios produtivos possam realmente dedicar-se a transformação de materiais em produtos, é definido como tempo efetivo ou ativo (T_e), podendo este ser calculado pela soma de tempos de preparação (T_{pr}), tempos de transformação (T_t) e tempos complementares (T_c), conforme equação (14).

$$T_e = T_{pr} + T_t + T_c \quad (14)$$

Assim a capacidade máxima de produção (Q_m) será determinada pelo produto das variáveis, tempo máximo útil disponível (T_m) e produtividade técnica máxima (E_m), que se refere à produção por unidade de tempo possível. Portanto, a capacidade pode ser determinada pela equação (15) (OSORIO, 1992).

$$Q_m = T_m \cdot E_m \quad (15)$$

Figura 1 - Relação de tempos



Fonte: Adaptado de (OSORIO, 1992)

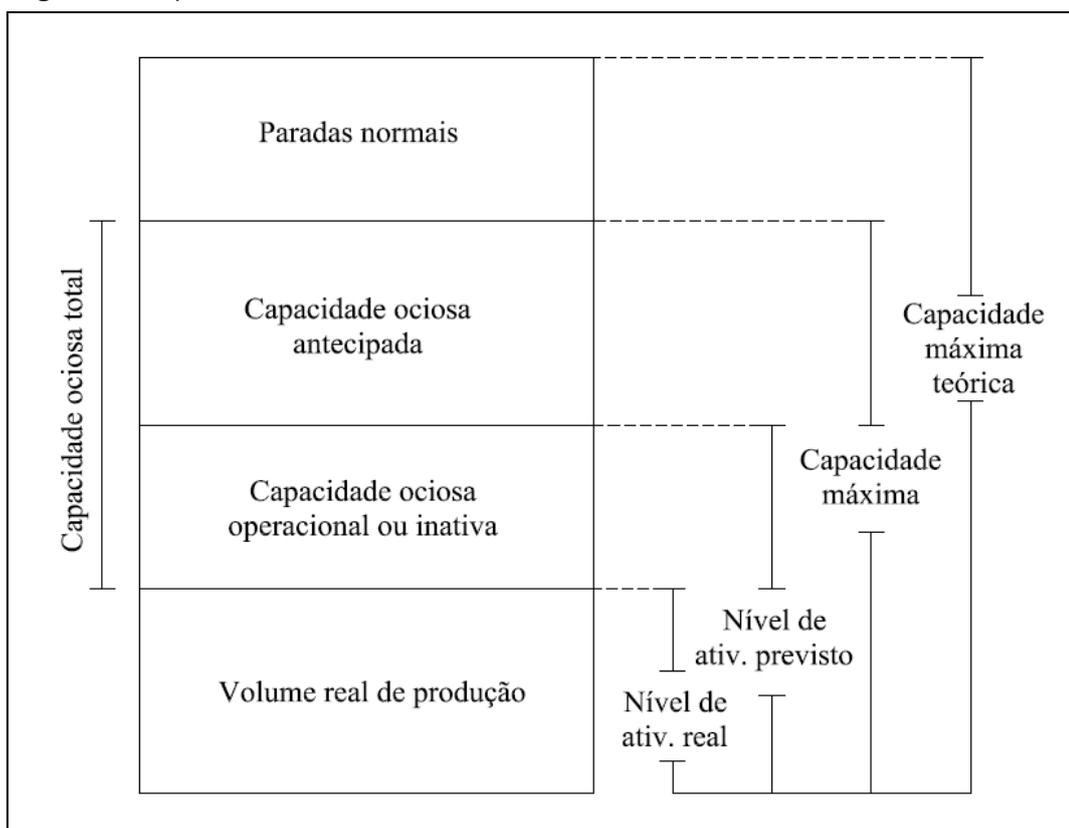
Ao abordarem capacidade, Horngren et al. (2000) apresentam dois conceitos: capacidade, referindo-se a estrutura disponível, e a necessidade, que representa a utilização. A mesma ideia é defendida por Osorio (1992) ao conceituar nível de atividade em nível de atividade prevista (N_{Ap}) e nível de atividade real (N_{Ar}), ilustrado na Figura 2. Nível de atividade prevista é definido como o uso que, para um período de tempo, se espera realizar da capacidade máxima prática, ou seja, o grau de utilização previsto do potencial produtivo disponível. Já o conceito de Nível de atividade real

refere-se ao desempenho ocorrido, que representa o grau de utilização real, em um determinado período, do potencial produtivo disponível.

Assim, o grau de utilização que se prevê realizar do potencial produtivo disponível, chamado de Nível de atividade prevista (NAp), pode ser calculado a partir dos valores de tempo de uso previsto do sistema produtivo (Tp) e produtividade técnica prevista (Ep) aplicando a equação (16) (OSORIO, 1992).

$$NAp = Tp \cdot Ep \quad (16)$$

Figura 2 - Capacidade e níveis de Atividade



Fonte: Adaptado de (OSORIO, 1992)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em relação à natureza, este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimento para aplicações práticas na solução de problemas relacionados ao planejamento da capacidade produtiva. Por estar apoiada na base de dados da empresa e em fórmulas matemáticas, esta pesquisa apresenta uma abordagem predominantemente quantitativa. Em relação aos objetivos, esta pesquisa caracteriza-se como explicativa, tendo como principal finalidade desenvolver um modelo para auxiliar no planejamento da capacidade produtiva, integrando conceitos de previsão de demanda e capacidade de produção. Quanto aos procedimentos utilizados, trata-se de uma pesquisa participante, uma vez que os autores estiveram diretamente

envolvidos no estudo e implementação da solução, juntamente com os membros da aplicação prática investigada (SILVA e MENEZES, 2005).

Como etapa inicial deste estudo, foi realizada uma pesquisa na literatura sobre os temas relacionados ao estudo, sendo os conceitos abordados: previsão de demanda, capacidade de produção e planejamento da capacidade produtiva. Para a construção do modelo, inicialmente buscou-se integrar os conceitos de capacidade de produção e previsão de demanda com as características envolvidas na aplicação prática, visando estabelecer uma ferramenta para o planejamento da capacidade produtiva.

Na sequência foi desenvolvida uma modelagem matemática capaz de receber e promover o cruzamento das informações oriundas do sistema produtivo e mercado, em um ambiente computacional. Assim, as informações do sistema produtivo são representadas pela determinação da capacidade de produção deste. As informações do mercado são obtidas a partir da elaboração de previsões de demanda, baseadas em dados históricos de vendas.

Desta forma, a modelagem estabelece o *mix* de produtos, *NAP*, que otimiza a utilização da capacidade de produção disponível. Com a avaliação do cenário planejado é possível estabelecer as informações necessárias para a tomada de decisão acerca do problema do dimensionamento da capacidade produtiva.

A aplicação do modelo iniciou após a coleta de dados contemplando um período de 45 meses. O levantamento dos dados foi realizado considerando a opinião de três especialistas, dos quais dois da área industrial e um da área comercial. A partir da aplicação do modelo utilizando dados de um sistema produtivo real, em uma empresa fabricante de produtos para a construção civil, evidenciou-se a capacidade deste em fornecer informações de apoio à tomada de decisões para o planejamento da capacidade de produção.

4 MODELO PROPOSTO

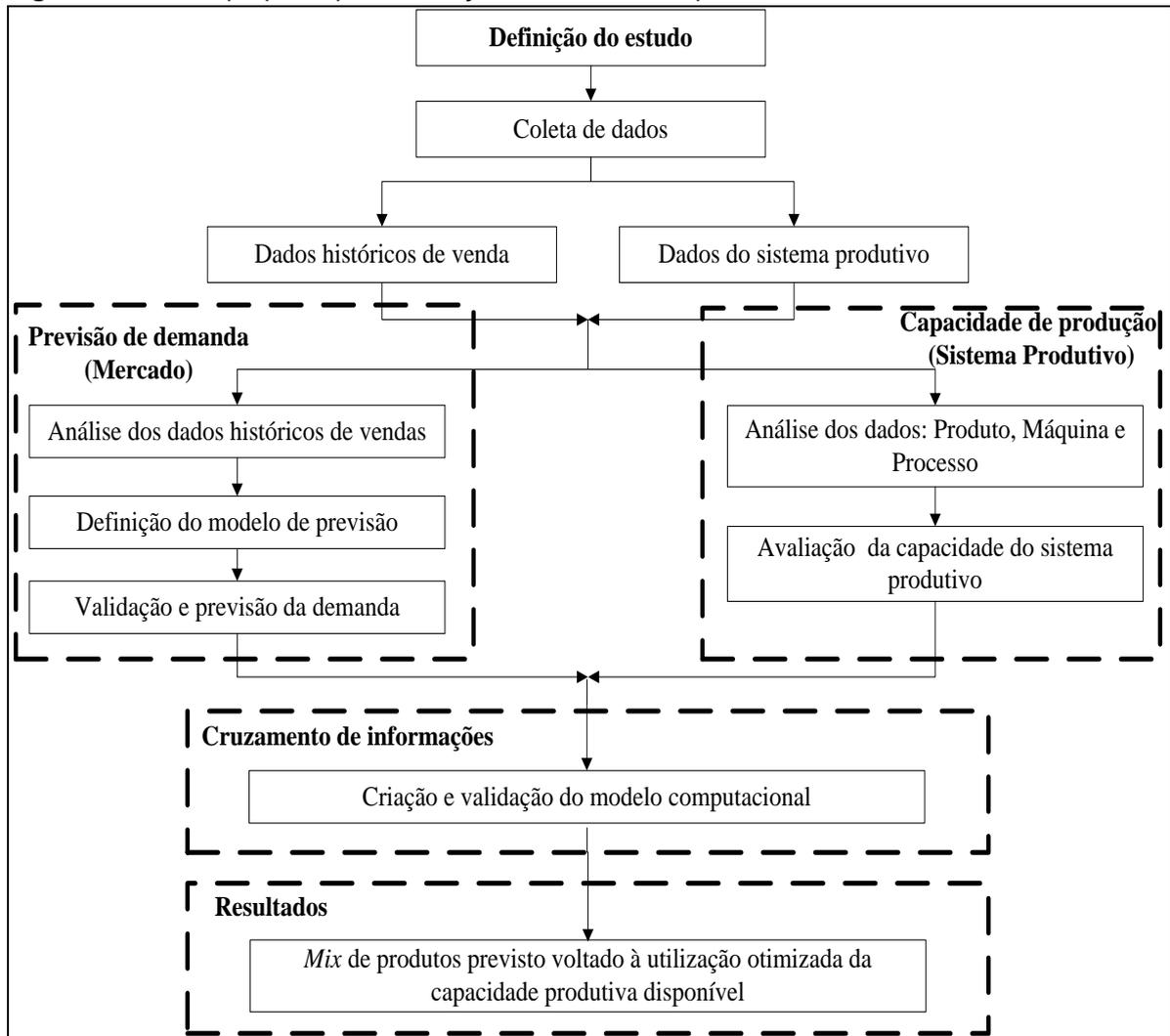
O método proposto para determinação do *mix* de produtos que otimiza a utilização da capacidade de produção disponível, apresentado na Figura 3, e detalhado nas subseções, visa avaliar o nível de ajuste entre sistema produtivo e mercado. Como atividades iniciais são propostas a definição do estudo e a coleta de dados que fornecem informações necessárias para os passos seguintes. Na sequência, o método busca desenvolver paralelamente as atividades de previsão de demanda e avaliação da capacidade produtiva. Sendo esta última responsável por traduzir quantitativamente a disponibilidade de capacidade no sistema produtivo. Já a previsão de demanda busca entender e revelar o comportamento do mercado para períodos futuros.

Após obter níveis de demanda e dados relacionados à capacidade do sistema produtivo, o método estabelece o cruzamento destas informações. Assim, é proposta

a criação e validação de um modelo computacional, considerando o conjunto de restrições presentes no ambiente interno e externo, sistema produtivo e mercado, respectivamente.

Conforme proposto pelo método, a partir do modelo computacional e das previsões de demanda é possível determinar o *mix* de produtos, *NAP*, que otimiza a utilização da capacidade de produção disponível. Na sequência serão descritas em detalhes as etapas do método proposto.

Figura 3 - Modelo proposto para utilização otimizada da capacidade



Fonte: Autores

4.1 Definição do estudo e coleta de dados

Os primeiros passos constituem a definição do objetivo do estudo, escopo e informações gerais do sistema.

O próximo passo corresponde à coleta de dados, que constituem as informações requeridas para aplicação das etapas seguintes, propostas pelo método. Basicamente dois tipos de informações deverão estar disponíveis, dados históricos de vendas e dados do sistema produtivo.

Para a construção de um modelo de previsão podem estar disponíveis dois tipos de informações (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998): (i) dados estatísticos, geralmente numéricos e (ii) dados subjetivos provenientes do conhecimento de especialistas, utilizados principalmente na avaliação da qualidade dos dados a serem utilizados no modelo.

A atividade de determinação da capacidade do sistema produtivo requer a disponibilidade e coleta dos dados fabris, relativo a produtos, máquinas e processo. O objetivo destes dados é fornecer informações que possibilitem a compreensão das restrições e do funcionamento do sistema produtivo.

4.2 Previsão de demanda

Neste trabalho será abordada a análise de séries temporais empregando modelos de suavização exponencial, onde dados históricos são utilizados para prever a demanda no futuro. A execução desta etapa tem por finalidade capturar tendências do mercado para períodos futuros, de forma a auxiliar o posicionamento estratégico da empresa em relação à gestão de sua capacidade produtiva. Esta etapa é composta por três passos: (i) Análise dos dados históricos, (ii) Definição do modelo de previsão de demanda, e (iii) Validação e previsão da demanda.

Verificada a disponibilidade e coleta dos dados, estes devem ser analisados e refinados com a finalidade de tornarem o processo preditivo confiável. Entendendo o comportamento destes, obtêm-se informações requeridas para a escolha do modelo de previsão a ser utilizado. A escolha do modelo é indicada pelas características do comportamento apresentado pela série de dados a ser representada.

Para a operacionalização de métodos de previsão quantitativos geralmente são utilizados softwares para obtenção das previsões. A escolha destes pacotes estatísticos deve considerar se o mesmo atende às necessidades do processo de previsão, o seu custo e o nível de suporte requerido (LEMOS e FOGLIATTO, 2007).

Ainda segundo os autores, o passo de validação consiste em avaliar os métodos utilizados assegurando o funcionamento adequado, além de realizar uma revisão formal dos métodos de previsão, sendo objetivo deste passo a avaliação da eficiência do método empregado e do seu potencial para utilização

Uma importante forma de avaliar métodos de previsão de demanda é a comparação das medidas dos erros de previsão (WERNER e RIBEIRO, 2006). Os critérios mais utilizados para avaliação da acurácia das previsões, conforme mencionado por Pellegrini (2000), são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Medidas de acurácia

Medida	Sigla	Equação
Erro quadrático médio	EQM	$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$
Média absoluta dos erros	MAE	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i $
Média absoluta percentual dos erros	MAPE	$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right $

Fonte: Autores

Após obter os modelos validados por métodos formais, sua utilização para predição da demanda futura pode ser inicializada. Nesta etapa considera-se concluído a implantação do sistema de previsão, tendo início o seu processo de manutenção. Tarefa esta que consiste na incorporação das novas informações obtidas a cada período, além da revalidação dos modelos estatísticos selecionados para o processo de previsão de demanda (PELLEGRINI, 2000).

4.3 Capacidade de produção

Esta etapa consiste no mapeamento da disponibilidade da capacidade de produção do sistema, adaptada a partir dos conceitos apresentados por Osorio (1992), sendo composta por dois passos: (i) Análise dos dados de produtos, máquinas e processo, e (ii) Avaliação da capacidade do sistema produtivo.

O primeiro passo desta etapa propõe a análise dos dados fabris coletados. Através dos dados sobre os produtos obtêm-se informações como tempo médio de processamento em cada equipamento, propriedades física do produto e etapas necessárias para o seu processamento. Já os dados de máquina devem estabelecer a relação dos tempos de todas as atividades por esta ou nesta realizadas, produtividade, disponibilidade e limitações. As informações do processo devem traduzir de forma geral as características como número de máquinas presentes, restrições e fluxos de produção. Assim, quanto maior for o nível de detalhamento destas informações, mais precisa será a determinação da capacidade de produção e compreensão do funcionamento operacional do sistema produtivo em estudo.

O passo seguinte consiste em avaliar a capacidade produtiva, em termos de disponibilidade do sistema produtivo, utilizando as definições apresentadas por Osorio (1992), para os conceitos tempos de trabalho, capacidade máxima teórica e prática, conforme abordado no item 3.2.2. Inicialmente devem ser levantados os valores de T_p , T_d e T_e , que ao serem multiplicados pelo número de máquinas correspondem à disponibilidade de horas de máquinas para o período. Segundo Slack *et al.* (2002), para casos de operações com multiprodutos que apresentam demandas variáveis para o processo, as medidas de insumos são frequentemente utilizadas para definir

capacidade, o que justifica o modelo utilizar a unidade de horas máquinas para medir a disponibilidade do sistema produtivo.

4.4 Cruzamento de informações

A terceira etapa estabelece o cruzamento entre informações do mercado - previsão de demanda - e estrutura produtiva - capacidade de produção. Com o objetivo de otimizar a utilização da capacidade produtiva disponível, é proposta a modelagem. Esta modelagem é descrita na sequência, utilizando a seguinte notação:

i - índice do produto, onde $i = 1, 2, \dots, n$;

j - índice da máquina, onde $j = 1, 2, \dots, m$;

$P_{i,j}$ - quantidade em unidades do produto i , processadas na máquina j (variável de decisão);

m_i - equivalência do produto i em sua unidade de medida;

$t_{i,j}$ - tempo para processamento do produto i , na máquina j (seg);

Tdt_j - tempo disponível para transformação previsto para a máquina j (hs);

Dp_i - demanda prevista para o produto i .

Função Objetivo: tem como objetivo maximizar o valor assumido pela variável de decisão quantidade de produto em unidades P_i , que multiplicada pela equivalência do produto m_i , refere-se ao nível de atividade prevista NAp , conforme equação (17).

$$MAX = \sum_{i=1}^n \left(\left(\sum_{j=1}^m P_{i,j} \right) \times m_i \right) \quad (17)$$

Restrições: correspondem às restrições relacionadas à capacidade do sistema produtivo – horas disponíveis – e restrições de mercado – previsão de demanda. Também é estabelecida a relação de não negatividade para a variável de decisão $P_{i,j}$ conforme segue:

- Horas disponíveis (Capacidade do sistema produtivo) - o somatório das quantidades de cada produto P_i multiplicada pelo respectivo tempo de processamento em segundos na máquina j , e transformado para a unidade hora, deve ser menor ou igual ao tempo disponível de processamento previsto (hs) para a máquina j , conforme equação (18).

$$\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{i,j} \times t_{i,j}) \right) \div 3600 \leq Tdt_j \quad (18)$$

- Demanda prevista (Mercado) - o somatório das quantidades do produto $P_{i,j}$ multiplicada pela equivalência do produto m_i , deve ser menor ou igual à demanda prevista Dp_i para o produto i , conforme equação (19).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{i,j} \times m_i) \leq Dp_i \quad (19)$$

- Não negatividade – estabelece a relação de que qualquer valor assumido pela variável de decisão $P_{i,j}$, não seja negativo, conforme equação (20).

$$P_{i,j} \geq 0 \quad (20)$$

4.5 Resultados

Uma vez definido valores de demanda a serem atendidos e os parâmetros de capacidade produtiva, o modelo determina o *mix* de produtos, ou seja, o *NAP* que otimiza a utilização da capacidade disponível.

5 ESTUDO APLICADO

Nesta seção são mostrados os resultados alcançados com aplicação do método proposto, contemplando um processo produtivo composto por seis máquinas e nove produtos. O estudo é conduzido em uma das principais empresas transformadoras de produtos plásticos para a construção civil do Brasil. A empresa possui atuação nacional na fabricação e comercialização de seus produtos, com fábricas e centros de distribuição localizados em seis diferentes estados. Cada uma das etapas conduzidas na aplicação do método proposto é apresentada a seguir.

5.1 Definição do problema

A aplicação do método foi conduzida em uma das cinco unidades produtivas da empresa, mais especificamente no processo de extrusão. A escolha deste processo se deve ao fato de ser o principal processo de transformação, na fabricação dos nove produtos em análise. O processo é composto por seis máquinas extrusoras.

Atualmente, a empresa realiza o planejamento de produção baseado na média histórica de vendas e na capacidade de produção disponível. Para a definição de sua capacidade, a empresa utiliza os valores históricos dos volumes de produção alcançados. Deste modo, a aplicação conjunta de conceitos de previsão de demanda e capacidade de produção pode estabelecer importante ferramenta de auxílio à tomada de decisão para a empresa em estudo. Assim, o problema a ser resolvido consiste em determinar o *mix* de produtos que otimiza a utilização da capacidade produtiva disponível.

5.2 Coleta de dados

Os dados históricos de vendas utilizados correspondem a um período de 45 meses. Estes foram obtidos a partir de entrevistas a especialistas, gestores da área comercial, e a relatórios gerados pelo sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) utilizado pela empresa. As informações relacionadas a produtos, máquinas e processo, foram obtidas a partir de entrevistas a especialistas, gestores da área industrial, e dados cadastrais de estrutura de produtos e equipamentos disponíveis no sistema ERP.

5.3 Previsão de demanda

Para a obtenção das previsões de demanda foi adotada a metodologia de suavização exponencial, utilizando os modelos disponíveis pelo pacote estatístico *NCSS*, versão 6.0. A escolha destes modelos se deve ao comportamento apresentado pelas séries de dados disponíveis (EVERETTE, GARDNER Jr., 2006), e por estes serem modelos amplamente utilizados devido sua simplicidade, baixo custo, facilidade de ajustes e boa acurácia (PELLEGRINI, 2000; MAKRIDAKIS *et al.*, 1998). Já a escolha do software *NCSS* se deu por este ser de fácil acesso e rápido aprendizado na sua utilização para se obter as previsões. Na Tabela 1 são apresentados os valores de demanda, onde cada valor corresponde à demanda acumulada de seis períodos mensais. Portanto, a previsão obtida representa a demanda prevista para os próximos 30 meses, dividida em cinco períodos.

A seleção dos modelos de previsão utilizados para cada série foi realizada através da elaboração da previsão de demanda utilizando 36 valores históricos, restando 9 observações para os testes de validação. Assim, para a previsão de cada série foi escolhido o modelo que apresentou o menor valor para a medida de erro MAPE.

Tabela 1 - Previsão de demanda

Prod.	Mod.	MAPE	1º Período (D _p)[kg]	2º Período (D _p)[kg]	3º Período (D _p)[kg]	4º Período (D _p)[kg]	5º Período (D _p)[kg]
1	3	0,191	177.282,02	176.796,90	177.289,69	176.804,55	177.297,36
2	1	0,060	713.349,23	869.208,93	1.025.068,63	1.180.928,33	1.336.788,03
3	3	0,097	120.744,73	129.775,71	120.755,81	129.787,62	120.766,89
4	2	0,094	372.509,88	347.933,17	375.699,18	351.122,47	378.888,48
5	2	0,087	238.882,90	241.703,76	238.882,90	241.703,76	238.882,90
6	2	0,118	370.538,35	384.354,60	393.069,66	406.885,31	415.600,97
7	2	0,047	383.160,07	389.753,36	409.815,61	416.408,90	436.471,15
8	2	0,026	2.098.859,42	2.267.141,57	2.181.405,04	2.349.687,19	2.263.950,67
9	2	0,050	448.222,33	485.681,84	400.313,86	437.773,37	352.405,38
			4.923.548,95	5.292.349,84	5.322.300,39	5.691.101,50	5.721.051,84

Modelos: (1) Suavização Exponencial Linear de *Holt*, (2) Método de *Holt-Winters* com ajuste aditivo, e, (3) Método de *Holt-Winters* com ajuste multiplicativo.

Fonte: Autores

Definidos os modelos de previsão, utilizou-se a base de dados disponibilizada pela empresa, composta por 45 observações históricas de vendas, para obter-se 30 valores de demanda prevista. Apesar do aumento da incerteza, muitas vezes torna-se desejável considerar o planejamento para diversos períodos, uma vez que decisões estratégicas relacionadas à capacidade, visando minimização de custos operacionais envolvem o longo prazo (KARIMIA *et al.*, 2003; KAZANCIOLU e SAITOU, 2006). Logo, é necessário previsões em longo prazo. Assim torna-se indispensável à incorporação das novas observações obtidas a cada período, além da revalidação dos modelos selecionados para o processo de previsão de demanda (PELLEGRINI, 2000).

5.4 Capacidade de produção

Para determinar a capacidade de produção foram levantados os dados do processo e produtos, conforme apresentado na Tabela 2. Juntando os dados do processo e produtos com a avaliação de tempos, é possível quantificar a disponibilidade do sistema, determinando seu potencial produtivo. Assim, atuam como restrições de capacidade do sistema, as horas máquinas disponíveis bem como as relações de possibilidades de um mesmo produto ser processado em diferentes máquinas, conforme Tabela 2. Assim, com a obtenção da produtividade técnica prevista e o tempo de uso previsto na etapa seguinte, será possível calcular o *NAP* para cada período, utilizando a equação (16).

Tabela 2 - Dados do processo

Produto	Peso (m_i) [kg]	Tempo de processamento médio ($t_{i,j}$) [segundos/unidade]					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1	0,80	18,6	20,5	14,4	-	-	-
P2	1,15	24,0	26,6	18,6	-	-	-
P3	1,80	41,8	46,3	32,4	-	-	-
P4	4,15	86,8	96,0	67,2	-	-	-
P5	1,42	33,0	36,5	25,6	-	17,0	-
P6	2,35	-	-	42,3	-	28,2	-
P7	3,75	-	-	-	32,1	45,0	40,9
P8	5,35	-	-	-	41,3	57,8	52,6
P9	11,7	-	-	-	100,3	-	-

Fonte: Autores

5.5 Cruzamento de informações e resultados

Uma vez obtidas as previsões de demanda e as informações que representam a disponibilidade do sistema produtivo, foi possível estabelecer o modelo computacional necessário para o procedimento de otimização. Este foi desenvolvido com o auxílio de programação matemática, utilizando o algoritmo GRG (*Generalized Reduced Gradient*) não linear (BROWN, 2001). As equações utilizadas na aplicação são detalhadas a seguir.

Função objetivo:

$$MAX = \sum[(P_{1,1} + P_{1,2} + P_{1,3}) \times m_1 + (P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3}) \times m_2 + (P_{3,1} + P_{3,2} + P_{3,3}) \times m_3 + (P_{4,1} + P_{4,2} + P_{4,3}) \times m_4 + (P_{5,1} + P_{5,2} + P_{5,3} + P_{5,5}) \times m_5 + (P_{6,3} + P_{6,5}) \times m_6 + (P_{7,4} + P_{7,5} + P_{7,6}) \times m_7 + (P_{8,4} + P_{8,5} + P_{8,6}) \times m_8 + (P_{9,4}) \times m_9].$$

Restrições de capacidade do sistema produtivo:

$$(P_{1,1} \times t_{1,1} + P_{2,1} \times t_{2,1} + P_{3,1} \times t_{3,1} + P_{4,1} \times t_{4,1} + P_{5,1} \times t_{5,1}) \div 3600 \leq Tdt_1;$$

$$(P_{1,2} \times t_{1,2} + P_{2,2} \times t_{2,2} + P_{3,2} \times t_{3,2} + P_{4,2} \times t_{4,2} + P_{5,2} \times t_{5,2}) \div 3600 \leq Tdt_2;$$

$$(P_{1,3} \times t_{1,3} + P_{2,3} \times t_{2,3} + P_{3,3} \times t_{3,3} + P_{4,3} \times t_{4,3} + P_{5,3} \times t_{5,3} + P_{6,3} \times t_{6,3}) \div 3600 \leq Tdt_3;$$

$$(P_{7,4} \times t_{7,4} + P_{8,4} \times t_{8,4} + P_{9,4} \times t_{9,4}) \div 3600 \leq Tdt_4;$$

$$(P_{5,5} \times t_{5,5} + P_{6,5} \times t_{6,5} + P_{7,5} \times t_{7,5} + P_{8,5} \times t_{8,5}) \div 3600 \leq Tdt_5;$$

$$(P_{7,6} \times t_{7,6} + P_{8,6} \times t_{8,6}) \div 3600 \leq Tdt_6.$$

Restrições do mercado (previsão de demanda):

$$(P_{1,1} + P_{1,2} + P_{1,3}) \times m_1 \leq Dp_1;$$

$$(P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3}) \times m_2 \leq Dp_2;$$

$$(P_{3,1} + P_{3,2} + P_{3,3}) \times m_3 \leq Dp_3;$$

$$(P_{4,1} + P_{4,2} + P_{4,3}) \times m_4 \leq Dp_4;$$

$$(P_{5,1} + P_{5,2} + P_{5,3} + P_{5,5}) \times m_5 \leq Dp_5;$$

$$(P_{6,3} + P_{6,5}) \times m_6 \leq Dp_6;$$

$$(P_{7,4} + P_{7,5} + P_{7,6}) \times m_7 \leq Dp_7;$$

$$(P_{8,4} + P_{8,5} + P_{8,6}) \times m_8 \leq Dp_8;$$

$$(P_{9,4}) \times m_9 \leq Dp_9.$$

Não negatividade:

$$P_{1,1}; P_{2,1}; P_{3,1}; P_{4,1}; P_{5,1}; P_{1,2}; P_{2,2}; P_{3,2}; P_{4,2}; P_{5,2}; P_{1,3}; P_{2,3}; P_{3,3}; P_{4,3}; P_{5,3}; P_{6,3}; P_{7,4}; P_{8,4}; P_{9,4}; \\ P_{5,5}; P_{6,5}; P_{7,5}; P_{8,5}; P_{7,6}; P_{8,6} \geq 0.$$

Relações de tempo assumidas para o estudo de caso:

Tp - definido conforme calendário. Assim a parcela deste que corresponde ao tempo disponível (Td) foi estabelecida conforme política adotada pela empresa. Carga horária de 24 hs/dia de segunda a sexta-feira e apenas 12 horas aos sábados. Domingos e feriados o sistema produtivo não é utilizado;

$Tdt = Te - (Tpr + Tc)$, sendo assumido $Tpr + Tc = 2,20 \times Ns \times M$. Onde M corresponde ao número de meses inclusos no período em análise; Ns é o número de setups em cada equipamento, o qual é contabilizado a cada diferente produto processado em uma mesma máquina, ou seja, se num determinado período 4 diferentes produtos foram processados em uma mesma máquina, logo, o valor de Ns será igual a 4;

$Te = 0,9968 \times Td$, valor baseado em dados históricos de paradas no fluxo de produção apresentado pelo processo.

O objetivo da modelagem visa otimizar a utilização do sistema produtivo, estabelecendo o *mix* de produção, que representa o Nível de atividade prevista NAp (kg) apresentado na Tabela 3. Além da utilização otimizada da capacidade de produção disponível, a modelagem satisfaz restrições de mercado e do sistema produtivo.

Tabela 3 - *Mix* de produção obtido com a modelagem.

Item	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
<i>N_{Ap}</i> P1 (kg)	177.281,60	176.796,84	177.289,60	146.389,60	10.886,40
<i>N_{Ap}</i> P2 (kg)	713.349,60	869.209,55	1.025.067,45	1.180.928,10	1.336.786,45
<i>N_{Ap}</i> P3 (kg)	120.744,00	129.775,71	120.754,80	111.083,40	56.190,60
<i>N_{Ap}</i> P4 (kg)	372.508,15	347.933,17	375.695,35	351.119,05	378.886,70
<i>N_{Ap}</i> P5 (kg)	238.882,34	241.703,76	238.882,34	241.702,46	238.882,34
<i>N_{Ap}</i> P6 (kg)	370.538,60	384.354,00	393.068,05	248.004,90	379.339,35
<i>N_{Ap}</i> P7 (kg)	383.160,00	389.753,36	409.815,00	416.407,50	430.267,50
<i>N_{Ap}</i> P8 (kg)	2.098.858,50	2.267.141,57	2.181.403,65	2.349.682,55	2.263.948,80
<i>N_{Ap}</i> P9 (kg)	448.215,30	485.681,84	400.303,80	437.767,20	347.688,90

Fonte: Autores

Com as restrições definidas, a modelagem estabelece a distribuição das quantidades (P_{ij} em unidades) de cada produto a serem produzidas dentre as máquinas possíveis e disponíveis. Portanto o *N_{Ap}* (kg) que otimiza a utilização do sistema produtivo corresponde ao *mix* de produção multiplicado pelo peso unitário m_i em (kg) de cada produto.

Adicionalmente, a modelagem fornece o valor da produtividade técnica prevista (E_p), com a qual é possível determinar a capacidade produtiva do processo considerando as imposições do mercado. Na Tabela 4, são apresentados os valores de produtividade, avaliação de tempos e outros indicadores que permitem avaliar o ajuste entre capacidade e demanda para os períodos em análise.

Ao analisar-se o comportamento de cada período em termos do atendimento da demanda, observa-se que os períodos 1, 2 e 3 estabelecem um *N_{Ap}* capaz de atender 100% da demanda prevista. Dada uma projeção de aumento de demanda e restrições de capacidade do sistema produtivo, nos períodos 4 e 5 o *N_{Ap}* permite atender somente 96% e 95%, respectivamente, da demanda prevista.

Em relação à utilização da capacidade disponível para os períodos 1, 2 e 3 observa-se a ocorrência de folgas. Inicialmente observa-se uma folga de capacidade de aproximadamente 9% para o primeiro período. Para os períodos 2 e 3 são verificadas folgas de 3% e 2% respectivamente. A partir do quarto período o sistema produtivo passa a ser a restrição para o não atendimento da demanda. Uma vez que nos períodos 4 e 5 ocorrem rupturas, ou seja, a falta de capacidade para atendimento da demanda prevista, sendo observada uma ruptura de aproximadamente 4% para o quarto período e de 5% para o último período.

Na Figura 4 é possível entender o comportamento da demanda em relação à capacidade, onde para os três primeiros períodos está disponível um nível de capacidade compatível com a demanda. Porém, nos últimos dois períodos, será necessário ampliar o nível de capacidade disponível para permitir o atendimento desta. Outra alternativa para o atendimento desta demanda, consiste em utilizar as folgas de capacidade registradas nos períodos iniciais, porém esta decisão envolve diversos fatores como disponibilidade de recursos financeiros e locais de armazenamento.

Outra análise interessante que pode ser obtida utilizando o método proposto é a avaliação dos indicadores de disponibilidade e produtividade técnica que são classificados como variáveis condicionantes da capacidade produtiva. Para os períodos em análise, o valor médio de disponibilidade da capacidade prática em relação a teórica foi de 75,82%, sendo o maior valor de 76,40% registrado no período 3. A produtividade técnica média foi de 273,25 (kg/h), onde o maior valor, 274,82 (kg/h), foi previsto para o período 4.

O modelo proposto neste estudo vai de encontro aos conceitos apresentados por Thome *et al.* (2012), onde o Planejamento de Vendas e Operações (S&OP) tem como objetivo melhorar resultados das organizações, otimizando receitas e lucros, estabelecendo um equilíbrio entre oferta ou capacidade disponível e demanda. Com os resultados obtidos a partir da aplicação da modelagem proposta é possível estabelecer informações que apoiam os tomadores de decisão no desafio de equilibrar a demanda com a capacidade de produção.

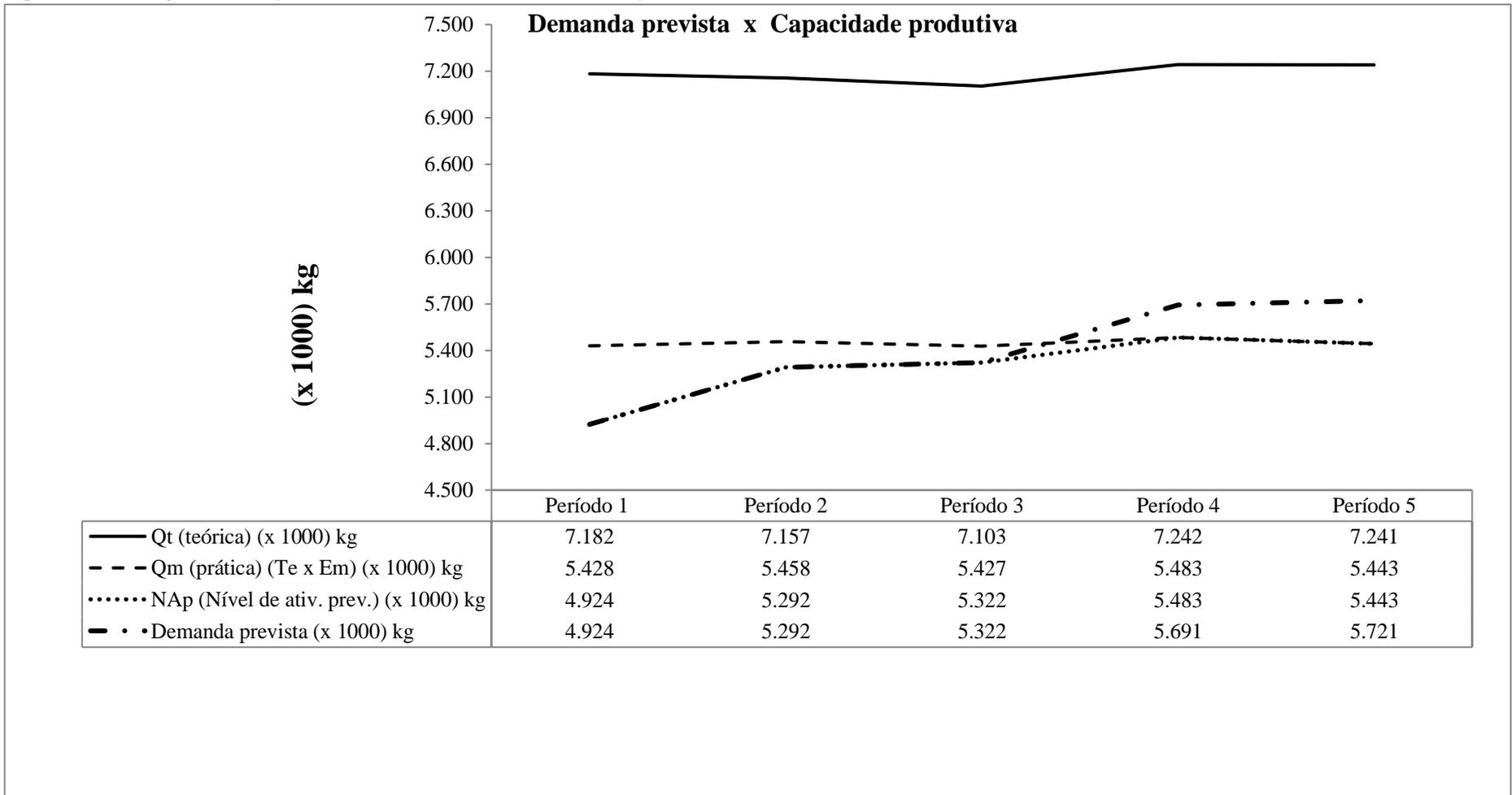
Assim, de posse das informações do mercado, obtidas a partir da elaboração das previsões de demanda para períodos futuros, e as informações de disponibilidade e produtividade técnica para o cenário previsto, torna-se perceptível para as organizações o nível de ajuste entre sua capacidade de produção e seu mercado. Onde equilíbrio entre estas variáveis tem impacto positivo nos resultados da organização, ao passo que desajustes prejudicam e até comprometem seu desempenho (THOME *et al.*, 2012).

Tabela 4 - Resultados da modelagem

Item	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
<i>Tp</i> (cronológico / possível) (hs máquina)	26.208,00	26.352,00	26.208,00	26.352,00	26.352,00
<i>Td</i> (Tempo disponível) (hs máquina)	19.872,00	20.160,00	20.088,00	20.016,00	19.872,00
<i>Te</i> (efetivo) (hs máquina)	19.808,41	20.095,49	20.023,72	19.951,95	19.808,41
<i>Tpr + Tc</i> (prep. e Complem.) (hs)	303,60	330,00	264,00	158,40	224,40
<i>Tt</i> (transformação previsto) (hs máquina)	17.663,90	19.157,28	19.372,56	19.793,47	19.583,96
<i>Tp</i> (Tempo de uso previsto) (hs máquina)	17.967,50	19.487,28	19.636,56	19.951,87	19.808,36
<i>Qm/Qt</i> (Disponibilidade)	75,58%	76,26%	76,40%	75,71%	75,17%
<i>NAp</i> (Nível de ativ. prev.) (kg)	4.923.538,09	5.292.349,80	5.322.280,04	5.483.084,76	5.442.877,04
<i>Dp</i> (demanda prevista) (kg)	4.923.548,94	5.292.349,84	5.322.300,39	5.691.101,50	5.721.051,84
Utilização (%)	90,71%	96,97%	98,07%	100,00%	100,00%
<i>Ep</i> (Produtiv. técnica prevista) (Kg/h)	274,02	271,58	271,04	274,82	274,78

Fonte: Autores

Figura 4 - Avaliação do comportamento entre Mercado x Sistema produtivo



Fonte: Autores

6 CONCLUSÃO

Planejar um sistema produtivo consiste em uma atividade complexa devido às constantes mudanças do mercado, principalmente pela variação da demanda. Nesse sentido, torna-se indispensável determinar políticas otimizadas de ajuste da capacidade para equilibrar demanda com a oferta viabilizada pela capacidade de produção (ZHANG *et al.*, 2012).

Este artigo apresentou um modelo baseado em programação matemática para auxiliar no planejamento da capacidade produtiva integrando técnicas de previsão de demanda e conceitos de capacidade de produção. O modelo utilizou o algoritmo GRG não linear, com o objetivo de determinar o *mix* de produtos que otimiza a utilização da capacidade de produção disponível. O modelo revelou ser de aplicação relativamente simples, uma vez que utiliza dados históricos de vendas, tempos de processamento e disponibilidade de máquinas, que são indicadores usuais nas organizações.

Assim, o resultado final é um modelo que permite o planejamento da capacidade produtiva no médio e longo prazo, fornecendo informações que auxiliam a tomada de decisões na escolha de políticas de capacidade adequadas ao contexto no qual a organização esta inserida.

O modelo consegue prever o nível de utilização da capacidade produtiva para períodos futuros. Porém de posse destes valores é importante que tomadores de decisão consigam avaliar racionalmente o ajuste entre demanda e capacidade. Assim sugere-se como pesquisas futuras a incorporação de conceitos de custos de produção nesta análise, pois permite a estes quantificar economicamente os desajustes entre demanda e capacidade, auxiliando na escolha de decisões mais assertivas (ALMEIDA e WERNER, 2015).

Outra oportunidade é a utilização de diferentes técnicas de previsão de demanda. Também se identifica a utilização de valores estocásticos para variáveis como demanda prevista e tempo de processamento, como oportunidade de estudos. Corroborando com as idéias apresentadas por Ho e Fang (2013), a incorporação de elementos como restrições orçamentárias e índices de produtos defeituosos nestas modelagens constitui relevante oportunidade para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. P.; Werner, L. Uma revisão sobre abordagens que relacionam os custos de produção e o processo de previsão de demanda. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.15, n. 2, p. 504-526, abr./jun. 2015. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v15i2.1899>

BEERBÜHL, S. S.; FRÖHLING, M.; SCHULTMANN, F. Combined scheduling and capacity planning of electricity based ammonia production to integrate renewable energies. **European Journal of Operational Research**, v. 241, p. 851–862, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.08.039>

- BILLAH, B.; KING, M. L.; SNYDER, R. D.; KOEHLER, A. B. Exponential smoothing model selection for forecasting. **International Journal of Forecasting**, v. 22, p. 239-247, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2005.08.002>
- BISH, E. K.; MURIEL, A.; BILLER, S. Managing flexible capacity in a make-to-order environment. **Management Science**, v. 51, n. 2, p. 167–18, 2005. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.1040.0322>
- BROWN, A. M. A step-by-step guide to non-linear regression analysis of experimental data using a Microsoft Excel spreadsheet. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 65, p. 191–200, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2607\(00\)00124-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2607(00)00124-3)
- CANIATO, F.; KALCHSCHMIDT, M.; RONCHI, S. Integrating quantitative and qualitative forecasting approaches: organizational learning in an action research case. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, p. 413–424, 2011. <http://dx.doi.org/10.1057/jors.2010.142>
- EVERETTE, S.; GARDNER Jr., E. S. Exponential smoothing: The state of the art—Part II. **International Journal of Forecasting**, v. 22, p. 637-666, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.005>
- GIRI, B. C.; MOON, I. Accounting for idle capacity cost in the scheduling of economic lot sizes. **International Journal Production Research**, v. 42, n. 4, p. 677–691, 2004. <http://dx.doi.org/10.1080/0020754031000164384>
- GUJARATHI, N. S.; OGALE, R. M.; GUPTA, T. Production Capacity Analysis of a Shock Absorber Assembly Line using Simulation. **Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference** R. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, eds., v. 2, p. 1213 - 1217, 2004. <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2004.1371451>
- GUNASEKARAN, A.; GOYAL, S. K.; MARTIKAINEN, T.; YLI-OLLI, P. Production Capacity planning and Control in Multi-Stage Manufacturing. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 49, n. 6, p. 625-634, 1998. <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600580>
- HO, J.; FANG, C. Production capacity planning for multiple products under uncertain demands conditions. **International Journal Production Economics**, v. 141, p. 593-604, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.09.016>
- HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M. **Contabilidade de custos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- JI, Q.; WANG, Y.; HU, X. Optimal production planning for assembly systems with uncertain capacities and random demand. **European Journal of Operational Research**, v. 253, p. 383–391, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.021>
- KARIMIA, B.; GHOMIA, F. S. M. T.; WILSON, J.M. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. **(Omega) The International Journal of Management Science**, v. 31, p. 365 – 378, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483\(03\)00059-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483(03)00059-8)

KAZANCIOGLU, E.; SAITOU, K. Multi-Period Production Capacity Planning for Integrated Product and Production System Design. **Proceeding of the 2006 IEEE Conference on Automation Science and Engineering Shanghai**, China, Oct. 7-10, 2006.
<http://dx.doi.org/10.1109/COASE.2006.326846>

KAZANCIOGLU, E.; SAITOU, K. Multi-period robust capacity planning based on product and process simulations. **Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference** R. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, eds, 2004.
<http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2004.1371530>

KORYTKOWSKI, P. Optimization of Production Capacity in Intangible Flow Production Systems. **IFAC- Papers OnLine: The International Federation of Automatic Control**, p. 627-632, 2006.

KOSTINA, A. M.; GUILLÉN-GOSÁLBEZA, G.; MELEB, F. D.; BAGAJEWICZC, M. J.; JIMÉNEZA, L. Design and planning of infrastructures for bioethanol and sugar production under demand uncertainty. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 359–376, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemd.2011.07.013>

LEMOS, F. O.; FOGLIATTO, F. S. Metodologia para seleção de métodos de previsão de demanda. In: **XXXIX - SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa operacional** - 28 a 31 de agosto, Fortaleza Ceará, 2007.

LI, Z.; IERAPETRITOU, M. G. Rolling horizon based planning and scheduling integration with production capacity consideration. **Chemical Engineering Science**, v. 65, p. 5887–5900, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2010.08.010>

LINGITZ, L.; MORATEWETZ, C.; GIGLOO, D. T.; MINNER, S.; SIHN, W. Modelling of flexibility costs in a decision support system for midterm capacity planning. **Procedia CIRP 7, 46th CIRP Conference on Manufacturing Systems**, p. 539 – 544, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.029>

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. **Forecasting: methods and Applications**. 3. ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.

MARIEL, K.; MINNER, S. Strategic capacity planning in automotive production networks under duties and duty drawbacks. **Int. J. Production Economics**, v. 170, p. 687–700, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.033>

MARTÍNEZ-COSTA, C.; MAS-MACHUCA, M.; BENEDITO, E.; COROMINAS, A. A review of mathematical programming models for strategic capacity planning in manufacturing. **Int. J. Production Economics**, v. 153, p. 66–85, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.03.011>

OSORIO, O. M. **La capacidad de produccion y los costos**. Ediciones Macchi, Buenos Aires – Argentina, 1992.

PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. S. Passos para Implantação de Sistemas de Previsão de Demanda – Técnicas e Estudo de Caso. **Revista Produção**, v. 11, n.1, p. 43-64, 2001.

PELLEGRINI, F. R. **Metodologia para Implementação de sistemas de previsão de demanda**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SILVA, C. L.; KOPITTKE, B. H. Simulações e cenários a partir da cadeia de valor: uma aplicação na indústria de celulose. **Revista FAE**, Curitiba, v.5, n.1, p.43-59, 2002.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

SMITH, J. S. Survey on the Use of Simulation for Manufacturing System Design and Operation. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 22, n. 2, p. 157-171, 2003.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6125\(03\)90013-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6125(03)90013-6)

TAN, T.; ALP, O. An integrated approach to inventory and flexible capacity management subject to fixed costs and non-stationary stochastic demand. **OR Spectrum**, v. 31, p. 337 – 360, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s00291-008-0122-y>

THOME, T.; FELIPE, L.; SUCLLA, N.; JOSE, A. Sales and operations planning: a research synthesis. **International Journal of Production Economics**, v. 138, p. 1–13, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.11.027>

VOLLING, T.; MATZKE, A.; GRUNEWALD, M.; SPENGLER, T. S. Planning of capacities and orders in build-to-order automobile production: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 224, p. 240–260, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.07.034>

WANGA, J.; CHANGB, Q.; XIAO, G.; WANGA, N.; LI, S. Data driven production modeling and simulation of complex automobile general assembly plant. **Computers in Industry**, v. 62, p. 765–775, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2011.05.004>

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Modelo composto para prever demanda através da integração de previsões. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 493-509, 2006.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132006000300011>

ZHANG, B.; HU, S.; SONG, J.; CHENG, S. Analysis about Medium-long-term Demands Forecasting and Capacity Decision Based on the Grey GM(1,1) Improved Models. **International Conference on Management Science & Engineering (19th)**, p. 20-22, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICMSE.2012.6414194>



Artigo recebido em 14/01/2016 e aceito para publicação em 07/08/2016
DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v16i3.2320>