

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Rodrigo Pessotto Almeida

**Custos de produção e previsão de demanda:
uma abordagem voltada ao planejamento e
controle da capacidade produtiva**

Porto Alegre

2014

Rodrigo Pessotto Almeida

Custos de produção e previsão de demanda: uma abordagem voltada ao planejamento e controle da capacidade produtiva

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Liane Werner, Dr.^a.

Porto Alegre

2014

Rodrigo Pessotto Almeida

Custos de produção e previsão de demanda: uma abordagem voltada ao planejamento e controle da capacidade produtiva

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Liane Werner, Dr^a.

Orientadora PPGEP/UFRGS

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr. Eng.

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Cláudio José Müller, Dr. (PPGEP/ UFRGS)

Professor Fernando Ben, Dr. (CCSE/ UCS)

Professor Michel Jose Anzanello, *Ph. D.* (PPGEP/ UFRGS)

Dedicatória

À minha namorada, Fernanda Romanzini,
que sempre me incentivou para a realização
deste objetivo, compartilhando momentos
bons e encorajando-me a enfrentar as
dificuldades da vida .

Com muito carinho, dedico aos meus pais
Célia e Antônio (*in memoriam*), à minha
irmã Fernanda e a meu querido afilhado
Guilherme, pelo amor de sempre.

AGRADECIMENTOS

À professora e orientadora Liane Wener, pela sua orientação e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha namorada, Fernanda Romanzini, pela compreensão, estímulo, confiança e o carinho de sempre.

A meu pai (*in memoriam*), à minha mãe, minha irmã, e a todos meus familiares pelo apoio e incentivo.

Aos professores Michel, Fernando e Cláudio, membros da banca examinadora, pelas suas valiosas contribuições ao trabalho.

Aos amigos que souberem compreender a minha ausência neste período de muita dedicação aos estudos.

Aos colegas, professores e funcionários do PPGEP pelos ensinamentos, amizade, convívio e troca de experiências durante este período.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Diante do elevado nível de competição presente no cenário atual, torna-se indispensável a adoção de medidas de gestão capazes de priorizar e dirigir esforços na busca pela excelência no desempenho operacional das empresas. Assim, o objetivo deste trabalho é propor uma abordagem baseada em custos de produção e previsão de demanda voltada ao planejamento e controle da capacidade produtiva. Inicialmente, realizou-se o mapeamento dos artigos publicados em dezenove periódicos no período de 2002 a 2013, visando identificar abordagens relacionadas ao tema custos de produção e o processo de previsão de demanda. Com a finalidade de otimizar o planejamento da capacidade produtiva disponível, uma modelagem matemática, que utiliza o algoritmo *generalized reduced gradient* (GRG) não linear, é proposta. Por fim, é apresentado um modelo para o controle do desempenho operacional do sistema produtivo, fundamentado na avaliação de custos e no planejamento da capacidade de produção. Para avaliar a eficácia do modelo proposto, este foi aplicado em uma empresa de manufatura de materiais plásticos para a construção civil, em um sistema com múltiplos produtos e múltiplas máquinas.

Palavras-chave: Custos de produção; Previsão de demanda; Planejamento da capacidade produtiva; Indústria plástica.

ABSTRACT

Given the high level of competition present in the current environment, it is essential to adopt management measures in order to prioritize and direct efforts in the search for excellence in the company operational performance. Therefore, the objective of this study is to propose an approach based on production costs and demand forecasting focused on production capacity planning and control. A mapping of the articles published in nineteen journals, during the period of 2002 to 2013, was conducted to identify the different approaches related to production costs and demand forecasting. A mathematical modeling is proposed with the objective of optimizing the capacity planning using the nonlinear algorithm generalized reduced gradient (GRG). This study presented a model for controlling operational performance of the production system based on the evaluation of production costs and capacity planning. To evaluate the efficacy the model was applied to a manufacturing company of plastic materials for the construction, in a system with multi-products and multi-machines.

Keywords: Production costs; Demand forecasting; Production capacity planning; Plastic industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação de tempos.....	46
Figura 2 - Capacidade e níveis de Atividade.....	46
Figura 3 - Modelo proposto para utilização otimizada da capacidade.....	49
Figura 4 - Avaliação do comportamento entre Mercado x Sistema produtivo.....	59
Figura 5 - Método proposto.....	72
Figura 6 - Análise de sensibilidade do DO em termos da produtividade (E) e tempo (T)...79	
Figura 7 - Comparativo entre valores assumido pela variável CTu	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de artigos em relação aos periódicos e ao ano de publicação.....	30
Tabela 2 - Número de artigos em relação ao ano de publicação e às abordagens.....	31
Tabela 3 - Previsão de demanda.....	55
Tabela 4 - Dados do processo.....	56
Tabela 5 - <i>Mix</i> de produção obtido com a modelagem.....	57
Tabela 6 - Resultados da modelagem.....	59
Tabela 7 - Fórmulas para calcular parcelas de custos que formam <i>CP</i>	74
Tabela 8 - Fórmulas para calcular componentes de custos que formam <i>COt</i>	74
Tabela 9 - Cenário planejado e realizado da utilização da capacidade produtiva.....	76
Tabela 10 - Custos totais (<i>CT</i>) do período.....	76
Tabela 11 - Classificação dos custos totais (<i>CT</i>) em <i>CP</i> e <i>COt</i>	77
Tabela 12 - Determinação dos custos totais unitários CTu_i (R\$/unid.).....	77
Tabela 13 - Desempenho operacional do sistema produtivo no período.....	78
Tabela 14 - Novos valores obtidos para <i>CTu</i>	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	COMENTÁRIOS INICIAIS.....	12
1.2	TEMA E OBJETIVOS	12
1.3	JUSTIFICATIVA DOS TEMAS.....	13
1.4	MÉTODO DE TRABALHO	14
1.5	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	15
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
	REFERÊNCIAS.....	16
2	ARTIGO 1 - UMA REVISÃO SOBRE ABORDAGENS QUE RELACIONAM OS CUSTOS DE PRODUÇÃO E O PROCESSO DE PREVISÃO DE DEMANDA .	18
2.1	INTRODUÇÃO	18
2.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
2.3	REVISÃO DA LITERATURA	22
2.3.1	Classificação.....	22
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS.....	34
3	ARTIGO 2 - PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE PRODUTIVA NA INDÚSTRIA PLÁSTICA: UMA ABORDAGEM BASEADA EM PREVISÃO DE DEMANDA E NA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	39
3.1	INTRODUÇÃO	39
3.2	REFERENCIAL TEÓRICO	41
3.2.1	Previsão de demanda	41
3.2.2	Capacidade de Produção e seu planejamento	44
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
3.4	MODELO PROPOSTO	49
3.4.1	Definição do estudo e Coleta de dados.....	50
3.4.2	Previsão de Demanda	51
3.4.3	Capacidade de Produção.....	52
3.4.4	Cruzamento de Informações	53
3.4.5	Resultados.....	54
3.5	ESTUDO APLICADO	54
3.5.1	Definição do problema	55
3.5.2	Coleta de dados.....	55

3.5.3	Previsão de demanda	55
3.5.4	Capacidade de produção	56
3.5.5	Cruzamento de informações e Resultados	57
3.6	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS.....	62
4	ARTIGO 3 - CONTROLE DO DESEMPENHO OPERACIONAL NA INDÚSTRIA PLÁSTICA: UMA ABORDAGEM ESTRUTURADA PARA A AVALIAÇÃO DE CUSTOS E PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE	65
4.1	INTRODUÇÃO	65
4.2	CUSTOS PRODUTIVOS.....	66
4.2.1	Custos fixos da Capacidade de produção	67
4.2.2	Avaliação de custos no planejamento da capacidade de produção.....	68
4.3	METODOLOGIA PROPOSTA	72
4.4	ESTUDO APLICADO	76
4.5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS.....	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85

1 INTRODUÇÃO

1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Diante do ambiente de competição estabelecido pelo mercado, cada vez mais acirrado, aliado à variabilidade da demanda, novas exigências são direcionadas às empresas de fabricação, uma vez que o gerenciamento de suas operações assume maior grau de dificuldade. Neste contexto, faz-se necessária a busca constante por padrões de desempenho operacional que lhes assegurem vantagens competitivas, como a racionalização de recursos, assegurando índices de rentabilidade favoráveis à consolidação do negócio (SOBREIRO *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2012).

A fim de melhorar a capacidade para se adaptar a demanda instável e buscando reduzir custos operacionais, muitas empresas de manufatura são obrigadas a transformar continuamente seus sistemas de produção (ZHANG *et al.*, 2012). Neste sentido, é importante que empresas de manufatura desenvolvam mecanismos que as tornem ágeis para lidar com as mudanças na demanda por seus produtos, permitindo assim, condições de configurar de maneira otimizada suas instalações de produção, que representam sua capacidade produtiva, às exigências do mercado (KAZANCIOGLU e SAITOU, 2006; DANESE e KALCHSCHIMIDT, 2011; LINGITZ *et al.*, 2013).

Outra dificuldade presente no ambiente da empresa moderna é o fato de preços de venda de seus produtos serem fixados pelo mercado. Desta forma, o nível de utilização da capacidade produtiva torna-se um fator decisivo no desempenho de empresas de manufatura, exigindo destas sistemáticas de identificação e quantificação de desperdícios para controlar seus processos produtivos (GIRI e MOON, 2004; BORNIA, 2010). Assim, o desafio repousa em equilibrar o nível de demanda exigido pelo mercado com a capacidade produtiva disponível, aliada à minimização de custos.

1.2 TEMA E OBJETIVOS

Dada a crescente necessidade de empresas de manufatura em equilibrar demanda com a capacidade produtiva disponível aliada à minimização de custos, esta dissertação investiga a gestão de capacidade, apresentando dois temas centrais: custos de produção e o

processo de previsão de demanda, voltados ao planejamento e controle da capacidade produtiva, abordado a partir de análises quantitativas.

Neste sentido, esta pesquisa visa entender como a integração dos conceitos de custos de produção e previsão de demanda podem estabelecer ferramentas de apoio ao planejamento e controle da capacidade de produção. Assim, esta dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento de métodos que auxiliem nas atividades de planejamento e controle da capacidade produtiva, em um sistema de produção múltiplas máquinas e múltiplos produtos. Os objetivos secundários deste trabalho são: (i) mapear, classificar e analisar abordagens que relacionam os conceitos de custos de produção e previsão de demanda no âmbito da produção; (ii) criar modelo para o planejamento da capacidade de produção utilizando o confronto de informações de demanda e de disponibilidade do sistema produtivo; (iii) criar modelo para avaliar o desempenho operacional do sistema produtivo, baseado na avaliação de custos e no planejamento da capacidade de produção; e (iv) avaliar o desempenho dos métodos propostos, conduzindo à aplicação destes em um sistema de produção real, caracterizado por múltiplas máquinas e múltiplos produtos.

1.3 JUSTIFICATIVA DOS TEMAS

Para Zhang *et al.* (2012), a relação entre capacidade e demanda sobre o resultado das empresas afetam diretamente os serviços prestados ao mercado, seus custos e também os benefícios do negócio. Assim os autores concluem que modelos sobre previsão de demanda e decisões de capacidade constituem-se em abordagens altamente significativas para teoria e prática. Já Wang (2007) destaca que, para suportar a complexidade do ambiente de produção moderno, modelagens de custos tornam-se indispensáveis como ferramentas que podem produzir respostas mais precisas e flexíveis para a tomada de decisão. Corroborando esta posição, Sobreiro *et al.* (2008) destacam que o sucesso organizacional está relacionado ao nível de desempenho em gerenciar os custos do negócio.

Assim, a justificativa para a escolha dos temas é a importância que estes assumem em relação ao desempenho operacional das organizações, como forma de racionalizar processos e recursos, impactando diretamente no desempenho econômico destas.

A importância de estudar tais temas recai sobre a necessidade de se estabelecer ferramentas adaptadas à realidade da empresa moderna, como forma de alcançar padrões de operação que assegurem vantagens competitivas, contribuindo para a melhoria do desempenho operacional. Com a adoção de métodos de planejamento e controle, as empresas conseguem atingir a utilização otimizada de recursos, que as permitem identificar e estabelecer diferenciais de longo prazo, que contribuem com a consolidação do negócio.

1.4 MÉTODO DE TRABALHO

Esta dissertação está dividida em seis etapas, que são desenvolvidas ao longo de três artigos. Na primeira etapa, é conduzida uma revisão da literatura sobre abordagens que relacionam os custos de produção com o processo de previsão de demanda no âmbito de produção. A segunda etapa envolve a classificação e análise da literatura localizada, identificando as abordagens com os custos de produção e o processo de previsão de demanda. Nesta etapa também são realizadas discussões acerca do foco da dissertação, bem como a identificação de oportunidades de pesquisas futuras.

Na terceira etapa, investiga-se a aplicação de conceitos de capacidade de produção e previsão de demanda, voltado a propor soluções para problemas acerca do planejamento da capacidade produtiva. A quarta etapa constituiu a proposta de uma modelagem matemática, que utiliza um algoritmo que integra os conceitos abordados na etapa anterior. Este algoritmo apresenta como objetivo prever o *mix* de produtos, conhecido como nível de atividade prevista, que otimiza a utilização da capacidade disponível. Para execução do modelo são determinadas previsões de demanda, obtidas a partir de modelos de suavização exponencial utilizando dados históricos. Também são utilizados dados de um processo produtivo de uma empresa transformadora de plástico, os quais possibilitam determinar a capacidade de produção deste sistema.

Na quinta etapa são levantadas junto à literatura abordagens que relacionam os conceitos de avaliação de custos e o planejamento da capacidade de produção, que constituem o referencial para execução da sexta etapa. A sexta e última etapa caracteriza-se pela construção de um modelo que visa o controle do desempenho operacional do sistema produtivo, utilizando a avaliação de custos e o planejamento da capacidade de produção. Baseado no planejamento da capacidade produtiva e informações de custos, o modelo proposto visa avaliar o desempenho operacional do sistema produtivo em termos

econômicos. O objetivo consiste em evidenciar as parcelas de custos relativos à produção, bem como os custos originados pela ociosidade do sistema, investigando seus impactos no resultado final. Para avaliar a eficácia do modelo proposto, este é aplicado em uma empresa de manufatura de materiais plásticos para a construção civil, considerando um sistema com múltiplos produtos e múltiplas máquinas. A discussão dos resultados é conduzida com uma análise quantitativa, uma vez que é baseada em resultados numéricos.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Os modelos apresentados no segundo e terceiro artigo têm sua avaliação restrita a empresas de bens manufaturados, considerando sistemas de produção com restrições de capacidade, múltiplos produtos e múltiplas máquinas. A aplicação destes em diferentes sistemas de produção exige adaptações.

As informações de previsão de demanda utilizadas no segundo artigo foram obtidas a partir de modelos de suavização exponencial, utilizando dados históricos da empresa. Como esta dissertação visa à integração dos conceitos que compreendem seu tema, logo não contempla a investigação do desempenho deste modelo frente à utilização de outros modelos de previsão de demanda disponíveis na literatura.

Com relação ao modelo proposto no terceiro artigo, este utiliza como dados de entrada os resultados do primeiro modelo e informações de custos da empresa, classificando estes em custos fixos, e custos variáveis. Porém, por não ser alvo de estudo desta pesquisa, não são investigadas as demais classificações de custos existentes na literatura, bem como os impactos provocados pela adoção de diferentes métodos e princípios para a avaliação de custos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é formada por cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentado os temas da dissertação e seus objetivos, bem como, a justificativa. Nesta etapa, também são descritos o método utilizado e as delimitações do trabalho.

O capítulo dois apresenta o primeiro artigo da dissertação. Neste artigo é realizada uma revisão da literatura sobre os conceitos de custos de produção e previsão de demanda.

Este capítulo apoia-se fundamentalmente em revisões teóricas, e como resultado é apresentado os parâmetros encontrados na pesquisa, tais como, (i) a distribuição dos artigos mapeados por periódicos e ano de publicação e (ii) o número de artigos em relação ao ano de publicação e às abordagens, sendo estas: planejamento de produção, estimativas de custos, desempenho operacional, cadeia de suprimentos, planejamento das operações, gestão de estoques, planejamento da capacidade. Uma discussão sobre o tema também é apresentada.

O terceiro capítulo apresenta o artigo dois, onde é proposto um método que visa à utilização otimizada da capacidade fabril. Com base numa pesquisa na literatura sobre os assuntos de previsão de demanda e capacidade de produção, o método apresentado utiliza-se de um modelo computacional que considera um conjunto de restrições presentes no ambiente interno e externo, sendo este respectivamente, sistema produtivo e previsão de demanda. O resultado ótimo se dá a partir da determinação do *mix* ótimo de produtos, representado pelo nível de atividade previsto. Através deste estudo, também é possível, realizar o planejamento da capacidade produtiva no médio e longo prazo, auxiliando nas tomadas de decisões da organização, no que se refere às políticas adequadas de capacidade.

No capítulo quatro, apresenta-se o terceiro artigo, que tem como base uma pesquisa na literatura com os temas: custos produtivos, custos fixos da capacidade e a avaliação de custos no planejamento da capacidade de produção. O artigo apresenta um modelo que visa avaliar o desempenho operacional do sistema produtivo em termos econômicos. Através de informações dos parâmetros de capacidade fabril e os respectivos custos envolvidos no processo, foi desenvolvido o modelo. Este apresenta como resultado, dados relacionados ao controle do desempenho operacional do sistema produtivo, que proporcionam análises, tanto dos custos atrelados à capacidade produtiva, quanto do desempenho operacional do sistema produtivo em termos econômicos.

O capítulo cinco trata sobre o fechamento do trabalho e engloba os comentários finais onde são apresentadas as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros envolvendo o estudo realizado.

REFERÊNCIAS

BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

DANESE, P.; KALCHSCHMIDT, M. The role of the forecasting process in improving forecast accuracy and operational performance. **International Journal of Production Economics**, v. 131 (1), p. 204–214, 2011.

GIRI, B. C.; MOON, I. Accounting for idle capacity cost in the scheduling of economic lot sizes. **International Journal Production Research**, v. 42 (4), p. 677–691, 2004.

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.

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.

SOBREIRO, V. A.; ARAÚJO, P. H. S. L; NAGANO, M. S. Aplicação de sistemas dinâmicos na previsão de custos da produção. **Rev. Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 1, n. 1, p. 27-39, set./dez. 2008.

WANG, Q. Artificial neural networks as cost engineering methods in a collaborative manufacturing environment. **International Journal of Production Economics**, v. 109 (1-2), p. 53–64, 2007.

ZHANG, Bi-xi; HU, Sheng-qiang; 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, Sept., 2012.

2 ARTIGO 1 - UMA REVISÃO SOBRE ABORDAGENS QUE RELACIONAM OS CUSTOS DE PRODUÇÃO E O PROCESSO DE PREVISÃO DE DEMANDA

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão da literatura sobre abordagens que relacionam os custos de produção e o processo de previsão de demanda. Esta revisão contempla artigos publicados em dezenove periódicos internacionais no período de 2002 a 2013. Os artigos avaliados correspondem a publicações localizadas nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. O principal objetivo deste estudo consiste em classificar e analisar os artigos levantados de acordo com 7 abordagens identificadas. Como principais contribuições, este artigo apresenta uma revisão sobre abordagens que relacionam os conceitos de custos de produção e previsão de demanda no âmbito da produção, além de discussões acerca do tema, identificando a oportunidade de pesquisas futuras para abordagens como Planejamento de Operações e Planejamento de Capacidade.

Palavras chave: Custos de produção; Previsão de demanda; Produção; Planejamento de capacidade.

Abstract

This paper presents a literature review on approaches that relate the production costs and demand forecasting. The review comprises papers published from 2002 to 2013 in 19 international journals. The papers were obtained from Web of Science and Scopus data bases. The main objective was to conduct a classification and an analysis of the published papers according to 7 identified approaches. As main contributions, this article presents a revision about approaches that relate the concepts of production costs and demand forecast. In addition, the article shows the discussions on the subject, identifying suggestions for future researches on approaches like Operations Planning and Capacity Planning.

Keywords: Production costs; Demand forecasting; Manufacturing; Capacity planning.

2.1 INTRODUÇÃO

Dado o elevado nível de competição estabelecido pelas constantes mudanças dos cenários econômicos mundiais, inclusive no Brasil, surgem fatores que necessariamente devem receber atenção dos dirigentes de empresas. Neste contexto, fatores como o nível de desempenho em gerenciar, analisar e prever os custos do negócio caracterizam-se

habilidades necessárias para estabelecer ou sustentar vantagens competitivas às organizações (SOBREIRO *et al.*, 2008).

Em tempos passados, com menor intensidade da concorrência, não se fazia necessária a busca contínua pela eficiência, justificado pelo fato do mercado absorver ineficiências e aceitar preços relativamente altos. Com a mudança deste cenário, passou a ser fundamental para as empresas a busca incessante por melhorias nos seus padrões de desempenho, que são representados pela eficiência e produtividade (BORNIA, 2010).

Neste sentido, uma nova abordagem dos sistemas de custos, a análise de custos de produção sob uma ótica gerencial, auxilia o controle e a avaliação da empresa, ao passo que consegue mensurar desperdícios e identificar atividades que não agregam valor ao produto. Assim, a transição dos atuais sistemas de custos de produção para sistemas voltados ao apoio gerencial ganha importância, pois apresentam condições de priorizar e dirigir esforços na busca pela excelência produtiva, constituindo assim uma poderosa ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisão (BORNIA, 2010).

Outra maneira de auxiliar o processo de tomada de decisão é através da adoção de técnicas de previsão de demanda, que têm como finalidade fornecer informações oriundas do ambiente externo da empresa, básicas para o planejamento de suas atividades. As previsões de demanda de produtos e serviços permitem que os processos funcionais, logísticos, financeiros, marketing e de produção sejam adequadamente gerenciados, uma vez que podem ser previamente planejados (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998).

Em estudo apresentado por Danese e Kalchschmidt (2011a), os autores abordam o papel do processo de previsão de demanda em melhorar a acuracidade de suas previsões e também de aperfeiçoar o desempenho operacional nas organizações. Os autores apresentam como resultado desta pesquisa o impacto direto das variáveis do processo de previsão sobre o desempenho de custos da organização. Destacam também que a utilização de técnicas de previsão de demanda, bem como de diversas fontes de informações, apresentam positiva influência sobre o desempenho de custos.

Assim, previsões acuradas impactam diretamente em melhorias no desempenho de custos da organização, dado que viabilizam a redução de perdas. Com as informações subsidiadas pela previsão de demanda é possível, por meio da atividade de planejamento, estabelecer uma utilização otimizada de recursos, que por consequência fornecem maior

competitividade à organização (DANESE e KALCHSCHIMIDT, 2011a; FISCHER e RAMAN, 1996; LI *et al.*, 2011; PELLEGRINI e FOGLIATTO, 2001).

Conforme apresentado, é perceptível uma relação entre custos de produção e a previsão de demanda. Portanto, o principal objetivo deste artigo é realizar, por meio de um mapeamento da literatura nos últimos doze anos, uma classificação e análise dos artigos de acordo com as abordagens identificadas.

O presente artigo é subdividido em cinco seções. Após a introdução, na seção 2.2 são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados na execução desta pesquisa. Na seção 2.3 é apresentada uma revisão da literatura, contemplando a classificação dos artigos mapeados na revisão sobre custos de produção e o processo de previsão de demanda. A análise dos artigos mapeados, que constitui os resultados, e as discussões estão apresentadas na seção 2.4. Por fim, na seção 2.5 são apresentadas as considerações finais do estudo.

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Diversas são as classificações atribuídas aos diferentes métodos de pesquisa, empregados para formalizar a geração de conhecimento. Sampaio e Mancini (2007) definem revisão sistemática como uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura existente de um determinado tema. Para os autores, esta forma de pesquisa constitui uma investigação que disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção, que é composta pelas seguintes etapas: aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. Utilizando este método de pesquisa, este trabalho foi desenvolvido conforme as seguintes etapas: (i) mapeamento dos artigos publicados na literatura, (ii) leitura e classificação dos artigos conforme suas abordagens e, (iii) análise de resultados.

Esta revisão iniciou através de uma busca em periódicos abrangidos pelas bases de dados: *Web of Science* e *Scopus* que mapeou um total de 731 artigos, sendo utilizado como critério de seleção os artigos que apresentavam a raiz das palavras “*cost*”, “*forecast*” e “*manufacturing*” no título, resumo ou nas palavras chaves, publicados até o ano de 2013. A seguir optou-se por periódicos com um maior número de publicações sobre custos e previsão de demanda, ficando fora da seleção os periódicos com menos de três publicações

sobre o assunto proposto e os periódicos não contemplados pelas bases de dados pesquisadas, reduzindo a um total de 238 publicações.

Como passo seguinte, adotou-se o critério de selecionar os artigos publicados nos anos que correspondem ao intervalo entre 2002 a 2013, o qual corresponde a uma recente e significativa parcela da literatura existente. Com o auxílio do software *Mendeley*, foi possível gerenciar os 156 artigos restantes, onde foi verificada a ocorrência de duplicidade para 38 artigos, por estarem publicados em ambas as bases pesquisadas, restando assim 118 publicações a serem submetidas ao critério final.

Como critério final, foram escolhidos os artigos com abordagem de análise de custos e previsão de demanda em sistemas de produção, identificada através da leitura dos *abstracts*, sendo necessária para alguns casos a leitura do texto completo.

Considerando apenas os artigos que atenderam a todos os critérios anteriormente determinados, incluindo à disponibilidade de acesso na íntegra de seus textos, 44 artigos foram selecionados. Porém a análise final foi conduzida através das abordagens apresentadas em 47 artigos, uma vez que 03 artigos constituem referências encontradas nos artigos selecionados pelos critérios acima descritos, e devido a sua relevância ao tema, no julgamento dos autores deste estudo, foram incluídos nesta revisão. Os artigos analisados constituem publicações localizadas nos periódicos apresentados no Quadro 1.

Periódicos	
<i>CIE 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering</i>	<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>
<i>Computers and Industrial Engineering</i>	<i>Journal of Manufacturing Science and Engineering</i>
<i>Computers and Operations Research</i>	<i>Journal of Operations Management</i>
<i>European Journal of Operational Research</i>	<i>Journal Service Science & Management</i>
<i>IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing</i>	<i>Management Science</i>
<i>Interfaces</i>	<i>Manufacturing and Service Operations Management</i>
<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	<i>Mechanika</i>
<i>International Journal of Industrial Engineering Theory Applications and Practice</i>	<i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science</i>
<i>International Journal of Production Economics</i>	<i>Production Planning and Control</i>
<i>International Journal of Production Research</i>	

Quadro 1 - Lista dos periódicos de publicação dos artigos mapeados.

Após o mapeamento da bibliografia disponível, a segunda etapa envolveu a leitura e classificação das abordagens apresentadas. Com as abordagens apresentadas pelos artigos, foi possível identificar as seguintes classificações: Desempenho operacional, Estimativas de custos, Gestão de estoques, Planejamento da capacidade, Planejamento de operações, Planejamento de produção e, Cadeia de suprimentos.

Com a classificação dos artigos mapeados, na terceira etapa foi possível realizar a análise de resultados que sintetiza as informações obtidas com os artigos incluídos na revisão. Esta etapa contemplou a avaliação do número de artigos por periódico, número de artigos por ano de publicação, número de artigos por abordagem e oportunidades de pesquisas futuras.

2.3 REVISÃO DA LITERATURA

A estimativa de custos assume um papel crucial nas organizações, uma vez que apresenta relação direta no desempenho e eficácia destas, onde superestimação de custos pode resultar em perda de negócios, enquanto que a subestimação pode levar a significativas perdas financeiras para a empresa (DAI *et al.*, 2006).

Segundo Chen *et al.* (2007), a incerteza da demanda faz com que o planejamento de operações seja um dos maiores desafios da indústria. Para Briffaut e Lallement (2010), o planejamento de operações deve entender o mercado, tendo assim condições de prever demandas, bem como compreender o desdobramento desta ao longo da execução dos planos operacionais estabelecidos. Li *et al.* (2011) destacam também o fato de que previsões mais precisas levam à redução dos custos totais de fabricação.

Frente a estas colocações, a próxima sessão apresenta um mapeamento de acordo com a classificação e abordagem dos artigos selecionados nesta pesquisa conforme o tema proposto.

2.3.1 Classificação

Com a leitura dos artigos selecionados, primeiramente identificaram-se as abordagens classificadas em 7 categorias, a saber: Cadeia de suprimentos, Desempenho operacional, Estimativas de custos, Gestão de estoques, Planejamento da capacidade,

Planejamento de operações e Planejamento de produção. O Quadro 2 apresenta a classificação dos 47 artigos analisados, representados pela sua referência, identificando a distribuição destes em relação às 7 abordagens identificadas.

Abordagens	Artigos	
Planejamento de produção	Khouja e Kumar (2002) Lan e Lan (2005) Chen <i>et al.</i> (2007) Christou <i>et al.</i> (2007) Briffaut e Lallement (2010) Feng <i>et al.</i> (2011)	Li <i>et al.</i> (2011) Zhang <i>et al.</i> (2011) Ponsignon e Lars (2012) Tiacci e Saetta (2012) Chhaochhria e Graves (2013) Zhang <i>et al.</i> (2013)
Estimativas de custos	Cavalieri <i>et al.</i> (2004) Tang <i>et al.</i> (2004) Dai <i>et al.</i> (2006) Bargelis e Rimašauskas (2007) Wang (2007)	Čikotienė e Bargelis (2009) Chou <i>et al.</i> (2010) Stasiškis <i>et al.</i> (2011) Chang <i>et al.</i> (2012) Stockton <i>et al.</i> (2012)
Desempenho operacional	Kassel e Tittmann (2007) Chatfield e Hayya (2007) Hillberg <i>et al.</i> (2009) Wu <i>et al.</i> (2010) Danese e Kalchschmidt (2011a)	Danese e Kalchschmidt (2011b) Rimašauskas e Bargelis (2012) Agard e Bassetto (2013) Tirkel (2013)
Cadeia de suprimentos	Thonemann (2002) Cohen <i>et al.</i> (2003) Ülkü <i>et al.</i> (2007)	Yimer e Demirli (2010) Kabak e Ulengin (2011) Phuc <i>et al.</i> (2013)
Planejamento de operações	Saitou <i>et al.</i> (2002) Meredith e Akinc (2007)	Girardi e Camargo (2009) Thome <i>et al.</i> (2012)
Gestão de estoques	Persona <i>et al.</i> (2007) Saygin (2007)	Ji <i>et al.</i> (2008)
Planejamento da capacidade	Cakanyildirim e Roundy (2002) Hood <i>et al.</i> (2003)	Bish <i>et al.</i> (2005)

Quadro 2 - Abordagens identificadas e artigos em cada classificação.

2.3.1.1 Planejamento de produção

Com esta abordagem foram localizados doze artigos, onde a atividade de planejamento de produção é compreendida pela maioria dos autores como um grande desafio para organizações, em função de depender diretamente da capacidade destas em prever sua demanda, bem como ter impacto significativo nos custos de produção. Assim Chhaochhria e Graves (2013) abordam o planejamento da produção aplicando simulação para determinar políticas otimizadas de estoques que visa atender cenários de demanda incerta, assegurando alto nível de serviço aliado à minimização dos custos operacionais. Chen *et al.* (2007) apresentam quatro modelos para o planejamento baseados em previsão de demanda, custo de produção, capacidade produtiva e quantidade em estoque. Entendendo as dificuldades que a incerteza na demanda gera para o sistema de produção,

Khouja e Kumar (2002) analisam investimentos e custos na aplicação de tecnologia da informação (TI) para tornar os sistemas de manufatura flexíveis, como forma de minimizar os problemas de planejamento de produção.

Briffaut e Lallement (2010) conduzem uma analogia desenvolvida através de conceitos e técnicas utilizadas no ambiente econômico, aplicando programação linear para definir o melhor momento para iniciar uma ordem de produção, tendo como variáveis dependentes o custo unitário e o preço de venda unitário, o qual é regulado pelo nível de demanda do mercado. Li *et al.* (2011), utilizando o algoritmo de aprendizado *backpropagation neural network* (BPNN), apresentam um modelo para previsão de demanda destinado a situações onde os dados disponíveis para condução de análises são limitados. Para um cenário com múltiplos produtos e componentes comuns, Zhang *et al.* (2013) apresentam um algoritmo que visa otimizar a eficiência do sistema de produção baseado no adiamento da diferenciação dos produtos, permitindo que informações de demanda do produto final sejam atualizadas próxima a etapa de sua fabricação.

Tiacci e Saetta (2012) apresentam três modelos simplificados utilizando *Mixed Integer Programming* (MIP), voltados a problemas de dimensionamento de lotes e programação da produção. Os modelos são aplicados em um estudo de caso real em uma empresa fabricante de pisos de madeira, onde custos de *setup* dependem da sequência programada de itens, a demanda futura é obtida a partir de previsões e o plano de produção é conduzido em horizonte rolante. Ponsignon e Lars (2012) desenvolvem um estudo para avaliar o problema de dimensionamento de recursos para atender demandas previstas, considerando as restrições de capacidade bem como os custos fixos relacionados. Como consequência, dois procedimentos heurísticos são propostos pelos autores: (i) produto baseado em esquemas de decomposição, e (ii) algoritmo genético. Com o objetivo de determinar o plano de produção que abrange exigências de cada período, minimizando todos os custos relevantes, Christou *et al.* (2007) apresentam uma abordagem de decomposição hierárquica do processo de planejamento de produção para multiprodutos. A aplicação parcial do modelo é conduzida em uma grande empresa engarrafadora de sucos e bebidas.

2.3.1.2 Estimativas de custos

Nesta abordagem foram classificados dez artigos, onde o enfoque principal é direcionado à condução de estimativas de custos de produtos em fases iniciais de desenvolvimento. Dai *et al.* (2006) apresentam uma revisão metodológica que compreende o estado da arte relacionado às abordagens de estimativas de custos. Diversas técnicas e metodologias desenvolvidas ao longo dos anos são classificadas, discutindo suas principais vantagens e limitações, identificando tendências atuais e perspectivas futuras para o tema.

Wang (2007) descreve um processo de desenvolvimento de modelos de custos, além de conduzir uma avaliação sobre os efeitos de cada elemento estrutural de *artificial neural networks* (ANN), em relação à eficácia da modelagem de custos global em um ambiente de produção colaborativa. Cavalieri *et al.* (2004) apresentam um estudo onde são comparados os resultados alcançados com a aplicação de técnicas de estimativas tradicionais de custos com resultados obtidos através da implementação de um modelo utilizando ANN. Chou *et al.* (2010) trazem como proposta para estimativas de custos rápidas e precisas, um modelo baseado em inteligência artificial. Um modelo combinado para previsão de custo unitário do produto, que integra raciocínio baseado em casos (CBR) e ANN é proposto por Chang *et al.* (2012).

Para auxiliar os sistemas tradicionais de custos, Stockton *et al.* (2012) avaliam o desempenho de três algoritmos de mineração de dados com a finalidade de identificar e priorizar direcionadores de custos. Stasiškis *et al.* (2011) apresentam um modelo de classificação de produtos e componentes mecânicos, baseado em simulação, capaz de desenvolver estimativas de custos de produção. Já Čikotienė e Bargelis (2009) apresentam uma modelagem matemática capaz de prever custos de qualidade em processos de fabricação de produtos mecânicos, baseado em características como material, geometria, dimensão, tolerância e outros, auxiliando assim as empresas a minimizar perdas de recursos na operacionalização de seus processos.

2.3.1.3 Desempenho operacional

Nesta categoria foram incluídos nove artigos, onde os principais autores discutem o impacto da acuracidade das previsões de demanda em relação ao desempenho operacional, avaliando principalmente o indicador custos de produção. Danese e Kalchschmidt (2011a) investigam os impactos da acuracidade das previsões e sua forma de condução sobre o desempenho operacional relacionado a custos de produção e entrega.

Para estes a estrutura do processo de previsão deve ser coerente com a forma como os gestores pretendem aproveitar os resultados previstos, e com o objetivo que deve ser alcançado. Outro estudo apresentado pelos autores consiste na análise de hipóteses levantadas em relação à interpretação de como as variáveis do processo de previsão podem afetar o desempenho de custos e entrega da empresa (DANESE e KALCHSCHMIDT, 2011b).

Para Kassel e Tittmann (2007), a competitividade das organizações está vinculada a sua habilidade em compreender o comportamento de seus clientes, onde informações seguras sobre quantidades a serem produzidas em períodos futuros assegura a estas uma melhor otimização de seus processos produtivos, o que conseqüentemente, se traduz em redução dos custos de produção. Hillberg *et al.* (2009) convergem neste posicionamento, porém apresentam um estudo comparativo entre a técnica estatística de análise de regressão, ANN e técnicas de raciocínio baseado em casos (CBR), para construção de indicadores capazes de prever estados de desempenho futuro.

Para indústria de produtos tecnológicos, Wu *et al.* (2010) apresentam um modelo baseado na combinação de modelos difusos que reduzem a variância da previsão utilizando informações oriundas do mercado, adquiridas ao longo do tempo. A validação prática do modelo é conduzida em uma grande companhia fabricante de produtos eletrônicos, onde os resultados mostraram significativas reduções nos erros de suas previsões, provocando expressivas reduções de custos para a organização. Já Rimašauskas e Bargelis (2012) apresentam um modelo baseado em ANN com a finalidade de prever indicadores de produtividade na indústria de transformação.

Para decisões relacionadas ao projeto de novos produtos, Agard e Bassetto (2013) apresentam um algoritmo que busca otimizar requisitos de custos e qualidade. Em relação ao processo produtivo, Tirkel (2013) destaca o papel das curvas de aprendizagem em fornecer a base para melhorias na produtividade e em custos em diversas áreas de fabricação. Assim o autor investiga o desempenho destes modelos em um processo de fabricação de semicondutores.

2.3.1.4 Cadeia de suprimentos

Conforme os seis artigos mapeados nesta abordagem, muitos são os riscos associados às diversas operações da cadeia de suprimentos em um cenário de demanda incerta. Para lidar com estas incertezas, Phuc *et al.* (2013) utilizam programação dinâmica para determinar planos de produção otimizados em uma cadeia de suprimentos, considerando influências do mercado.

Cohen *et al.* (2003) investigam o problema enfrentado por fabricantes de produtos altamente personalizados de elevado valor econômico. Conforme apresentado pelos autores, estes fabricantes, previamente ao recebimento de um pedido formal, recebem de seus clientes, estimativas de potenciais demandas com a finalidade de melhorar o desempenho de toda a cadeia de suprimentos. Assim, existe o problema de definir o melhor momento para iniciar a mobilização da cadeia para atendimento à demanda, uma vez que existe *trade-offs* como a geração precipitada de custos aliada à possibilidade de cancelamento, ou elevação de custos em função de atraso. Para os autores, o simples compartilhamento de informações por si só não é suficiente para promover um desempenho otimizado da cadeia de suprimentos, sendo fundamental a predisposição de o cliente compartilhar os riscos juntamente com o fornecedor relativos à possibilidade de cancelamento de pedidos.

Já Ülkü *et al.* (2007) apontam a tendência das empresas em terceirizar parte de suas operações com a finalidade de se tornarem especialistas em seus processos. Assim eles discutem a distribuição dos riscos de produção relacionados à cadeia onde a demanda é incerta. Yimer e Demirli (2010) apresentam um estudo onde é utilizada programação dinâmica para o planejamento das atividades relacionadas à cadeia de suprimentos. No estudo conduzido por Kabak e Ulengin (2011), um modelo de programação linear é empregado para auxiliar no processo de tomada de decisão em relação ao planejamento de recursos, o qual utiliza informações como previsão de demanda, custos e capacidade.

2.3.1.5 Planejamento de operações

Quatro artigos foram classificados nesta abordagem, destacando-se o trabalho conduzido por Thome *et al.* (2012), onde é apresentada uma revisão sistemática analisando 55 artigos sobre o Planejamento de Vendas e Operações (*Sales and Operation Planning – S&OP*), constituindo a literatura disponível sobre este tema. Nesta abordagem, o S&OP é

analisado como uma ferramenta predominantemente tática, uma vez que integra o planejamento estratégico do negócio ao plano de operações, apresentando variações de acordo com os contextos industriais e estratégias de produção.

Meredith e Akinc (2007) apresentam uma nova estratégia de produção destinada a um segmento da indústria, como para fabricantes de equipamentos de engenharia de grande porte, que constitui um modelo híbrido que integra *make-to-order* (MTO) e *make-to-stock* (MTS), apresentando a estratégia chamada de *make-to-forecast* (MTF). Girardi e Camargo (2009) apresentam um modelo integrado de previsão utilizando a metodologia de Box & Jenkins (modelos ARIMA) combinado com métodos qualitativos. Para validação este é comparado com um modelo baseado exclusivamente na experiência do pessoal da área de vendas, para a previsão de demanda de determinados produtos, na qual está baseado o planejamento de operações.

2.3.1.6 Gestão de estoques

A previsão de demanda assume um papel crucial, pois ao passo que as empresas buscam enfrentar incertezas de demanda necessariamente precisam controlar seus custos de produção, gerenciando corretamente seus níveis de estoque. Três artigos mapeados constituem abordagem sobre gestão de estoques, onde Persona *et al.* (2007) apresentam uma análise de custos baseada em modelos analíticos capazes de otimizar o nível de serviço prestado ao cliente em sistemas de produção *Make to Order* (MTO) e *Assembly to Order* (ATO). Estes modelos baseiam-se na determinação de níveis ótimos de estoques de segurança para conjuntos pré-montados e componentes, utilizados na fabricação do produto final. Já Saygin (2007) apresenta um comparativo entre modelos de gestão de estoques de produtos sensíveis ao tempo, com base em nível de serviço, custo, inventário, redução de perdas e complexidade na tomada de decisão. Além de dois modelos tradicionais baseados em níveis de estoque, é proposto um modelo de previsão de inventário formado pela integração de tecnologias de *radio frequency identification* (RFID) com técnicas de gestão de estoques em chão de fábrica. Ji *et al.* (2008) apresentam um modelo matemático com o objetivo de proporcionar o planejamento das atividades de transporte e dos níveis de inventário, a fim de minimizar custos relacionados.

2.3.1.7 Planejamento de capacidade

Foram encontrados três artigos orientados a planejamento de capacidade. Cakanyildirim e Roundy (2002), utilizando técnicas de planejamento de capacidade otimizadas e heurísticas, investigam alguns efeitos de práticas tradicionais no desempenho do planejamento de capacidade. Hood *et al.* (2003) conduzem um estudo aplicado ao planejamento de capacidade em indústrias fabricantes de semicondutores, apresentando um modelo para auxiliar na definição do número de ferramentas necessárias para o atendimento da demanda prevista, utilizando programação inteira estocástica para definir mudanças no perfil de demanda. Um conjunto de cenários de demanda discretos é considerado, gerando informações para aquisição de ferramentas sob uma restrição orçamentária, minimizando efeitos de demandas insatisfeitas. Bish *et al.* (2005) investigam os custos e benefícios associados à gestão da flexibilidade de capacidade para mitigar flutuações de curto prazo na demanda utilizando variadas políticas de alocação desta aos produtos.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada uma análise da distribuição dos artigos mapeados por periódicos e ano de publicação. Observa-se que os periódicos *International Journal of Production Economics*, *International Journal of Production Research* e *Journal of Intelligent Manufacturing* concentram aproximadamente 42,6% das publicações referentes a abordagens que relacionam custos de produção com o processo de previsão de demanda.

Em relação ao número de publicações ao longo dos anos, nota-se na Tabela 1, o maior pico de ocorrência no ano de 2007 com quase 21,3% dos artigos publicados, e uma retomada do tema nos anos de 2011, 2012 e 2013, sendo estes responsáveis por concentrar aproximadamente 38,3% dos artigos analisados.

A Tabela 2 apresenta uma análise dos artigos mapeados classificados de acordo com as abordagens identificadas e ao ano de publicação. Com base nesta classificação, os artigos estão distribuídos em sete abordagens ao longo de doze anos, com destaque para as abordagens Planejamento de Produção, Estimativas de Custos, e Desempenho Operacional, que concentram aproximadamente 66% dos artigos avaliados.

Tabela 1 – Número de artigos em relação aos periódicos e ao ano de publicação.

Periódicos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total	% (acum.)
<i>International Journal of Production Economics</i>			1			2			1	2	2	1	9	19,1
<i>International Journal of Production Research</i>	1					2				2		2	7	34,0
<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	1					1				1	1		4	42,5
<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>				1		1					1		3	48,9
<i>Management Science</i>		1	1	1									3	55,3
<i>Mechanika</i>								1		1	1		3	61,7
<i>IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing</i>	1	1										1	3	68,1
<i>Computers and Industrial Engineering</i>									1			1	2	72,4
<i>International Journal of Industrial Engineering Theory Applications and Practice</i>							1	1					2	76,7
<i>European Journal of Operational Research</i>	1									1			2	81,0
<i>CIE 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering</i>								1					1	83,2
<i>Computers and Operations Research</i>											1		1	85,3
<i>Interfaces</i>									1				1	87,4
<i>Journal of Operations Management</i>						1							1	89,5
<i>Journal Service Science & Management</i>									1				1	91,6
<i>Manufacturing and Service Operations Management</i>						1							1	93,7
<i>Journal of Manufacturing Science and Engineering</i>					1								1	95,8
<i>Proc. of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science</i>						1							1	97,9
<i>Production Planning and Control</i>						1							1	100,0
Total	4	2	2	2	1	10	1	3	4	7	6	5	47	100
%	8,5	4,3	4,3	4,3	2,1	21,3	2,1	6,4	8,5	14,9	12,8	10,6	100	

Com a leitura dos 47 artigos sobre abordagens relacionadas ao tema, custos de produção e o processo de previsão de demanda, constatou-se a flexibilidade na utilização destes conceitos, bem como a diversidade de situações onde estes são empregados no ambiente de produção. Tais conceitos tem se tornado útil para a criação de estratégias de produção buscando a otimização na utilização e aplicação de recursos, por meio de

atividades de planejamento e gestão operacional. Estes também são empregados em aplicações diversas voltadas à avaliação de desempenho dos sistemas produtivos.

Tabela 2 – Número de artigos em relação ao ano de publicação e às abordagens.

Abordagens	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total	% (acum.)
<i>Planejamento de produção</i>	1			1		2			1	3	2	2	12	25,5
<i>Estimativas de custos</i>			2		1	2		1	1	1	2		10	46,8
<i>Desempenho operacional</i>						2		1	1	2	1	2	9	65,9
<i>Cadeia de suprimentos</i>	1	1				1			1	1		1	6	78,7
<i>Planejamento de operações</i>	1					1		1			1		4	87,2
<i>Gestão de estoques</i>						2	1						3	93,6
<i>Planejamento da capacidade</i>	1	1		1									3	100,0
Total	4	2	2	2	1	10	1	3	4	7	6	5	47	100
%	8,5	4,3	4,3	4,3	2,1	21,3	2,1	6,4	8,5	14,9	12,8	10,6	100	

É possível destacar as abordagens: Planejamento de Produção e Estimativas de Custos, por concentrarem aproximadamente 47% dos artigos mapeados. Para suportar a complexidade do ambiente de produção moderno, modelagens de custos tornam-se indispensáveis como ferramentas que podem produzir respostas mais precisas e flexíveis para a tomada de decisão (WANG, 2007). Diversas foram as abordagens conduzidas com a finalidade de estimar custos, porém, destaca-se a utilização por vários autores da técnica de ANN para esta atividade. No estudo conduzido por Dai *et al.* (2006), são apresentadas as diversas técnicas e metodologias desenvolvidas ao longo dos anos, discutindo suas principais vantagens e limitações, bem como a importância deste tema para as organizações. Fundamentalmente, as aplicações destes modelos se limitam a estimar custos de fabricação em fases iniciais do desenvolvimento de produto.

Um posicionamento comum entre as abordagens de Planejamento de Produção é a complexidade de execução desta atividade provocada pela incerteza na demanda de produtos ou serviços a que as organizações estão submetidas (CHEN *et al.*, 2007; KHOUJA e KUMAR, 2002; LI *et al.*, 2011). Diferentes técnicas foram identificadas para a atividade de planejar a produção, como modelos matemáticos, capacidade de flexibilização da manufatura e modelagem computacional. Todos os modelos apresentados baseiam-se na previsão de demanda como meio de planejar a necessidade de recursos, de tal forma a proporcionar redução nos custos relacionados à utilização destes recursos.

Na abordagem de Desempenho Operacional, evidencia-se a progressiva preocupação com questões relacionadas ao papel do processo de previsão de demanda sobre o desempenho do sistema produtivo. Para Hillberg *et al.* (2009), previsões acuradas acerca do estado futuro constituem informações úteis para os gestores na busca pela otimização dos sistemas produtivos. Nos estudos de Danese e Kalchschmidt (2011a) e Danese e Kalchschmidt (2011b) também é discutida a relação da acuracidade da previsão em relação a indicadores organizacionais, incluindo investigações sobre variáveis presentes neste processo.

Uma importante observação é o fato de uma significativa tendência em incorporar aspectos financeiros e parâmetros econômicos nas diversas abordagens que relacionam previsão de demanda e avaliação de custos, buscando formalizar ferramentas de auxílio à tomada de decisão. Neste sentido, estas se tornam técnicas com linguagem facilmente entendidas pelos gestores e demais usuários.

Conforme apresentado por Lan e Lan (2005), pesquisas com foco no planejamento de recursos de produção em diferentes cenários representam uma importante frente de pesquisa, uma vez que esta pode ser considerada uma atividade estratégica na maioria dos sistemas produtivos.

Conforme proposto por Thome *et al.* (2012), a integração de planos financeiros junto ao processo de Planejamento de Vendas e Operações (S&OP) constitui uma importante linha de pesquisa, uma vez que existem poucos artigos que realizam esta abordagem, incluindo o fato desta ser uma necessidade apontada por diversos pesquisadores, ressalta o autor. Adicionalmente observa-se que a inclusão de parâmetros econômicos nesta análise pode trazer benefícios às organizações, pois o S&OP tem como objetivo melhorar resultados, otimizando receitas e lucros, estabelecendo um equilíbrio entre oferta, capacidade disponível e demanda.

Para o tópico de estimativas de custos, verifica-se a oportunidade de ampliação de estudos relacionados à utilização de técnicas recentes como inteligência artificial, CBR e ANN para alcançar estimativas de custos rápidas e precisas, auxiliando o processo de tomada de decisão. Estudos de casos aplicados à indústria, utilizando estes conceitos, também contituem interessantes linhas de pesquisa.

Corroborando com as abordagens apresentadas por Persona *et al.* (2007) e Bish *et al.* (2005), estudos voltados à adoção de conceitos de gestão da flexibilidade da capacidade

e gestão de estoques, caracterizam significativas linhas de pesquisa para otimização de custos na configuração e operação dos sistemas produtivos.

Considerando a parcela da literatura abrangida por este estudo, identifica-se que a abordagem de planejamento de capacidade tem sido objeto de poucas publicações. Para Yimer e Demirli (2010), no atual ambiente competitivo, agilidade e processos enxutos se tornaram preocupações estratégicas para empresas de manufatura em seus esforços para ampliar sua participação de mercado. Assim, verifica-se a necessidade de estudos que discutam a avaliação da capacidade instalada de um sistema produtivo frente à capacidade economicamente interessante para atendimento da demanda de mercado. Nenhum dos artigos analisados apresentou esta abordagem, entretanto, apresenta uma grande importância para as empresas de manufatura a possibilidade de avaliar de forma pró ativa o nível de alinhamento de sua capacidade produtiva com o seu mercado.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Abordagens que relacionam o processo de previsão de demanda com a avaliação de custos de produção podem revelar importantes medidas de apoio à gestão empresarial, bem como auxiliar na otimização dos sistemas produtivos, uma vez que gerenciar, analisar e prever custos do negócio é essencial para estabelecer vantagens competitivas para a organização (SOBREIRO *et al.*, 2008). O presente estudo levantou artigos sobre abordagens relacionadas ao tema, custos de produção e o processo de previsão de demanda no âmbito de produção, publicados no período de 2002 a 2013. Com este levantamento foram identificados e analisados 47 artigos, posteriormente classificados em 7 abordagens. Adicionalmente foram realizadas análises em relação à distribuição destes artigos, considerando publicações por ano, artigos por periódicos e número de artigos por abordagem.

Constata-se que os periódicos *International Journal of Production Economics*, *International Journal of Production Research* e *Journal of Intelligent Manufacturing* concentram aproximadamente 42,6% do total das publicações. Em relação aos tópicos de interesse, verifica-se que as abordagens Planejamento de Produção, Estimativas de Custos, e Desempenho Operacional concentram aproximadamente 66% do total de artigos avaliados.

Entretanto, estudos relacionados às abordagens de Planejamento de Operações e Planejamento de Capacidade ainda apresentam oportunidades de maiores pesquisas, sendo oportuna a incorporação de conceitos adicionais, como econômicos e financeiros.

Como principais contribuições do presente artigo destacam-se: (i) identificação de significativa parcela de abordagens existentes sobre o tema proposto; (ii) classificação dos artigos avaliados em relação a sua abordagem; e (iii) análise da classificação, identificando oportunidades de pesquisas futuras, sendo útil para pesquisadores voltados à área de otimização de sistemas produtivos.

REFERÊNCIAS

AGARD, B.; BASSETTO, S. Modular design of product families for quality and cost. **International Journal of Production Research**, v. 51, 6th ed., p. 1648-1667, 2013.

BARGELIS, A.; RIMAŠAUSKAS, M. Cost forecasting model for order-based sheet metalworking. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 221(1), p. 55–65, 2007.

BISH, E. K.; MURIEL, A.; BILLER, S. Managing flexible capacity in a make-to-order environment. **Management Science**, v. 51(2), p. 167–18, 2005.

BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BRIFFAUT, J.-P.; LALLEMENT, P. Volatility Forecasting of Market Demand as Aids for Planning Manufacturing Activities. **Journal Service Science & Management**, v. 3, p. 383-389, 2010.

CAKANYILDIRIM, M.; ROUNDY, R. O. Evaluation of capacity planning practices for the semiconductor industry. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 15 (3), p. 331–340, 2002.

CAVALIERI, S.; MACCARRONE, P.; PINTO, R. Parametric vs. neural network models for the estimation of production costs: A case study in the automotive industry. **International Journal of Production Economics**, v. 91, p. 165–177, 2004.

CHANG, P.-C.; LIN, J.-J.; DZAN, W.-Y. Forecasting of manufacturing cost in mobile phone products by case-based reasoning and artificial neural network models. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 23 (3), p. 517–531, 2012.

CHATFIELD, D. C.; HAYYA, J. C. All-zero forecasts for lumpy demand: a factorial study. **International Journal of Production Research**, v. 45 (4), p. 935–950, 2007.

CHEN, A.; HSU, C.-H.; BLUE, J. Demand planning approaches to aggregating and forecasting interrelated demands for safety stock and backup capacity planning. **International Journal of Production Research**, v. 45 (10), p. 2269–2294, 2007.

CHHAOCHHRIA, P.; GRAVES, S. C. A forecast-driven tactical planning model for a serial manufacturing system. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 23–24, p. 6860–6879, 2013.

CHOU, J.; TAI, Y.; CHANG, L. Predicting the development cost of TFT-LCD manufacturing equipment with artificial intelligence models. **International Journal of Production Economics**, v. 128 (1), p. 339–350, 2010.

CHRISTOU, I. T.; LAGODIMOS, A. G.; LYCOPOULOU, D. Hierarchical production planning for multi-product lines in the beverage industry. **Production Planning & Control**, v. 18 (5), p. 367–376, 2007.

ČIKOTIENĖ, D.; BARGELIS, A. Process modeling for quality in order-handled manufacturing system. **Mechanika**, v. 1 (1), p. 47–55, 2009.

COHEN, M. A.; HO, T. H.; REN, Z. J.; TERWIESCH, C. Measuring imputed cost in the semiconductor equipment supply chain. **Management Science**, v. 49 (12), p. 1653–1670, 2003.

DAI, J. S.; NIAZI, A.; BALABANI, S.; SENEVIRATNE, L. Product Cost Estimation: Technique Classification and Methodology Review. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 128, p. 563–575, 2006.

DANESE, P.; KALCHSCHMIDT, M. The impact of forecasting on companies' performance: Analysis in a multivariate setting. **International Journal of Production Economics**, v. 133 (1), p. 458–469, 2011b.

DANESE, P.; KALCHSCHMIDT, M. The role of the forecasting process in improving forecast accuracy and operational performance. **International Journal of Production Economics**, v. 131 (1), p. 204–214, 2011a.

FENG, P.; ZHANG, J.; WU, Z.; YU, D. An improved production planning method for process industries. **International Journal of Production Research**, v. 49 (14), p. 4223–4243, 2011.

FISCHER, M.; RAMAN, A. Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales. **Operations Research**, v. 44, p. 87–99, 1996.

GIRARDI, G.; CAMARGO, M. E. Forecast Production Volume: A Case Study. **CIE: 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering**, v. 1-3, p. 1747–1750, 2009.

HILLBERG, P. A.; SENGUPTA, S.; VAN TIL, R. P. A Comparative Study of Three Predictive Tools for Forecasting a Transfer Line's Throughput. **International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice**, v. 16 (1), p. 32–40, 2009.

HOOD, S. J.; BERMON, S.; BARAHONA, F. Capacity planning under demand uncertainty for semiconductor manufacturing. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 16 (2), p. 273–280, 2003.

JI, P.; CHEN, K. J.; YAN, Q. P. A Mathematical Model for a Multi-Commodity, Two-Stage Transportation and Inventory Problem. **International Journal of Industrial Engineering – Theory Applications and Practice**, v. 15 (3), p. 278–285, 2008.

KABAK, O.; ULENGIN, F. Possibilistic linear-programming approach for supply chain networking decisions. **European Journal of Operational Research**, v. 209 (3), p. 253–264, 2011.

KASSEL, S.; TITTMANN, C. Implications from customer behavior for manufacturing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 18 (4), p. 475–478, 2007.

KHOUJA, M.; KUMAR, R. L. Information technology investments and volume-flexibility in production systems. **International Journal of Production Research**, v. 40 (1), p. 205–221, 2002.

LAN, C.-H.; LAN, T.-S. A combinatorial manufacturing resource planning model for long-term CNC machining industry. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 26 (9-10), p. 1157–1162, 2005.

LI, D.-C.; CHANG, C.-C.; LIU, C.-W.; CHEN, W.-C. A new approach for manufacturing forecast problems with insufficient data: the case of TFT-LCDs. **Journal of Intelligent Manufacturing**, p. 1–9, 2011.

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

MEREDITH, J.; AKINC, U. Characterizing and structuring a new make-to-forecast production strategy. **Journal of Operations Management**, v. 25 (3), p. 623–642, 2007.

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.

PERSONA, A.; BATTINI, D.; MANZINI, R.; PARESCHI, A. Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components. **International Journal of Production Economics**, v. 110 (1-2), p. 147–159, 2007.

PHUC, P. N. K.; YU, V. F.; CHOU, S.-Y. Manufacturing production plan optimization in three-stage supply chains under Bass model market effects. **Computers & Industrial Engineering**, v. 65, p. 509–516, 2013.

PONSIGNON, T.; LARS, M. Heuristic approaches for master planning in semiconductor manufacturing. **Computers & Operations Research**, v. 39, p. 479–491, 2012.

RIMAŠAUSKAS, M., BARGELIS, A. The development of the intelligent forecasting model for productivity index in manufacturing. **Mechanika**, v. 18 (3), p. 354–359, 2012.

- SAITOU, K.; MALPATHAK, S.; QVAM, H. Robust design of flexible manufacturing systems using colored Petri net and genetic algorithm. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 13 (5), p. 339–351, 2002.
- SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de Revisão Sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.
- SAYGIN, C. Adaptive inventory management using RFID data. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 32 (9-10), p. 1045–1051, 2007.
- SOBREIRO, V. A.; ARAÚJO, P. H. S. L.; NAGANO, M. S. Aplicação de sistemas dinâmicos na previsão de custos da produção. **Rev. Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 1, n. 1, p. 27-39, 2008.
- STASIŠKIS, A.; ČIKOTIENĖ, D.; BARGELIS, A. Simulation of Products Classification System for Manufacturing Cost Forecasting. **Mechanika**, v. 17 (3), p. 300–305, 2011.
- STOCKTON, D. J.; KHALIL, R. A.; MUKHONGO, L. M. Cost model development using virtual manufacturing and data mining: part II-comparison of data mining algorithms. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 66, p. 1389–1396, 2012.
- TANG, C. S.; RAJARAM, K.; ALPTEKINOGLU, A.; OU, J. H. The benefits of advance booking discount programs: Model and analysis. **Management Science**, v. 50 (4), p. 465–478, 2004.
- 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.
- THONEMANN, U. W. Improving supply-chain performance by sharing advance demand information. **European Journal of Operational Research**, v. 142 (1), p. 81–107, 2002.
- TIACCI, L.; SAETTA, S. Demand forecasting, lot sizing and scheduling on a rolling horizon basis. **International Journal of Production Economics**, v. 140, p. 803-814, 2012.
- TIRKEL, I. Yield Learning Curve Models in Semiconductor Manufacturing. **IEEE Transactions On Semiconductor Manufacturing**, v. 26 (4), p. 564-571, 2013.
- ÜLKÜ, S.; TOKTAY, L. B.; YÜCESAN, E. Risk ownership in contract manufacturing. **Manufacturing and Service Operations Management**, v. 9 (3), p. 225–241, 2007.
- WANG, Q. Artificial neural networks as cost engineering methods in a collaborative manufacturing environment. **International Journal of Production Economics**, v. 109 (1-2), p. 53–64, 2007.
- WU, S. D.; KEMPF, K. G.; ATAN, M. O.; AYTAC, B.; SHIRODKAR, S. A.; MISHRA, A. Improving New-Product Forecasting at Intel Corporation. **Interfaces**, v. 40 (5), p. 385–396, 2010.

YIMER, A. D.; DEMIRLI, K. A genetic approach to two-phase optimization of dynamic supply chain scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58 (3), p. 411–422, 2010.

ZHANG, J.; SHOU, B.; CHEN, J. Postponed product differentiation with demand information update. **International Journal of Production Economics**, v. 141, p. 529–540, 2013.

ZHANG, X.; PRAJAPATI, M.; PEDEN, E. A stochastic production planning model under uncertain seasonal demand and market growth. **International Journal of Production Research**, v. 49 (7), p. 1957–1975, 2011.

3 ARTIGO 2 - PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE PRODUTIVA NA INDÚSTRIA PLÁSTICA: UMA ABORDAGEM BASEADA EM PREVISÃO DE DEMANDA E NA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

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 na tomada de decisões para escolha de políticas 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 demand 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 revealed the proposed model ability in providing information to assist in decision making for choice of policies for the production capacity planning.

Keywords: Production capacity planning; Demand forecasting; Activity level; Production system.

3.1 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. Estes investigam o papel da capacidade flexível para cenários de demanda estocástica, identificando como oportunidade de estudos futuros modelos para avaliar a flexibilidade da capacidade com extensão à determinação de níveis otimizados de capacidade, além de níveis de contingência para absorver possíveis flutuações na demanda. 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.

Para Silva e Kopittke (2002), dado que o ambiente econômico é incerto, a técnica de simulação permite transformar parte das incertezas em riscos, sem reduzi-las completamente, já que são inúmeras as possibilidades de ocorrência de determinado cenário. Mesmo usando simulações, a complexidade da tomada de decisão ainda existirá, e o cenário exato não será conhecido antes que o mesmo ocorra, porém é possível conhecer quais seriam os impactos em diferentes circunstâncias.

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 3.2 apresenta uma revisão da literatura contemplando os temas propostos. As Seções 3.3 e 3.4 apresentam a metodologia de pesquisa e o modelo proposto, respectivamente. A Seção 3.5 apresenta um estudo aplicado, onde é utilizado o método proposto. Por fim, a Seção 3.6 traz as conclusões deste estudo e indicações para trabalhos futuros.

3.2 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. Assim, inicialmente são abordados conceitos relacionados aos temas Previsão de Demanda e Capacidade de Produção.

3.2.1 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. Estes métodos usam uma ponderação distinta para cada valor observado na série temporal, de modo que valores mais recentes recebam pesos maiores. 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.

3.2.2 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 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 (KAZANCIUGLU e SAITOU, 2006). Para enfrentar estes problemas, Volling *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. Neste sentido, 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.

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. Também com o objetivo de minimização de custos, Korytkowski (2006) apresenta uma abordagem integrando simulação de eventos discretos com teoria das filas. Já Montevechi *et al.* (2009) apresentam uma aplicação do uso combinado de simulação, planejamento de experimentos e análise econômica para avaliar o risco econômico de cenários de investimentos na ampliação da capacidade produtiva.

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 Wanga *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 (Te), podendo este ser calculado pela soma de tempos de preparação (Tpr), tempos de transformação (Tt) e tempos complementares (Tc), conforme equação (14).

$$Te = Tpr + Tt + Tc, \quad (14)$$

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

$$Qm = Tm \cdot Em \quad (15)$$

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 (NAP) e nível de atividade real (NAR), 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.

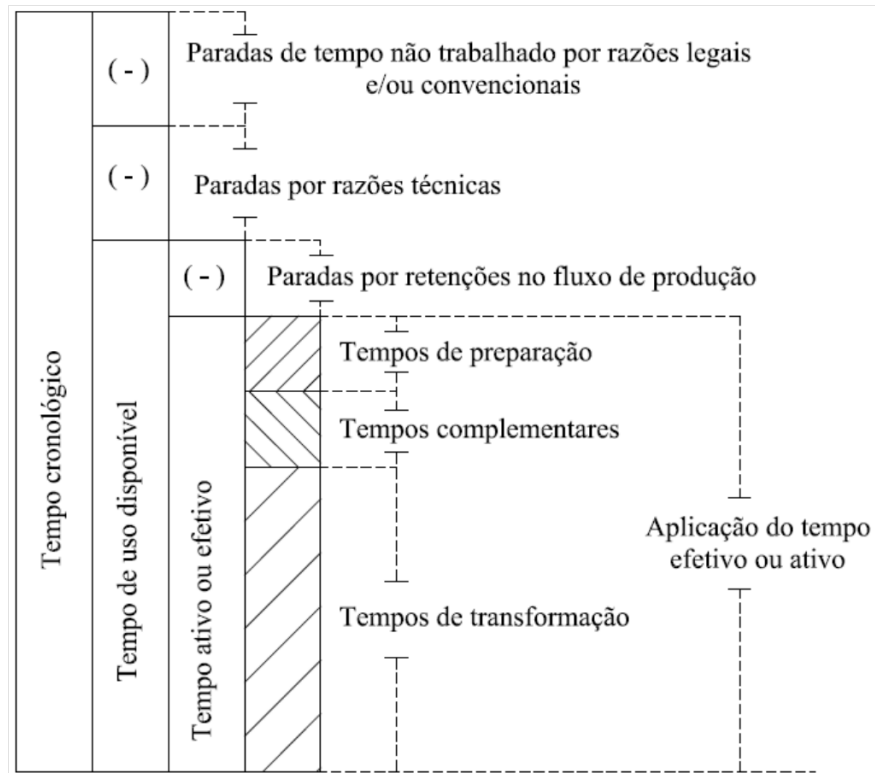


Figura 1 - Relação de tempos.

Fonte: Adaptado de (OSORIO, 1992).

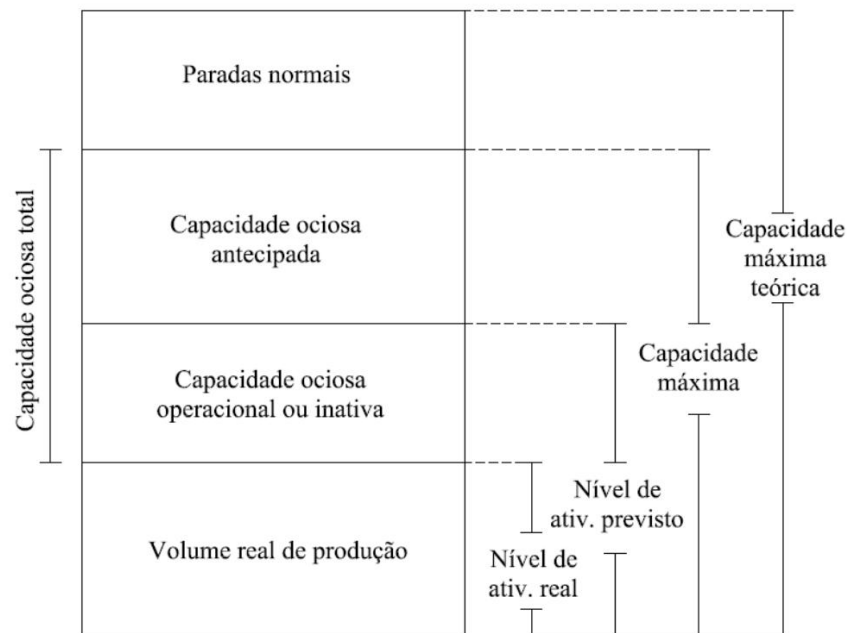


Figura 2 - Capacidade e níveis de Atividade.

Fonte: Adaptado de (OSORIO, 1992).

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).

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

3.3 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.

3.4 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.

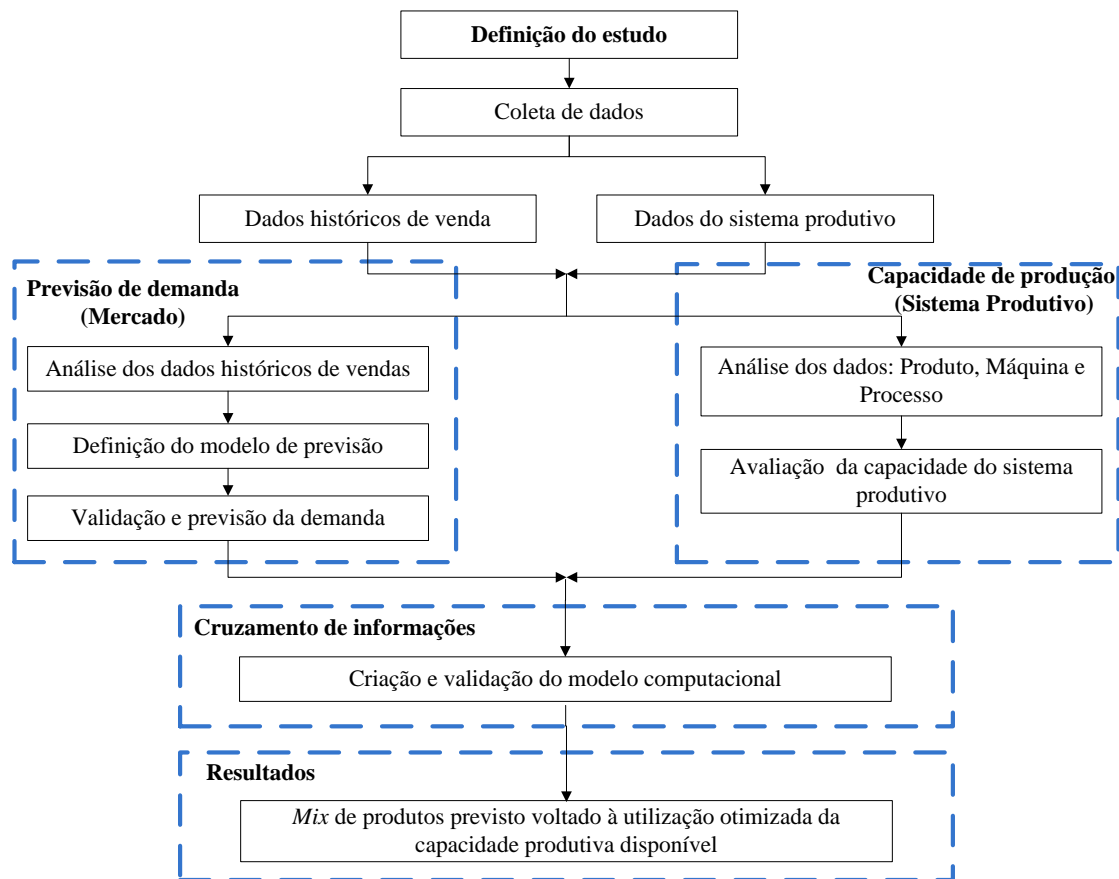


Figura 3 - Modelo proposto para utilização otimizada da capacidade.

3.4.1 Definição do estudo e Coleta de dados

Como definição inicial, o método busca estabelecer informações necessárias para explicar e tornar compreensível o contexto de aplicação do estudo. Assim, 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.

3.4.2 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).

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 futura (LEMOS e FOGLIATTO, 2007).

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 3.

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 $

Quadro 3 - Medidas de acurácia.

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).

3.4.3 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.

3.4.4 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).

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

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).

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

3.4.5 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. Como a modelagem matemática é programada em planilhas eletrônicas, esta pode ser facilmente ajustada para reproduzir diferentes cenários do sistema em estudo.

3.5 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.

3.5.1 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.

3.5.2 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.

3.5.3 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 3 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 3 - Previsão de demanda.

Prod.	Mod.	MAPE	1º Período (Dp_i)[kg]	2º Período (Dp_i)[kg]	3º Período (Dp_i)[kg]	4º Período (Dp_i)[kg]	5º Período (Dp_i)[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.

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; KAZANCIOGLU 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).

3.5.4 Capacidade de produção

Para determinar a capacidade de produção foram levantados os dados do processo e produtos, conforme apresentado na Tabela 4. 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 4. 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 4 - 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	-	-

3.5.5 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 5. Além da utilização otimizada da capacidade de produção disponível, a modelagem satisfaz restrições de mercado e do sistema produtivo.

Tabela 5 - Mix de produção obtido com a modelagem.

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

Com as restrições definidas, a modelagem estabelece a distribuição das quantidades ($P_{i,j}$ em unidades) de cada produto a serem produzidas dentre as máquinas possíveis e disponíveis. Portanto o NAp (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 (Ep), com a qual é possível determinar a capacidade produtiva do processo considerando as imposições do mercado. Na Tabela 6, 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 NAp 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 NAp 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 avaliação dos indicadores de disponibilidade e produtividade técnica que são classificados

Tabela 6 - 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</i> + <i>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

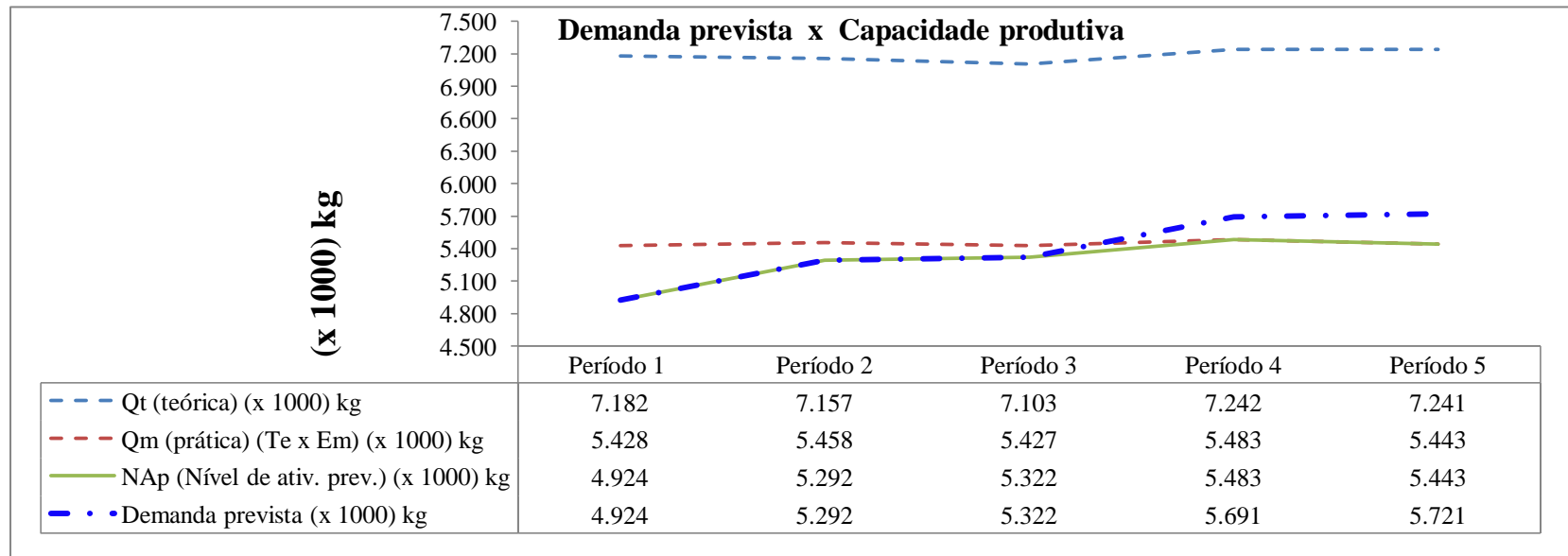


Figura 4 - Avaliação do comportamento entre Mercado x Sistema produtivo.

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.

3.6 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. 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. A utilização de técnicas de simulação,

como simulação de eventos discretos, que poderiam abordar em maiores detalhes o sistema produtivo, também constitui oportunidade de estudos futuros.

REFERÊNCIAS

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.

BISH, E. K.; MURIEL, A.; BILLER, S. Managing flexible capacity in a make-to-order environment. **Management Science**, v. 51(2), p. 167-18, 2005.

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.

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.

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.

GIRI, B. C.; MOON, I. Accounting for idle capacity cost in the scheduling of economic lot sizes. **International Journal Production Research**, v. 42 (4), p. 677-691, 2004.

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.

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 (6), p. 625-634, 1998.

HO, J.; FANG, C. Production capacity planning for multiple products under uncertain demands conditions. **International Journal Production Economics**, v. 141, p. 593-604, 2013.

HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M. **Contabilidade de custos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

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.

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.

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.

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.

LE MOS, 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.

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.

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

MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; JESUS, J. T. Economic evaluation of the increase in Production Capacity of a High Technology Products Manufacturing Cell using Discrete Event Simulation. **Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference** M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R. G. Ingalls, eds, p. 2185 – 2196, 2009.

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.; KOPITKE, 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 (2), p. 157-171, 2003.

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.

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.

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.

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.

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.

4 ARTIGO 3 - CONTROLE DO DESEMPENHO OPERACIONAL NA INDÚSTRIA PLÁSTICA: UMA ABORDAGEM ESTRUTURADA PARA A AVALIAÇÃO DE CUSTOS E PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE

Resumo

Em um ambiente caracterizado pela alta competitividade, torna-se imprescindível a busca pela excelência nos padrões de desempenho empresariais. Isto tem exigido das empresas medidas de controle de seus processos internos, a fim de eliminar perdas relacionadas ao uso inadequado de recursos. Neste contexto, o presente artigo desenvolve um modelo para o controle do desempenho operacional do sistema produtivo, utilizando a avaliação de custos e o planejamento da capacidade de produção. O objetivo é evidenciar as parcelas de custos relativos à produção, bem como os custos originados pela ociosidade do sistema, investigando seus impactos no resultado final. Para avaliar a eficácia do modelo proposto, este foi aplicado em uma empresa de manufatura de materiais plásticos para a construção civil, em um sistema com múltiplos produtos e múltiplas máquinas.

Palavras chave: Custos de produção; Custos da capacidade produtiva; Planejamento da capacidade produtiva; Indústria plástica.

Abstract

In an environment characterized by high competitive, it became indispensable the search for excellence in enterprise performance patterns. In such context, it is required that the companies measure their internal processes control, in order to eliminate losses related to inappropriate use of resources. In this context, this paper develops a model for the control for the production system operational performance, using cost evaluation and capacity planning. The objective is to emphasize the cost shares related to the production, as well as the system inactivity costs, investigating their impact on the final result. To evaluate the efficacy of the model, it was applied to a manufacturing company of plastic materials for construction, in a system with multi-products and multi-machines.

Keywords: Production costs; Production capacity costs; Production capacity planning; Plastic industry.

4.1 INTRODUÇÃO

A alta variação da demanda nos últimos anos tem influenciado empresas de manufatura a buscarem mecanismos para ajustar sua capacidade de produção, de forma rápida e econômica, às exigências do mercado (LINGITZ *et al.*, 2013). Este dinamismo,

aliado à elevada competição no ambiente empresarial, tem levado as organizações a buscarem um maior grau de racionalização de seus processos produtivos de forma a assegurar índices de rentabilidade favoráveis ao negócio.

Neste sentido, sistemas com capacidade flexível são apontados pela literatura como medida para tornar o gerenciamento da capacidade de produção mais eficaz diante de flutuações na demanda (TAN e ALP, 2009; MORATEWETZ e SIHN, 2012; LINGITZ *et al.*, 2013). Contudo, a análise do sistema produtivo deve incluir a avaliação dos custos fixos relacionados à capacidade de produção disponível, bem como sua utilização (KUTAČ *et al.*, 2014; TAN e ALP, 2009). Desta forma, metodologias que permitam a sistemática identificação e quantificação dos desperdícios de uma empresa assumem importante papel na melhoria da eficiência dos processos produtivos (GIRI e MOON, 2004; BORNIA, 2010).

Baseado no planejamento da capacidade produtiva e informações de custos, este artigo propõe uma metodologia de controle, que visa avaliar o desempenho operacional do sistema produtivo em termos econômicos. Assim, o principal objetivo consiste em evidenciar as parcelas de custos relativos à produção, bem como os custos originados pela ociosidade do sistema, investigando seus impactos no resultado final. Para alcançar o objetivo, o modelo proposto neste estudo estabelece o cruzamento entre informações do planejamento da capacidade produtiva e de custos.

Após esta introdução, a Seção 4.2 apresenta uma breve introdução aos temas custos produtivos, custos fixos de capacidade e a avaliação de custos no planejamento da capacidade de produção. Na Seção 4.3 é apresentado o método de controle para avaliação do desempenho do sistema produtivo. A seção 4.4 apresenta um estudo aplicado, empregando o modelo. A seção 4.5 traz a conclusão do artigo e sugestões para trabalhos futuros.

4.2 CUSTOS PRODUTIVOS

No ambiente no qual se insere a empresa moderna, onde preços de vendas dos produtos são fixados pelo mercado, o nível de utilização da capacidade produtiva torna-se um fator decisivo no desempenho do sistema.

Nestas condições, a gestão eficiente dos custos de produção assume um papel importante para a sobrevivência das organizações, onde o sucesso ou fracasso é o resultado

da habilidade em gerenciar, analisar e prever os custos do negócio para criar ou sustentar vantagens competitivas (SOBREIRO *et al.*, 2008). Portanto, a evidenciação e análise dos custos da capacidade tornam-se necessárias para a gestão empresarial, onde esta necessariamente deve incorporar a avaliação de custos relacionados à capacidade ociosa (JOHNSON e KAPLAN, 1993; GIRI e MOON, 2004; SANTOS *et al.*, 2007).

4.2.1 Custos fixos da Capacidade de produção

Considerando certo horizonte de planejamento, custos fixos são aqueles que tendem a permanecer constantes ao longo do tempo mesmo com mudanças nos volumes produzidos ou comercializados, enquanto não se modifique a capacidade de produção ou comercialização e o nível previsto de utilização desta. Assim, os custos fixos não são função do volume ou do uso real da capacidade, sendo sua magnitude dependente da capacidade existente e do nível de atividade planejado (OSORIO, 1992). Nessa mesma linha, Horngren *et al.* (2000) abordam o conceito de capacidade de produção em termos de capacidade, referindo-se a estrutura disponível, e a necessidade, que representa a utilização.

Os custos fixos podem também caracterizarem-se por não serem afetados pelo uso de medidas de flexibilidade, sendo estes resultados da tomada de decisão em nível estratégico, como áreas de estocagem, investimentos em equipamentos, depreciação em função do tempo, ou seja, independem do nível de atividade da empresa no curto prazo. Já os custos que são afetados por uma medida de capacidade são classificados como variáveis (BORNIA, 2010; LINGITZ *et al.*, 2013).

Segundo Bornia (2010), os custos fixos podem ser classificados, considerando sua facilidade de eliminação, em: custos fixos elimináveis (ou evitáveis) e não elimináveis. Custos fixos elimináveis correspondem àqueles que, no curto prazo, podem ser eliminados caso a empresa encerre temporariamente suas atividades, tendo como exemplo salários, aluguéis e energia elétrica. Já custos fixos não elimináveis, correspondem aos custos não passíveis de eliminação no curto prazo, dentre os quais se incluem depreciações de instalações, impostos sobre a propriedade, segurança e outros. Duas classes de custos fixos são apresentadas por Iwata e Wood (2002), custos de capacidade independentes e custos de capacidade dependentes. Custos independentes são aqueles vinculados à capacidade

disponível, enquanto os dependentes se relacionam ao grau de utilização planejado para capacidade disponível.

Em uma abordagem mais detalhada, Osorio (1992) classifica os custos fixos em: (i) custos fixos de capacidade ou de estrutura, e, (ii) custos fixos de operação ou operativos. Os custos fixos de capacidade resultam da remuneração dos recursos produtivos que definem a capacidade instalada, sendo de difícil controle no curto prazo, estando suas alterações vinculadas ao longo prazo. A segunda classe de custos surge como consequência da decisão de operar ou utilizar os fatores fixos de produção em determinada proporção estando, portanto, vinculados ao nível de atividade prevista. São constantes dentro dos limites da utilização planejada da capacidade, portanto suas alterações são consequentes da modificação desta decisão. O autor também destaca que mesmo estando relacionados com o nível de atividade ou ao tempo, estes não se convertem em custos variáveis, uma vez que não correspondem à taxa de produção real, e sim a certo nível de produção planejado.

4.2.2 Avaliação de custos no planejamento da capacidade de produção

Com o surgimento de sistemas produtivos multiprodutores, o custeio da produção se tornou um princípio condutor para monitorar a eficiência de todas as atividades realizadas, bem como vincular o desempenho dos processos à rentabilidade global da organização (SOBREIRO *et al.*, 2008). Assim, o custeio da produção assume uma posição importante de apoio à tomada de decisão nas funções de gestão e controle das empresas.

Neste sentido, Deif e Elmaraghy (2006) investigam como os sistemas produtivos podem gerenciar seu planejamento de capacidade de forma rentável. Baseado em uma função de custo, que inclui o custo da unidade de capacidade física e os custos associados à reconfiguração do sistema, o modelo determina o planejamento de capacidade ideal para o sistema de produção. Em abordagem similar, Deng e Yano (2006) desenvolvem um procedimento computacional explorando a relação conjunta entre decisões de capacidade e políticas de preços ótimos. Considerando as variáveis custos de setups e restrições de capacidade, o modelo estabelece o nível de utilização otimizada da capacidade visando equilibrar oferta e demanda em períodos diversos.

Para Kutač *et al.* (2014), as decisões relacionadas à escolha de métodos de custos a serem utilizados devem pertencer ao âmbito de tomada de decisão estratégico. Assim, os

autores discutem a inovação dos sistemas de custos utilizados em empresas metalúrgicas. Adicionalmente, investigam as distorções nos preços de produtos provocadas por práticas de cálculos de custos baseadas no volume de produção, o que não corresponde à utilização real da capacidade de produção pelos produtos. Tal prática ocasiona a alocação de uma parcela maior do que a realmente correspondente de custos fixos aos custos de produção, dado que a utilização do sistema produtivo normalmente é inferior à sua capacidade disponível.

Abordando problemas de planejamento, Gunasekaran *et al.* (1998) utilizam modelagem matemática para determinar tamanhos de lotes e capacidade ideal em um sistema de produção multiprodutos. Este modelo apresentado pelos autores busca apoiar o planejamento de capacidade, tendo como critério para otimização a minimização do custo total do sistema por unidade de tempo. Já Simpson e Erenguc (2005) desenvolvem uma metodologia voltada para sistemas de produção multiestágios. Uma formulação matemática utilizando MIP (*Mixed Integer Program*) é apresentada, onde o planejamento é estabelecido a partir da previsão de demanda, avaliação de estruturas de produtos, restrições de capacidade, custos fixos de instalação e tempos de preparação.

Para lidar com o aumento na flutuação da demanda, diversos são os estudos que investigam a utilização de capacidade flexível pelas empresas como medida para enfrentar os desafios provocados por este cenário. Uma abordagem visando apoiar as empresas na escolha de uma estratégia de ajuste de capacidade, aliadas à minimização de custos no horizonte de planejamento de curto e médio prazo, é apresentada por Moratewitz e Sihn (2012). A estratégia adotada se baseia na avaliação de um pacote de medidas possíveis de ajuste de capacidade, onde a escolha é suportada por um algoritmo de otimização que compara as medidas sob o aspecto de custo total. Tan e Alp (2009) discutem um modelo que integra o gerenciamento de inventário e da capacidade flexível, incorporando a avaliação de custos fixos relacionados à capacidade de produção, em cenários de demanda estocástica. Utilizando uma modelagem baseada em programação dinâmica, os autores analisam as características de políticas otimizadas em termos dos conceitos integrados, avaliando também a utilização da capacidade flexível sob diferentes cenários.

Li e Qiu (1996) conduziram uma investigação sobre a utilização de sistemas dedicados ou flexíveis, bem como a combinação de ambos os sistemas em um ambiente de demanda incerta. A modelagem proposta pelos autores tem como objetivo minimizar os custos de aquisição de capacidade e os custos operacionais totais esperados para o

horizonte de planejamento. Ainda, nesse enfoque, Lingitz *et al.* (2013) apresentam uma formulação utilizando MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) para auxiliar a tomada de decisão no planejamento da capacidade em médio prazo. Assim, o modelo desenvolvido avalia os custos relacionados à flexibilização da capacidade produtiva.

A avaliação de custos relacionada ao planejamento de capacidade não é um tema restrito a sistemas produtivos. Fayard *et al.* (2012) abordam uma prática estratégica de gerenciamento de custos chamada de Gerenciamento de Custos Interorganizacionais (IOCMs - *Inter-organizational cost management*), que consiste em ações colaborativas ou cooperativas entre membros de uma cadeia na busca pela redução de custos e criação de valor a todas as organizações integrantes desta cadeia. Chu e Chang (2010) combinam algoritmo genético e programação dinâmica para problemas de planejamento de expansão da capacidade de sistemas de recursos hídricos. Dado o destaque no crescimento do setor de transporte aéreo na economia mundial, Martín e Voltes-Dorta (2011) exploram a problemática relacionada a expansões da capacidade de aeroportos sob a ótica da gestão financeira, tendo custos operacionais como variável de interesse.

Outro tema que assume papel importante nas funções gerenciais de planejamento e controle da capacidade é a avaliação dos custos relacionados à ociosidade de produção. Estes se referem à parcela de fatores fixos - tanto estruturais, quanto operativos - não utilizados pela produção, ou simplesmente a diferença entre capacidade máxima prática de produção e volume de produção real (OSORIO, 1992). 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, esta parcela de capacidade não utilizada se transforma em custos de ociosidade. Assim, a identificação e análise dos custos da capacidade, bem como a evidenciação dos custos de ociosidade, tornam-se primordiais para a correta avaliação do desempenho de tais sistemas (GIRI e MOON, 2004; SANTOS *et al.*, 2007).

No estudo desenvolvido por Eiamkanchanalai e Banerjee (1999), é conduzida uma abordagem para o dimensionamento de tamanhos de lotes, onde os custos unitários de produção possuem relação com a taxa de produção, a qual é tratada como uma variável de decisão. Estes também incorporaram ao cálculo dos custos unitários de produção o custo da capacidade ociosa. Neste mesmo enfoque, Giri e Moon (2004) apresentam modelos matemáticos, testados com exemplos numéricos, que evidenciam o impacto significativo dos custos de ociosidade sobre a decisão de lotes econômicos de produção.

Para sua adequada avaliação, a capacidade ociosa total de produção pode ser dividida em duas componentes: capacidade ociosa planejada e capacidade ociosa operativa (OSORIO, 1992). O conceito de capacidade ociosa planejada refere-se à parcela da capacidade de produção que se determina não utilizar, ao ser definido um nível de atividade previsto. Já a capacidade ociosa operativa é a diferença resultante entre o nível de atividade realmente alcançado, também conhecido por volume real de produção, e o nível de atividade previsto anteriormente.

Assim, a capacidade ociosa total (COT) pode ser calculada a partir da diferença entre capacidade máxima (Qm) e o nível de atividade real (NAr), conforme equação (21) (OSORIO, 1992).

$$COT = Qm - NAr \quad (21)$$

Além disto, pode-se calcular a capacidade ociosa planejada (COP) e capacidade ociosa operativa (COO), componentes que formam COT , utilizando-se respectivamente as equações (22) e (23).

$$COP = Qm - NAp \quad (22)$$

$$COO = NAr - NAr \quad (23)$$

onde: NAp refere-se ao nível de atividade prevista e NAr ao nível de atividade real.

Obtidos os valores de cada componente, então a capacidade ociosa total também pode ser obtida através da equação (24).

$$COT = COP + COO \quad (24)$$

Para obtenção dos valores de Qm , NAp e NAr , Osorio (1992) define as equações (25), (26) e (27), respectivamente.

$$Qm = Tm \cdot Em \quad (25)$$

$$NAp = Tp \cdot Ep \quad (26)$$

$$NAr = Tr \cdot Er \quad (27)$$

onde: Tm , Tp e Tr correspondem ao tempo máximo, tempo previsto e tempo real para o período, respectivamente e Em , Ep e Er referem-se à produtividade técnica máxima, prevista e real, respectivamente.

Portanto a capacidade máxima e os níveis de atividade previsto e real são função do tempo (T) e da eficiência na utilização dos recursos, também conhecida como produtividade técnica (E). Assim, a capacidade ociosa será consequência de uma variação no tempo, (Tp ou Tr), ou na produtividade técnica (Ep ou Er), podendo também apresentar

ambas as variações simultaneamente em igual ou distinta intensidade (OSORIO, 1992; EIAMKANCHANALAI e BANERJEE, 1999).

4.3 METODOLOGIA PROPOSTA

Em termos de sua natureza, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para solução de um problema prático, que consiste em avaliar o desempenho operacional do sistema produtivo em termos econômicos. A abordagem desta pesquisa é predominantemente quantitativa, uma vez que utiliza fórmulas matemáticas e a base de dados de uma empresa. Quanto aos objetivos, esta pesquisa classifica-se como explicativa, onde a ênfase é a construção de um modelo que visa controlar o desempenho operacional do sistema produtivo, integrando o planejamento da capacidade produtiva com a análise de custos. Quanto aos procedimentos utilizados, classifica-se como uma pesquisa participante, dado que o estudo foi desenvolvido em conjunto com membros da aplicação prática investigada (SILVA e MENEZES, 2005).

Para desenvolvimento do método proposto, inicialmente foi realizada uma pesquisa na literatura com os temas relacionados ao estudo, custos produtivos, custos fixos da capacidade e a avaliação de custos no planejamento da capacidade de produção. Baseado no planejamento da capacidade produtiva e informações de custos, o modelo proposto visa avaliar o desempenho operacional do sistema produtivo. O objetivo consiste em evidenciar as parcelas de custos relativas à produção, bem como os custos originados pela ociosidade do sistema, investigando seus impactos no resultado final. A análise conduzida pelo modelo constitui uma abordagem de controle, dado que investiga o desempenho do sistema para um cenário já ocorrido. Como pressupostos para aplicação do modelo identificam-se: (i) necessidade da disponibilidade de dados do planejamento da capacidade produtiva, definido por modelos que integram informações reais do sistema de produção e do mercado, (ii) disponibilidade de informações de custos fixos de capacidade vinculados ao tamanho da capacidade e ao nível de utilização desta, (iii) disponibilidade de informações de custos variáveis. A Figura 5 apresenta as etapas do modelo proposto, as quais são detalhadas na sequência.

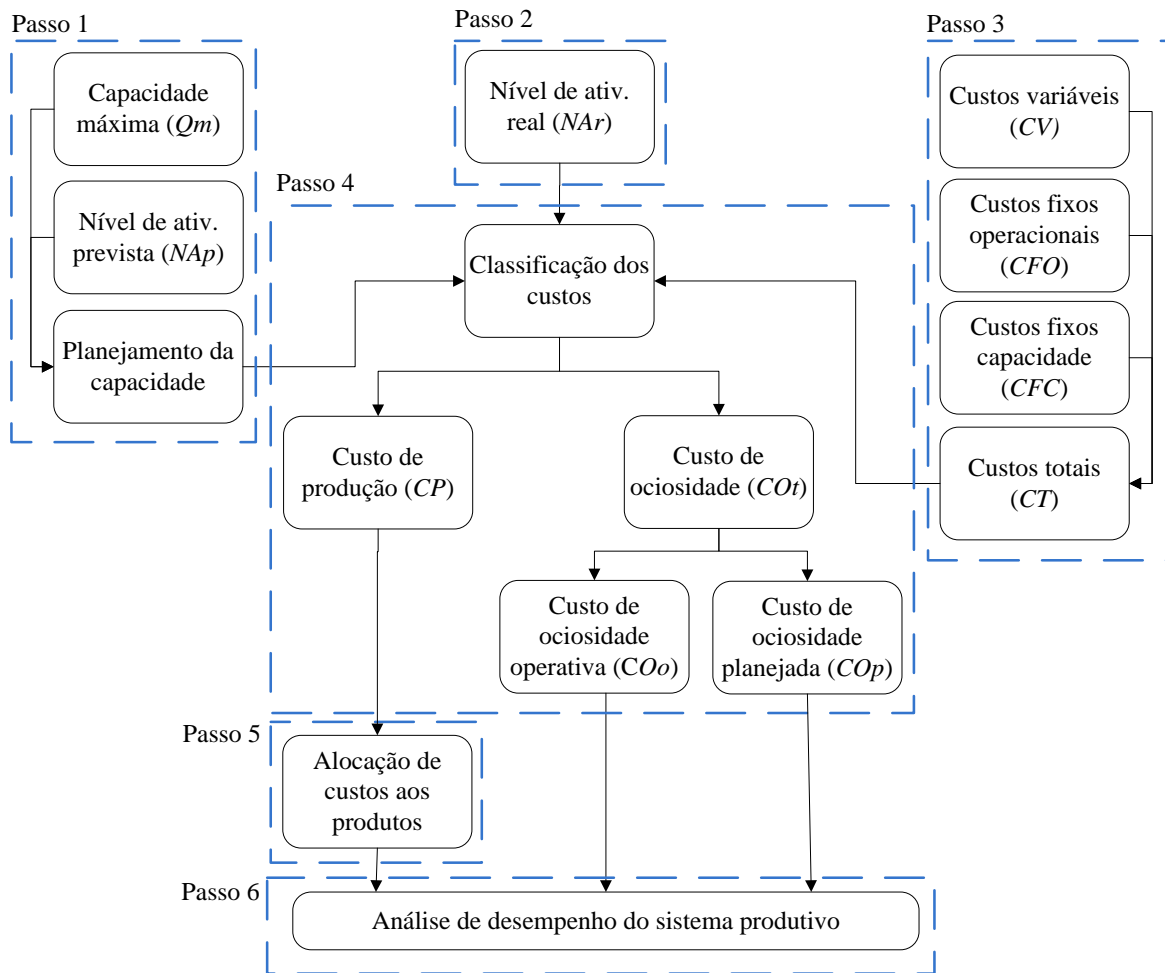


Figura 5 - Método proposto.

1º Passo: neste passo são levantados os dados oriundos do planejamento da capacidade de produção, que devem fornecer o cenário previsto de utilização desta para o período em análise. Assim é possível conhecer a disponibilidade do sistema produtivo em horas máquina, representado pela variável tempo (T), e a produtividade técnica (E), em kg/h, consequente do *mix* de produção planejado. Assim os valores de Q_m e NA_p são obtidos a partir das equações (25) e (26), respectivamente. Estes constituem parâmetros que permitem a adequada avaliação do sistema produtivo, uma vez que utilizam dados do planejamento da capacidade produtiva realizado em etapa anterior, conforme modelagem proposta por Almeida (2014). Portanto, estes dados de entrada são baseados em informações do mercado, através da previsão de demanda, e disponibilidade do sistema, por meio da avaliação da capacidade de produção.

2º Passo: neste passo são coletados os dados do volume real de produção alcançado, que representam o nível de atividade real (NA_r) obtido no período. Com base nas quantidades

produzidas de cada produto e o tempo real (Tr) utilizado, é possível calcular o valor da variável produtividade técnica real (Er) utilizando-se a equação (27).

3º Passo: definidos os parâmetros do sistema produtivo, é necessário estabelecer as informações de custos. Portanto, assumem-se como custos totais (CT) a soma dos custos variáveis (CV) e os custos fixos operacionais (CFO) e fixos de capacidade (CFC), conforme equação (28) (OSORIO, 1992; WOODLOCK, 2000):

$$CT = CFC + CFO + CV \quad (28)$$

onde: CFC representa os custos relacionados aos recursos que determinam a capacidade instalada; CFO representam os custos que surgem com a decisão de utilizar em determinada proporção os recursos de capacidade instalada e CV corresponde aos custos que se relacionam ao volume de produção realizado.

4º Passo: o quarto passo consiste na classificação dos custos totais (CT) em duas categorias, custos de produção (CP) e custos de ociosidade total (COt). Assim, CP correspondem aos custos justificados pelo volume de produção alcançado no período, ou seja, NAr . COt corresponde à parcela de custos relacionada aos recursos não utilizados, representados por desvios nas variáveis, produtividade técnica (E) e tempo (T).

Para possibilitar esta classificação, inicialmente é necessário determinar o valor da taxa unitária de custos fixos de capacidade ($Tcfc$) e a taxa unitária de custos fixos de operação ($Tcfo$). Estas taxas são fornecidas a partir das equações (29) e (30), respectivamente.

$$Tcfc = \frac{CFC}{Q_m} \quad (29)$$

onde: Q_m , corresponde à capacidade máxima de produção para o período em kg,

$$Tcfo = \frac{CFO}{NA_p} \quad (30)$$

sendo: NA_p o nível de atividade prevista para o período em kg.

A Tabela 7 apresenta as fórmulas utilizadas para determinar as parcelas de custos que formam o custo de produção (CP), que é representado pela equação (31).

$$CP = CP_C + CP_O + CP_V \quad (31)$$

Tabela 7 - Fórmulas para calcular parcelas de custos que formam CP.

Custo	Custo de produção (CP)
CFC	$CPc = NAr \times Tcfc$, onde CPc é o custo de produção fixo de capacidade;
CFO	$CPo = NAr \times Tcfo$, onde CPo é o custo de produção fixo operacional;
CV	$CPv = \sum_{i=1}^n NAr_i \times CV_i$, onde CPv é o custo de produção variável, NAr_i é a quantidade em unidades produzida do produto i e CV_i é o custo variável unitário do produto i , para $i = 1, \dots, n$.

O custo de ociosidade total (COt) é formado pela soma dos custos classificados em custos de ociosidade planejada (COp) e custos de ociosidade operativa (COo). Aplicando-se a equação (32), é obtido o valor de COt .

$$COt = COp + COo \quad (32)$$

Na Tabela 8 são apresentadas as fórmulas utilizadas para determinar cada uma das componentes que formam COt , relacionadas aos tipos de custos CFC e CFO , bem como as variáveis, produtividade técnica (E) e tempo (T).

Tabela 8 - Fórmulas para calcular componentes de custos que formam COt.

Custo de ociosidade total COt			
Custo	var. (E)	var. (T)	var. (E e T)
CFC	$[[Tp.(Em - Ep)].Tcfc]$	$[[Ep.(Tm - Tp)].Tcfc]$	$[[Em - Ep).(Tm - Tp)].Tcfc]$
$COp = [[Tp.(Em - Ep)] + [Ep.(Tm - Tp)] + [(Em - Ep).(Tm - Tp)].Tcfc]$			
Custo	var. (E)	var. (T)	
CFC	$[[Tr.(Ep - Er)].Tcfc]$	$[[Ep.(Tp - Tr)].Tcfc]$	
CFO	$[[Tr.(Ep - Er)].Tcfo]$	$[[Ep.(Tp - Tr)].Tcfo]$	
$COo = [Tr.(Ep - Er) + Ep.(Tp - Tr)].Tcfc + [Tr.(Ep - Er) + Ep.(Tp - Tr)].Tcfo$			

5º Passo: o quinto passo corresponde à alocação de custos aos produtos. Assim, somente os custos de produção (CP) farão parte do custo dos produtos. Com a equação (33) é possível calcular o custo total unitário para o produto i (CTu_i):

$$CTu_i = CFCu_i + CFOu_i + CVu_i \quad (33)$$

onde: $CFCu_i$ refere-se ao custo fixo de capacidade unitário do produto i ; $FFOu_i$ é o custo fixo de operação unitário do produto i e CVu_i é o custo variável unitário do produto i . Assim as parcelas de custos fixos alocadas aos produtos são determinadas pelas equações (34) e (35).

$$CFCu_i = Tcfc \times m_i \quad (34)$$

$$FFOu_i = Tcfo \times m_i \quad (35)$$

onde: m_i é a equivalência do produto i em sua unidade de medida.

6º Passo: o último passo visa analisar o sistema produtivo em termos de seu desempenho operacional (*DO*). Assim, faz-se necessário apurar as informações de receita (*R*) gerada pelos produtos fabricados no período, custos de produção (*CP*) e também os custos relacionados à capacidade ociosidade no período (*COt*). Primeiramente, as receitas são calculadas multiplicando os preços de venda de cada produto pela respectiva quantidade produzida, conforme a equação (36).

$$R = \sum_{i=1}^n (PV_i \times NAr_i) \quad (36)$$

onde: PV_i é o preço de venda do produto i em (R\$), e NAr_i corresponde à quantidade produzida do produto i em unidades, para $i = 1, \dots, n$.

Por fim, o desempenho operacional (*DO*) é obtido ao deduzir da receita (*R*) os custos de produção (*CP*) e os custos de ociosidade total (*COt*), conforme equação (37).

$$DO = R - CP - COt \quad (37)$$

4.4 ESTUDO APLICADO

O método proposto foi aplicado em uma indústria fabricante de materiais em PVC para a construção civil. Uma dificuldade observada pela empresa é a instabilidade na definição de seus preços de venda em decorrência da elevada concorrência na comercialização de seus produtos em nível nacional. Desta forma, na maioria dos períodos, os preços de vendas praticados resultam em produtos com margens de lucro reduzidas e em alguns casos até negativa. Nestas condições, o desempenho na utilização dos recursos relacionados à capacidade instalada de produção, representado pelos custos fixos, assume papel crucial para determinação do desempenho operacional do sistema produtivo. Assim, nesta seção são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do método, que contempla a análise de nove produtos fabricados num processo produtivo composto por seis máquinas, ou seja, considera um sistema com múltiplos produtos e múltiplas máquinas.

Os dados utilizados na aplicação correspondem a um único período, denominado de período 1, que é formado por seis meses. Portanto, os dados de entrada apresentados na Tabela 9 representam o valor acumulado de seis meses, os quais constituem a execução dos dois primeiros passos do modelo. As propriedades de peso (kg) dos produtos,

incluindo o detalhamento do NAr em unidades físicas e em Kg, são fornecidas pois serão utilizadas nas etapas seguintes.

Tabela 9 - Cenário planejado e realizado da utilização da capacidade produtiva.

Período 1 - (6 meses)		Composição NAr			
Dados previstos x realizado		Prod.	Peso (m_i) [kg]	NAr [unid.]	NAr [kg]
Tm (h máquina)	19.808,41	1	0,8	221.602,0	177.281,6
Qm (kg)	5.427.993,90	2	1,15	566.337,0	651.287,6
Tp (h máquina)	17.967,50	3	1,8	65.067,0	117.120,6
NAP (kg)	4.923.538,09	4	4,15	76.296,0	316.628,4
$Em = Ep$ (kg/h)	274,02	5	1,42	163.180,0	231.715,6
Tr (h máquina)	17.800,00	6	2,35	152.946,0	359.423,1
NAr (kg)	4.585.465,70	7	3,75	96.046,0	360.172,5
Er (Kg/h)	257,61	8	5,35	368.771,0	1.972.924,9
		9	11,7	34.095,0	398.911,5
					4.585.465,7

No terceiro passo do modelo são levantados os custos que formam o custo total (CT) do período. Conforme informado pela empresa, a Tabela 10 apresenta os custos registrados no período. Observa-se que os custos fixos correspondem a 25,63 % dos custos totais, nos quais são considerados salários e encargos, aluguéis, depreciação, energia elétrica e segurança. Já 74,37 % destes são classificados como custos variáveis, sendo estes predominantemente formados por custos de matéria prima.

Após a coleta dos dados, o quarto passo consiste na classificação dos custos totais (CT) em duas categorias, custos de produção (CP) e custos de ociosidade total (COt). Na Tabela 11 são apresentados os valores obtidos a partir da aplicação das fórmulas descritas na proposição do modelo. Os custos justificados pelo volume de produção alcançado são apresentados em relação a cada tipo de custo CFC , CFO e CVT . Além da estratificação do tipo de custo, os valores de capacidade ociosa são apresentados em termos da classificação da ociosidade, planejada ou operacional, e também em relação a variável geradora, tempo (T) e produtividade técnica (E).

Tabela 10 - Custos totais (CT) do período.

Tipo de custo	Repres. sobre (CT)	Custo total (CT)
CFC	14,31%	R\$ 3.122.545,80
CFO	11,32%	R\$ 2.469.810,42
CVT	74,37%	R\$ 16.229.160,46
		R\$ 21.821.516,68

Os valores nulos assumidos pelo COP relativo a variações na produtividade (E) e na variação conjunta de E e T são justificadas pela premissa adotada nesta análise, onde os

valores de Em são assumidos como iguais a Ep . Uma vez determinado o mix de produção pelo planejamento da capacidade, que representa as condições impostas pelo mercado e sistema produtivo, não faria sentido determinar um valor de Em o qual não fosse realmente passível de ser alcançado.

Tabela 11 - Classificação dos custos totais (CT) em CP e COt .

Tipo custo	Custo Produção (CP)	Custos de ociosidade total (COt)				
		COp			COo	
		var. E	var. T	var. E e T	var. E	var. T
CFC	R\$ 2.637.867,13	R\$ 0	R\$ 290.196,79	R\$ 0	R\$ 168.078,25	R\$ 26.403,64
CFO	R\$ 2.300.222,06	-	-	-	R\$ 146.564,36	R\$ 23.024,00
CVT	R\$16.229.160,46	-	-	-	-	-
	R\$21.167.249,65	R\$ 0	R\$ 290.196,79	R\$ 0	R\$ 314.642,61	R\$ 49.427,64

Em relação a CT , 97 % destes são absorvidos pela produção, restando apenas 3 % que correspondem à parcela de ociosidade do período, dentre os quais 44,35 % são classificados como COp e 55,65 % como COo . Porém, ao comparar o custo total de ociosidade com os custos de capacidade, CFC e CFO , a ociosidade do período assume uma representatividade de 11,70 %, merecendo, portanto, maior atenção.

O quinto passo consiste na alocação dos custos de produção (CP) aos produtos. Utilizando as fórmulas propostas anteriormente é possível determinar o custo total unitário para o produto i (CTu_i). A Tabela 12 apresenta os valores calculados referentes aos custos totais unitários (CTu_i), bem como os valores de $CFCu_i$ e $CFOu_i$ para cada produto. Os valores relativos ao custo variável unitário de cada produto (CVu_i) constituem informações fornecidas pela empresa.

Tabela 12 - Determinação dos custos totais unitários CTu_i (R\$/unid.).

Produto	$CFCu$ (R\$/unid.)	$CFOu$ (R\$/unid.)	CVu (R\$/unid.)	CTu (R\$/unid.)
1	R\$ 0,46	R\$ 0,40	R\$ 3,01	R\$ 3,87
2	R\$ 0,66	R\$ 0,58	R\$ 4,30	R\$ 5,54
3	R\$ 1,04	R\$ 0,90	R\$ 6,72	R\$ 8,66
4	R\$ 2,39	R\$ 2,08	R\$15,11	R\$ 19,58
5	R\$ 0,82	R\$ 0,71	R\$ 4,97	R\$ 6,50
6	R\$ 1,35	R\$ 1,18	R\$ 8,24	R\$ 10,77
7	R\$ 2,16	R\$ 1,88	R\$ 13,06	R\$ 17,10
8	R\$ 3,08	R\$ 2,68	R\$ 18,54	R\$ 24,30
9	R\$ 6,73	R\$ 5,87	R\$ 40,33	R\$ 52,93

No último passo é conduzida uma análise do desempenho operacional do sistema produtivo (DO), evidenciando também parcelas de custos justificadas pela produção do período (CP) e perdas relacionadas aos recursos fixos de capacidade e operação não utilizados, que são representados pelos custos de ociosidade total (COt). Na Tabela 13 são

apresentados os valores que determinam o desempenho operacional do período, dos quais *PV* constitui dados informados pela empresa. Já os demais valores são obtidos a partir das equações apresentadas no 6º passo.

Tabela 13 - Desempenho operacional do sistema produtivo no período.

Prod.	Preço de venda <i>PV</i> (R\$/unid.)	Receita <i>R</i> (R\$)	Custo de produção <i>CP</i> (R\$)	Desempenho Operacional - <i>DO</i> (R\$)
1	R\$ 4,56	R\$ 1.009.841,93	R\$ 857.395,91	Receita
2	R\$ 5,95	R\$ 3.371.514,02	R\$ 3.135.510,81	R\$ 22.536.851,49
3	R\$ 11,14	R\$ 724.784,37	R\$ 563.478,95	Custo de produção
4	R\$ 21,99	R\$ 1.677.956,43	R\$ 1.493.977,62	-R\$ 21.167.249,65
5	R\$ 7,47	R\$ 1.218.612,73	R\$ 1.060.232,41	Custo capacidade ociosa
6	R\$ 13,51	R\$ 2.066.947,95	R\$ 1.647.509,17	-R\$ 654.267,03
7	R\$ 19,98	R\$ 1.919.002,10	R\$ 1.642.388,13	
8	R\$ 22,98	R\$ 8.474.705,84	R\$ 8.961.967,38	
9	R\$ 60,81	R\$ 2.073.486,13	R\$ 1.804.789,26	
		R\$ 22.536.851,49	R\$ 21.167.249,65	R\$ 715.334,81

Portanto, o desempenho operacional (*DO*) obtido no período foi de R\$ 715.334,81, o qual tem uma representatividade de 3,17% se comparado à receita. Como o período analisado é formado por seis meses, isto representa um desempenho operacional médio inferior a R\$ 120.000 / mês.

Uma das justificativas para o baixo desempenho operacional alcançado pode ser a ineficiência apurada na utilização dos recursos fixos de capacidade e operação. Se neste mesmo período os custos relativos à capacidade ociosa *COt* pudessem ser eliminados, o valor de *DO* seria melhorado em 91,46 %, passando a representar 6,08 % da receita.

Neste sentido, a análise é estendida de maneira a permitir comparar *DO* obtido com o valor assumido por *NAr*, para o caso de se alcançar *NAp* e *Qm*. Utilizando-se os valores médios alcançados no período para as variáveis, receita (R\$ 4,91/kg) e custos variáveis (R\$ 3,54/kg), é possível determinar o valor de *DO* para cada um dos casos. Assim, com *NAp*, combinação das variáveis *Ep* e *Tp*, *DO* assumiria o valor de R\$ 1.180.381,62. Para o caso de se alcançar *Qm*, combinação de *Em* e *Tm*, *DO* assumiria o valor de R\$ 1.874.302,72. Assim, pode-se dizer que o *DO* alcançado no período corresponde a 60,60% do cenário planejado e a 38,17% do cenário ótimo. Na Figura 6 é ilustrado o comportamento do *DO* em relação a diferentes combinações das variáveis produtividade (*E*) e tempo (*T*).

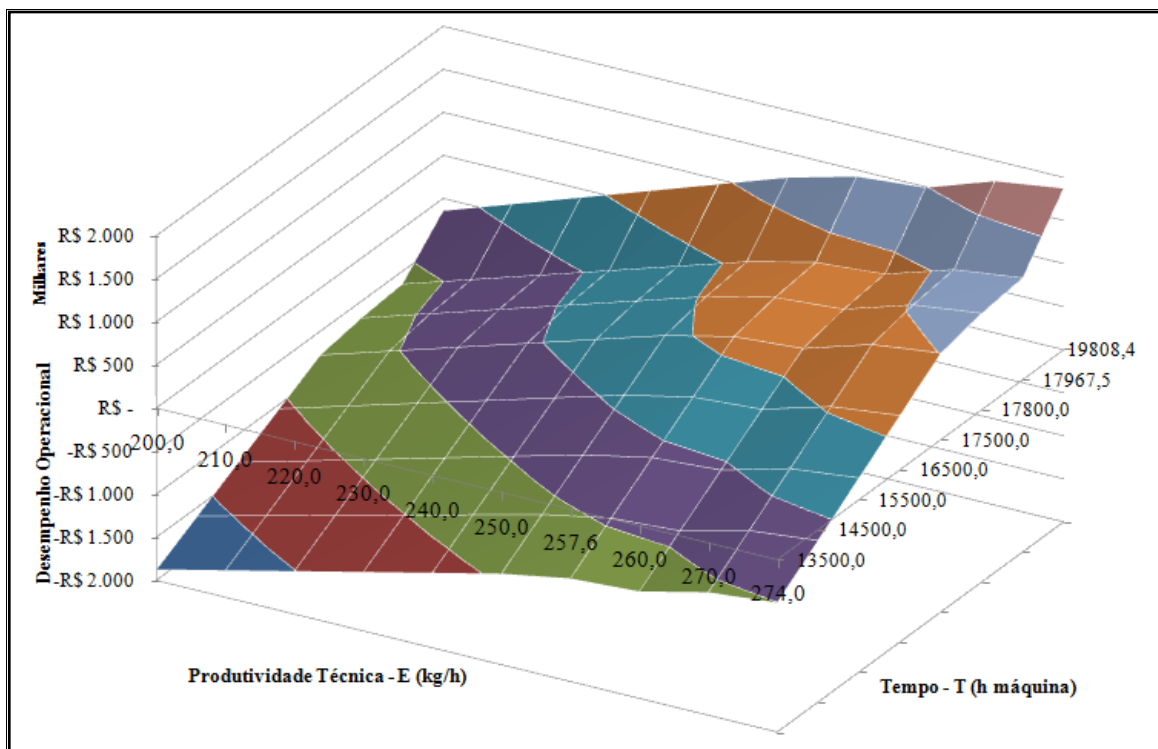


Figura 6 - Análise de sensibilidade do *DO* em termos da produtividade (*E*) e tempo (*T*).

Outra causa que também pode ser responsabilizada pelo baixo desempenho operacional (*DO*), já mencionada anteriormente, é a baixa margem de lucro proporcionada por alguns produtos. Para o período em análise, observa-se que o produto 8, que corresponde a 43% do *NAr* (kg), está apresentando uma margem negativa, uma vez que a receita (*R*) gerada por este produto não cobre seus custos (*CP*). A empresa adota esta situação como estratégia, pois o produto 8 ao assumir um preço competitivo para o mercado torna-se um atrativo para a comercialização dos demais produtos. Assim, fica evidente que os preços de venda praticados seguem as condições impostas pelo mercado.

Neste contexto, torna-se oportuna a investigação sobre as medidas utilizadas na atribuição dos custos fixos aos produtos, pois na ótica da empresa moderna o lucro é condicionado pela diferença entre o preço, fixado pelo mercado, e o nível de custo atingido pela organização (BORNIA, 2010). Assim, a lógica de distribuição dos custos fixos de capacidade e operacionais deve representar o mais próximo quanto possível a real utilização ou consumo destes recursos pelos produtos. Assim torna-se compreensível a contribuição de cada produto no desempenho operacional do sistema.

Visando uma maior racionalidade na distribuição dos custos fixos, anteriormente realizada com base no desempenho global, é conduzida uma análise onde os custos fixos de capacidade e operação são alocados utilizando um coeficiente que representa o

desempenho específico de cada produto. Este coeficiente captura as diferentes taxas de produção (kg/h) dos produtos nas diferentes máquinas, sendo calculado conforme segue:

- Inicialmente calcula-se a produtividade de cada produto (E_i), que é obtida a partir da multiplicação da produtividade do produto na máquina pela representatividade da quantidade nesta produzida em relação ao volume total de produção planejado para o produto i ;
- O passo seguinte é calcular a produtividade do sistema ($E_{sistema}$), obtida a partir do somatório da multiplicação da produtividade de cada produto (E_i) pela representatividade do produto i em relação ao volume de produção realizado (NAr).

Assim o coeficiente de custo do produto i (Cc_i) é calculado utilizando-se a equação (38).

$$Cc_i = 1 + \left[1 - \left(\frac{E_i}{E_{sistema}} \right) \right] \quad (38)$$

Portanto os novos valores de $CFCu_i$ e $CFOu_i$ são obtidos a partir da multiplicação destes pelo respectivo coeficiente Cc_i . Além destes, na Tabela 14 são apresentados os valores de E_i , $E_{sistema}$ e CTu conforme análise proposta. Também é mostrada a variação (%) do novo valor assumido por CTu em relação ao valor desta mesma variável considerado anteriormente.

Tabela 14 - Novos valores obtidos para CTu .

Prod.	Produt. E_i (kg/h)	Coeficiente Cc_i	$CFCu$ (R\$/unid.)	$CFOu$ (R\$/unid.)	CTu (R\$/unid.)	Variação
1	154,0	1,5	R\$ 0,70	R\$ 0,61	R\$ 4,32	11,62%
2	215,5	1,3	R\$ 0,88	R\$ 0,77	R\$ 5,95	7,40%
3	157,9	1,5	R\$ 1,56	R\$ 1,36	R\$ 9,65	11,41%
4	169,7	1,5	R\$ 3,52	R\$ 3,07	R\$ 21,69	10,79%
5	184,6	1,4	R\$ 1,17	R\$ 1,02	R\$ 7,15	10,04%
6	300,0	1,1	R\$ 1,44	R\$ 1,26	R\$ 10,94	1,61%
7	336,9	1,0	R\$ 2,06	R\$ 1,79	R\$ 16,91	-1,09%
8	404,1	0,7	R\$ 2,29	R\$ 2,00	R\$ 22,83	-6,04%
9	419,9	0,7	R\$ 4,68	R\$ 4,08	R\$ 49,10	-7,24%

$E_{sistema} = 322,0$ (kg/h)

Mesmo com as variações de CTu ilustradas na Figura 7, o desempenho operacional para o período permanece inalterado. Porém, quando os produtos 7, 8 e 9 são avaliados, observa-se uma redução em seus CTu , visto que com a utilização de uma eficiência global para apropriação dos custos, estavam subsidiando parte dos custos fixos consumidos pelos demais produtos. Desta forma, a apropriação dos custos apresenta maior racionalidade, proporcionando assim informações fidedignas para a tomada de decisão.

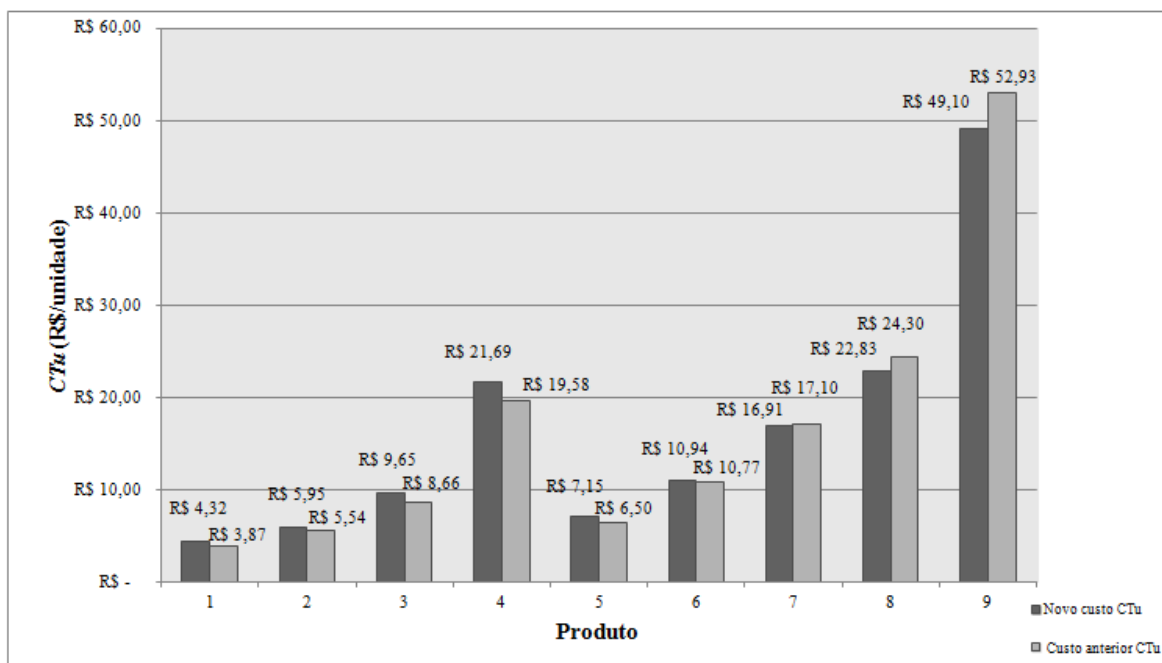


Figura 7 - Comparativo entre valores assumido pela variável *CTu*.

4.5 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a utilização de metodologias para controle de sistemas produtivos, integrando conceitos de avaliação de custos e planejamento da capacidade produtiva. O objetivo deste estudo foi evidenciar as parcelas de custos relativos à produção, bem como os custos originados pela ociosidade do sistema, investigando seus impactos no resultado final.

Para uma adequada avaliação do desempenho de um sistema produtivo é indispensável analisar os custos fixos relacionados à capacidade de produção disponível, bem como o nível de utilização desta (KUTAČ *et al.*, 2014; TAN e ALP, 2009). Neste contexto, inicialmente este estudo desenvolveu um modelo que visa estabelecer o controle do desempenho operacional do sistema produtivo, empregando a avaliação de custos aliada ao planejamento da capacidade de produção. Na sequência foi realizada a aplicação do modelo proposto em uma empresa de manufatura, contemplando um sistema de produção múltiplos produtos e múltiplas máquinas.

Os resultados obtidos neste estudo são de grande valia para a tomada decisão no que tange assuntos relacionados ao controle do desempenho operacional do sistema produtivo, pois estabelecem a relação entre a capacidade produtiva e os respectivos custos associados. Outra contribuição do modelo é a abordagem dos custos de ociosidade

separados dos custos de produção. Isto possibilita a compreensão do impacto que gera a utilização inadequada dos recursos produtivos sobre o desempenho operacional do sistema.

A aplicação do modelo também possibilitou investigar as variações, provenientes de diferentes critérios de alocação dos custos fixos de capacidade e operação, sobre a formação do custo de cada produto. Assim, com este estudo foi possível identificar formas mais racionais de apropriação dos custos, o que conduz a informações mais condizentes com a real contribuição de cada produto no desempenho operacional do sistema.

Como oportunidade de estudos futuros sugere-se a aplicação do modelo adotando diferentes classificações de custos. Outra oportunidade consiste na aplicação deste modelo em outros segmentos da indústria, caracterizando diferentes processos produtivos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. **Planejamento da capacidade produtiva na indústria plástica: uma abordagem baseada em previsão de demanda e na capacidade de produção.** Dissertação de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Produção (em avaliação), 2014.

BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos:** aplicação em empresas modernas. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CHU, H.-J.; CHANG, L.-C. Optimizing Capacity-Expansion Planning of Groundwater Supply System between Cost and Subsidence. **J. Hydrol. Eng.**, v. 15, p. 632-641, 2010.

DEIF, A. M.; ELMARAGHY, W. Effect of reconfiguration costs on planning for capacity scalability in reconfigurable manufacturing systems. **International Journal Flexible Manufacturing Systems**, v. 18, p. 225-238, 2006.

DENG, S.; YANO, C. A. Joint Production and Pricing Decisions with Setup Costs and Capacity Constraints. **Management Science**, v. 52, p. 741-756, 2006.

EIAMKANCHANALAI, S.; BANERJEE, A. Production lot sizing with variable production rate and explicit idle capacity cost. **International Journal Production Economics**, v. 59, p. 251-259, 1999.

FAYARD, D.; LEE, L. S.; LEITCH, R. A.; KETTINGER, W. J. Effect of internal cost management, information systems integration, and absorptive capacity on inter-organizational cost management in supply chains. **Accounting, Organizations and Society**, v. 37, p. 168-187, 2012.

GIRI, B. C.; MOON, I. Accounting for idle capacity cost in the scheduling of economic lot sizes. **International Journal Production Research**, v. 42 (4), p. 677-691, 2004.

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, p. 625-634, 1998.

HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M. **Contabilidade de custos**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

IWATA, Y.; WOOD, S. C. Simple Cost Models of High-Process-Mix Wafer Fabs at Different Capacities. **IEEE Transactions On Semiconductor Manufacturing**, v. 15 (2), p. 267 – 273, 2002.

JOHNSON, H. T.; KAPLAN, R. S. **Contabilidade gerencial**: a restauração da relevância da contabilidade nas empresas. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

KUTAČ, J.; JANOVSKA, K.; SAMOLEJOVA, A.; BESTA, P. Innovation of costing system in metallurgical companies. **METABK**, v. 53 (2), p. 283-285, 2014.

LI, S.; QIU, J. Models for Capacity Acquisition Decisions Considering Operational Costs. **The International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 8, p. 211-231, 1996.

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.

MARTÍN, J. C.; VOLTES-DORTA, A. The dilemma between capacity expansions and multi-airport systems: Empirical evidence from the industry's cost function. **Transportation Research**, Part E, v. 47 , p. 382–389, 2011.

MORATEWETZ, C.; SIHN, W. Model of a Decision Support System for a Least-Cost and Harmonized Capacity Adjustment in the Short- and Medium-Term Planning Horizon. **Procedia CIRP 3, 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems**, p. 20 – 25, 2012.

OSORIO, O. M. **La Capacidad de Produccion y Los Costos**. Ediciones Macchi. Buenos Aires, Argentina, 1992.

SANTOS, R. V.; SOARES, M. A.; QUEIROZ, L. M. Evidenciação do custo de capacidade e ociosidade: métodos Absorção e ABC. **Revista Fafibe On Line**, n.3, agosto, 2007.

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

SIMPSON, N. C.; ERENGUC, S. S. Modeling Multiple Stage Manufacturing Systems with Generalized Costs and Capacity Issues. **Wiley InterScience - Naval Research Logistics**, v. 52, p. 560 – 570, 2005.

SOBREIRO, V. A.; ARAÚJO, P. H. S. L; NAGANO, M. S. Aplicação de sistemas dinâmicos na previsão de custos da produção. **Rev. Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 1, n. 1, p. 27-39, 2008.

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.

WOODLOCK, P. Does It Matter How Targeted Costs are Achieved? **The Journal of Corporate Accounting e Finance**, v. 11 (3), p. 43-52, 2000.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação foram discutidos os custos de produção e o processo de previsão de demanda visando o planejamento e controle da capacidade produtiva, os quais constituem temas que possuem papel fundamental nas organizações, pois impactam diretamente no desempenho econômico das empresas. Para atingir o objetivo principal e os objetivos específicos, a dissertação foi estruturada em três artigos, sendo que o conhecimento adquirido em cada artigo foi utilizado nos desenvolvimentos subsequentes.

No primeiro artigo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica envolvendo abordagens que relacionam os custos de produção e o processo de previsão de demanda. Na sequência, foram realizadas importantes análises, as quais revelaram contribuições consideráveis, tais como: (i) identificação de significativa parcela de abordagens existentes sobre o tema proposto; (ii) classificação dos artigos avaliados em relação a sua abordagem; (iii) análise da classificação, identificando oportunidades de pesquisas futuras.

No segundo artigo, tendo em vista as constantes mudanças do mercado, principalmente pela variação da demanda, foi desenvolvido um modelo que visa auxiliar no planejamento da capacidade produtiva, através de técnicas de previsão de demanda e conceitos de capacidade de produção. Como resultado, tem-se a determinação do *mix* de produtos, ou seja, o nível de atividade prevista, que otimiza a utilização da capacidade de produção disponível. Os dados de entrada do modelo proposto são informações históricas de vendas, tempos de processamento e disponibilidade de máquinas. Logo, pode-se dizer que é um estudo de fácil aplicação e pode ser utilizado constantemente pelos tomadores de decisão, uma vez que auxilia no processo de ajuste entre demanda e capacidade.

O terceiro artigo apresentou um modelo que visa estabelecer o controle do desempenho operacional do sistema produtivo, empregando a avaliação de custos aliada ao planejamento da capacidade de produção. Inicialmente, este estudo buscou evidenciar as parcelas de custos relativos à produção, bem como evidenciar os custos originados pela ociosidade do sistema. Na sequência, são observadas as variações, entre os diferentes critérios de alocação dos custos fixos de capacidade e operação, que influenciam diretamente a formação do custo de cada produto.

A aplicação do modelo proposto, no artigo três, ocorreu em uma empresa de manufatura, que contempla um sistema de produção múltiplos produtos e múltiplas máquinas. Os resultados obtidos condizem com os esperados neste estudo, bem como

auxiliam o processo de tomada de decisão, pois estabelecem a relação entre a capacidade produtiva e os respectivos custos. O modelo também possibilitou a compreensão do impacto que gera a alocação inadequada dos recursos produtivos sobre o resultado econômico do sistema.

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível identificar sugestões para trabalhos futuros: *(i)* aplicação dos modelos de planejamento e controle propostos nesta dissertação em outros segmentos da indústria, caracterizando diferentes processos produtivos; *(ii)* a aplicação do modelo adotando diferentes classificações de custos; *(iii)* a utilização de diferentes técnicas de previsão de demanda, aliada à utilização de valores estocástico para variáveis como demanda prevista e tempo de processamento; e, *(iv)* o emprego de diferentes técnicas de simulação para realizar o cruzamento entre informações de demanda e capacidade de produção, tendo como saídas informações relacionadas ao desempenho de custos do sistema produtivo. Porém, estas abordagens devem assegurar a proposição de métodos que sejam facilmente operacionalizáveis, fornecendo informações oportunas de apoio à tomada de decisão.