

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

Thiago Leal Summchen Valentim

**PROPOSTA DE SISTEMÁTICA PARA ANÁLISE  
E GESTÃO DE CAPACIDADE DE PRODUÇÃO  
EM EMPRESAS DE MANUFATURA  
CONSIDERANDO ASPECTOS ECONÔMICOS**

Porto Alegre

2017

Thiago Leal Summchen Valentim

**Proposta de sistemática para análise e gestão de capacidade de produção em empresas de manufatura considerando aspectos econômicos**

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 (ou Profissional), na área de concentração em Sistemas de Produção (ou de Qualidade ou de Transportes).

Orientador: Francisco José Kliemann Neto,  
Dr.

Porto Alegre

2017

Thiago Leal Summchen Valentim

**Proposta de sistemática para análise e gestão de capacidade de produção em empresas de manufatura considerando aspectos econômicos**

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. Francisco José Kliemann Neto, Dr.**

Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto**

Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Professora Joana Siqueira de Souza, Dra. (PPGEP/UFRGS)

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

Professor Tiago Filomena, Dr. (PPGA/UFRGS)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Francisco José Kliemann Neto, pela sua orientação, confiança e conhecimentos passados durante o desenvolvimento deste trabalho.

À minha namorada, Elizabeth Monteiro, pela compreensão, apoio e carinho incondicionais.

Aos meus pais, Francisco e Jeanine, pelo apoio, incentivo e todas as oportunidades que me propiciaram ao longo da minha vida, e ao meu irmão Rafael, pela parceria de sempre.

Aos professores Michel, Joana e Tiago, membros da banca examinadora, por disponibilizarem seu tempo na avaliação deste trabalho e por suas valiosas contribuições.

Ao Ricardo Bastos, pela sua valiosa contribuição dada no desenvolvimento desta dissertação.

À Fernanda Teixeira, por sua amizade e muitas trocas de experiências ao longo deste processo.

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

## RESUMO

Em um mercado competitivo e dinâmico, é fundamental que os sistemas de gerenciamento da produção direcionem seu foco cada vez mais no sentido da busca pela eficiência da gestão econômica. O conhecimento da capacidade produtiva de uma empresa impulsiona a tomada de decisões na busca pela otimização do desempenho operacional e aumento da lucratividade, permitindo o correto posicionamento da empresa em relação à sua demanda e à definição das melhores formas de atendê-la. A discussão teórica sobre capacidade e seus conceitos correlatos tradicionalmente gira em torno de uma conceituação técnica, que trata sobre as restrições físicas do sistema produtivo e abrange noções de volume e tempos de produção, porém não agrega a noção do valor econômico vinculado ao esforço produtivo que o processo pode gerar. Neste contexto, o presente trabalho foca no tema da análise e gestão de capacidade produtiva. Parte-se da lacuna identificada da falta de incorporação de elementos econômicos ao contexto dos estudos sobre capacidade produtiva e da inexistência de uma sistemática estruturada para esta finalidade, que integre as visões técnica e econômica em um modelo unificado. O objetivo principal desta dissertação é a proposição de uma sistemática que apoie a análise e a gestão da capacidade de produção de uma organização, com foco em aspectos econômicos. Para tanto, fundamenta-se na utilização do método de custeio das Unidades de Esforço de Produção (UEPs) como apoio à parametrização técnica e econômica do processo produtivo, bem como no uso de Programação Linear para a modelagem matemática do problema. A sistemática é validada com sua aplicação em um estudo de caso real, e os resultados confirmam a percepção de que um modelo que integra aspectos técnicos e econômicos para a gestão da capacidade produtiva é mais aderente à realidade de uma empresa moderna, e a contraposição destes aspectos permite uma gestão mais robusta da capacidade.

Palavras-chave: Capacidade de produção. Capacidade econômica. Método das UEPs.

## **ABSTRACT**

In a competitive and dynamic market, it is imperative that the operations management systems focus increasingly on the pursuit of economic efficiency. The knowledge regarding the production capacity of a company thrusts the decision making process in the direction of operation performance optimization and the increase in profitability, allowing the company to position itself correctly facing its market and to find the correct way to meet its demand. The theoretical discussion regarding capacity and its related concepts traditionally revolves around technical definitions, that deal with physical restraints of the productive system and covers notions of volume and lead times, albeit not adding the notion of the economic value linked to the production effort the system can generate. In this context, the present work focuses on the theme of production capacity analysis and management. Starting from the identified gap of the lack of consideration of economic aspects in the context of production capacity studies and the absence of a structured model to this end, that merges the technical e economic view in a unified model. The main goal of this dissertation is to propose a systematic approach that supports an organization's production capacity management and analysis, focusing on economic aspects. To that end, it builds on the application of the Unity of Production Effort method (UPE) to support the technical and economical standardization of the productive process, as well as the use of Linear Programming in the mathematical modelling of the problem. The systematic approach is validated through its application on a real case study, and the results confirm the perception that a model that integrates technical and economic aspects to capacity management is more adherent to the reality of the modern company, and the contraposition of said aspects allow for a more robust capacity management.

**Key words:** Production capacity. Economic capacity. UEP method.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade e nível de atividade.....	25
Figura 2 - Relação de tempos produtivos. ....	26
Figura 3 - Níveis de capacidade produtiva. ....	28
Figura 4 - Níveis de capacidade produtiva. ....	29
Figura 5 - Perdas de capacidade produtiva.....	30
Figura 6 - Fatores de influência na capacidade produtiva. ....	33
Figura 7- Duas estratégias de expansão de capacidade. ....	38
Figura 8 - Métodos alternativos de planejamento de capacidade.....	42
Figura 9 - Sistemática de aplicação do método das UEPs.....	61
Figura 10 - Modelo conceitual de capacidade adotado .....	63
Figura 11 – Detalhamento da sistemática proposta para análise e gestão de capacidade ...	68
Figura 12 - Estrutura departamental da empresa estudada .....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento das operações produtivas .....	84
Tabela 2 - Definição das famílias de produtos .....	85
Tabela 3 - Roteiros produtivos de famílias dez famílias de produtos .....	86
Tabela 4 - Resumo de informações comerciais .....	87
Tabela 5 - Definição dos postos operativos (POs) .....	88
Tabela 6 - Determinação das parcelas de custos fixos e variáveis dos itens de custo dos POs .....	88
Tabela 7 - Cálculo dos FIPOs.....	89
Tabela 8 - Definição do produto-base e cálculo de seu foto-custo.....	90
Tabela 9 - Cálculo dos potenciais produtivos em UEPs.....	91
Tabela 10 - Equivalentes em UEPs de 10 famílias de produtos.....	91
Tabela 11 - Análise comparativa dos resultados do modelo de otimização.....	94
Tabela 12 - Cálculo de capacidades da empresa estudada .....	96
Tabela 13 - Capacidades produtivas por PO .....	98
Tabela 14 - Indicadores de desempenho.....	99
Tabela 15 - Análise econômica de perdas .....	104
Tabela 16 - Resumo dos resultados considerando a utilização de horas extras .....	105
Tabela 17 - Definição de metas para os indicadores .....	107
Tabela 18 - Resultado da função objetivo da capacidade técnica .....	120
Tabela 19 - Variáveis de resposta do problema de capacidade técnica.....	121
Tabela 20 - Restrições do problema de capacidade técnica .....	121
Tabela 21 - Resultado da função objetivo da capacidade econômica .....	122
Tabela 22 - Variáveis de resposta do problema de capacidade econômica.....	123
Tabela 23 - Restrições do problema de capacidade econômica .....	124
Tabela 24 - Resultados consolidados do problema de capacidade técnica.....	125
Tabela 25 - Resultados consolidados do problema de capacidade econômica.....	126



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes níveis decisórios sobre capacidade produtiva.....	36
Quadro 2- Capacidades, <i>gaps</i> e tempos relacionados. ....	65
Quadro 3 - Equações do modelo matemático proposto.....	75
Quadro 4 - Ações de melhoria sugeridas.....	107

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1. Tema e objetivos .....	15
1.2. Justificativa do tema .....	16
1.3. Método .....	18
1.3.1. Método de pesquisa .....	18
1.3.2. Método de Trabalho.....	19
1.4. Delimitações do trabalho .....	20
1.5. Estrutura do trabalho.....	20
<b>2. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
2.1. Definições de capacidade.....	23
2.2. Modelos conceituais de capacidade .....	24
2.3. Fatores que influenciam no dimensionamento da capacidade .....	31
2.4. Planejamento de Capacidade .....	34
2.4.1. Planejamento de longo prazo.....	35
2.4.2. Planejamento de médio e curto prazos .....	38
2.4.3. Sistemas de planejamento de capacidade .....	41
2.3.2. A capacidade de produção e a Teoria das Restrições.....	43
2.5. Capacidade Econômica .....	45
2.5.1. Abordagens alternativas para a identificação da capacidade econômica .....	46
2.5.2. DEA e Capacidade produtiva .....	48
2.6. Considerações finais sobre capacidade produtiva.....	50
<b>3. O MÉTODO DAS UNIDADES DE ESFORÇO DE PRODUÇÃO (UEPs) ..</b>	<b>52</b>
3.1. O Método das UEPs: características e conceitos principais .....	53
3.2. A UEP na prática: vantagens e limitações.....	55
3.3. Sistemática de aplicação do método das UEPs .....	59

<b>4. PROPOSTA DE SISTEMÁTICA DE APOIO À ANÁLISE E GESTÃO DE CAPACIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>62</b>
4.1. Sistemática proposta .....	67
4.2. Fase de compreensão do cenário.....	69
4.3. Fase de levantamento de dados.....	69
4.4. Fase de parametrização do processo .....	70
4.4.1. Implantação do método das UEPs .....	70
4.4.2. Modelagem matemática para otimização .....	72
4.5. Fase de aplicação e análise .....	76
4.5.1. Aplicação do modelo matemático .....	76
4.5.2. Análise e gestão da capacidade .....	76
4.6. Fase de consolidação da sistemática .....	80
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>
5.1. Fase de compreensão do cenário.....	81
5.2. Fase de levantamento de dados.....	84
5.3. Fase de parametrização do processo .....	87
5.4. Fase de aplicação e análise .....	93
5.4.1. Aplicação do modelo e resumo dos resultados.....	93
5.4.2. Análise e discussão dos resultados .....	100
5.4.3. Proposição de melhorias ao processo .....	105
5.5. Fase de consolidação da sistemática .....	108
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>110</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO I – Modelagem matemática por programação linear e resultados .....</b>	<b>120</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O atual ambiente de competição global apresenta diversos desafios para as empresas industriais, como melhoria da qualidade, administração adequada dos recursos produtivos, crescente necessidade de tecnologia avançada, diminuição dos custos unitários de produção e uma demanda cada vez mais específica e exigente. Este nível de competição, associado à alta dinâmica das necessidades de mercado, leva as empresas a ampliarem seu portfólio de produtos de forma a atender diferentes segmentos de mercado, gerando dificuldades significativas no nivelamento entre demanda e capacidade (YU et al., 2015). Neste contexto, impõe-se a busca constante por padrões de desempenho operacional que assegurem índices de rentabilidade favoráveis à consolidação do negócio (ZHANG et al., 2012).

Para o atendimento desta demanda crescente e qualificada, e buscando reduzir custos operacionais, muitas empresas de manufatura se veem impelidas a transformar continuamente seus processos, no intuito de otimizar a utilização de sua capacidade produtiva (BITTENCOURT, 2010, ZHANG et al., 2012). Segundo Wilker (2011), determinar o nível ótimo de produção para atender à demanda é fundamental para uma administração da produção eficiente, e o desequilíbrio entre a capacidade e a demanda pode trazer consequências econômicas negativas. O desafio encontra-se em harmonizar os dois ao menor custo possível (ALMEIDA, 2014). Para tanto, destaca-se a importância de se compreender os conceitos que abrangem a gestão da capacidade produtiva de uma empresa.

O conceito de capacidade não é um tema novo no contexto de empresas de manufatura, e vem sendo estudado por diversos acadêmicos das áreas de economia e gestão de operações, estando diretamente associado à utilização que se faz da estrutura de produção da empresa. A capacidade e seus conceitos relacionados, como dimensionamento, utilização, planejamento e gestão já foram amplamente discutidos no passado e permanecem conceitos importantes no presente, dado seu impacto considerável

na gestão de recursos de uma empresa (KUMRU, 2011). A literatura reconhece que a conceituação de capacidade é ambígua, e não existe uma única interpretação teórica sobre o assunto, mas sim uma diversidade de técnicas e formas empíricas de medição (FEIJÓ, 2006).

Corrêa e Corrêa (2012) afirmam que capacidade é o volume máximo de atividade de agregação de valor que pode ser atingido por uma unidade produtiva em condições normais de operação. Dadas as restrições técnicas impostas pelo processo produtivo, a capacidade pode ser medida, essencialmente, de duas formas: pelo volume de produção atingível (por exemplo, toneladas de resina produzidas por uma petroquímica), adequado a empresas com produção padronizada e repetitiva; ou pelo volume de insumos disponíveis para processar os produtos (por exemplo, horas de processamento de torno em um setor de usinagem), mais adequado a situações em que muitos produtos diferentes compartilham uma mesma estrutura de produção.

Slack et al. (2009) identificam três níveis conceituais relacionados à capacidade produtiva: (i) capacidade teórica ou de projeto, referente à capacidade máxima de um sistema em condições ideais de produção; (ii) capacidade efetiva, a qual refere-se à capacidade efetivamente disponível para a realização de trabalho, descontadas as perdas normais ou planejadas e (iii) volume real de produção, cuja diferença em relação à capacidade efetiva é resultado da ocorrência de perdas não planejadas. Krajewski et al. (2009) identificam o pico de capacidade como a máxima produção que um processo ou instalação pode atingir em condições ideais, enquanto a capacidade efetiva é aquela que a empresa consegue manter para atender à demanda e em condições de trabalho normais.

Dada a estrutura física disponível, um processo produtivo possui uma série de restrições, tanto internas quanto externas, que o impedem de obter sua máxima ocupação ao longo do tempo. Fatores como os turnos de produção em que a empresa opera, disponibilidade de recursos humanos e equipamentos, *mix* produtivo, paradas para manutenções preventivas e corretivas, perdas por qualidade e demais perdas operacionais levam à subutilização da estrutura produtiva, resultando em diferentes níveis de capacidade. A literatura apresenta diversos métodos desenvolvidos para tratar problemas de capacidade, dos mais simples aos mais complexos. A maior parte destes estudos têm em comum a utilização do tempo de processamento como fator determinante para a definição da capacidade (KUMRU, 2011).

Uma breve revisão dos trabalhos de autores de destaque nacional e internacional no campo da Administração da Produção revela que a discussão sobre capacidade produtiva e seus conceitos correlatos tradicionalmente gira em torno de uma conceituação técnica, e estes trabalhos parecem diferir entre si mais por conta da preferência de cada autor, mas não tanto por diferenças fundamentais na teoria subjacente (GAITHER e FRAZIER, 2004; CHASE et al., 2006; MOREIRA, 2008; SCHROEDER, 2008; KRAJESKI et al., 2009; SLACK et al., 2009; CORRÊA e CORRÊA, 2012). Estes textos usualmente convergem para uma conceituação física que abrange noções de volume e tempos de produção, porém não agregam a noção do valor econômico vinculado ao esforço de produção que o processo pode gerar.

Entretanto, alguns estudos sugerem que a definição de capacidade pode ser dividida em dois grupos: (i) definição física, que considera questões puramente técnicas e de engenharia, e (ii) definição econômica, que incorpora aspectos de interação ativa da empresa com o ambiente econômico, na forma de variáveis como custo de produção, margens de contribuição, lucratividade e comportamento de demanda, ou mesmo aspectos sobre avaliação econômica de investimentos no dimensionamento de capacidade produtiva (COELLI et al., 2002; FEIJÓ, 2006; PASCOE e TINGLEY, 2006; BITTENCOURT, 2010).

Snead et al. (2010) e Silva e Leite (2013) apontam para a relação existente entre capacidade produtiva e custos operacionais, e afirmam que operar com uma capacidade diferente das necessidades de mercado representa um aumento não justificado destes custos e a conseqüente diminuição dos lucros. Percebe-se uma relação entre capacidade e certos aspectos econômicos da produção que necessita ser abordada de forma mais aprofundada pela literatura acadêmica, a qual apresenta uma lacuna neste sentido.

A priorização da capacidade econômica sobre a técnica justifica-se, a partir do momento em que percebe-se que os elementos que compõem a capacidade produtiva de uma organização não possuem o mesmo valor econômico. Os diferentes recursos de um sistema produtivo possuem características e custos operacionais distintos, e agregam valor aos produtos de forma desigual. Ademais, para além das restrições técnicas e físicas o próprio mercado impõe restrições à capacidade da organização na medida em que absorve os seus produtos diferentemente. Assim como de nada adianta ter uma produção direcionada às vontades do mercado, porém ineficiente, não é interessante ter um processo produtivo

eficiente e tecnicamente correto dispendendo esforços na geração de produtos que o mercado não irá absorver.

Portanto, a discussão sobre capacidade produtiva deve transcender as questões puramente técnicas e incorporar questões econômicas e, neste movimento, ampliar seu foco na direção de uma discussão mais abrangente sobre gestão de capacidade. Neste contexto, busca-se não somente a visão estática da análise e dimensionamento de capacidade, mas também a visão dinâmica da gestão, que observa a relação existente entre os recursos produtivos e sua interação com o ambiente econômico, e parte de uma análise setorializada para compor um panorama global da empresa, propondo índices de controle que explorem a relação entre seus diferentes níveis de capacidade, e impulsionem tomadas de decisão estratégicas. Esta mudança de foco se justifica na medida em que as empresas devem planejar sua capacidade de forma a melhor atender o mercado, buscando a minimização dos custos operacionais e a maximização dos lucros.

### **1.1. Tema e objetivos**

O tema central desta dissertação diz respeito à avaliação e gestão da capacidade de produção em empresas de manufatura, com foco em aspectos econômicos. Para tanto, este tema se desdobra nos seguintes assuntos: *(i)* capacidade produtiva, suas definições, seu dimensionamento, utilização, planejamento e gestão; *(ii)* a utilização de um método de parametrização econômica de processos produtivos, no caso deste trabalho, o método de custeio das Unidades de Esforço de Produção (UEPs); e *(iii)* a utilização de programação linear como ferramenta de apoio à modelagem de restrições internas e mercadológicas.

Neste sentido, o trabalho integra conceitos de gestão da produção, custos de produção e pesquisa operacional. O objetivo principal desta dissertação é a proposição de uma sistemática que apoie a análise e a gestão da capacidade de produção de uma organização. Como objetivos secundários, o trabalho se propõe a *(i)* revisar conceitos teóricos sobre capacidade produtiva, de forma a propor um modelo de análise de capacidade que integre conceitos técnicos e econômicos; *(ii)* ampliar a discussão acadêmica sobre o método das UEPs, contribuir com seu desenvolvimento teórico e avaliar sua adequação na parametrização de processos produtivos para a gestão de capacidade produtiva, e *(iii)* validar a sistemática proposta a partir de um estudo de caso.

## 1.2. Justificativa do tema

O principal propósito deste trabalho é contribuir à melhor compreensão de um conteúdo que se mostra complexo e caracterizado pela falta de uma conceituação universal compartilhada. Diversos estudos transitam desde uma abordagem microeconômica, baseada em alocações ótimas de recursos, passando pelo dimensionamento de sistemas com ênfase em aspectos de engenharia, até questões de gestão (GRANDO e TURCO, 2005). Um dos desafios mais significativos que as organizações enfrentam atualmente é a necessidade de adequar a capacidade produtiva com a demanda em um ambiente industrial (JACK e POWERS, 2009). Para Pacheco et al. (2012), a habilidade de dimensionar, controlar e gerenciar a capacidade é essencial para uma administração eficaz da produção. As decisões sobre capacidade se dão em níveis tanto estratégico quanto tático e operacional, refletindo horizontes de planejamento de longo, médio e curto prazos (MARTINEZ-COSTA, 2014).

Hayes et al. (2008) argumentam que medir a capacidade de sistemas produtivos é uma tarefa complexa, devido à ação da variabilidade por conta de diversos fatores, entre os quais: políticas da empresa, confiabilidade de fornecedores e equipamentos, taxas de produção e o impacto de fatores humanos. Slack et al. (2009) defendem, ainda, que um correto processo de planejamento e controle da capacidade produtiva pode ter impacto positivo em diversos aspectos da gestão e dos resultados da empresa, como: custos, receitas, capital de giro, qualidade, velocidade, confiabilidade e flexibilidade.

O grau de dificuldade na gestão de capacidade produtiva é ampliado em empresas cujo processo produtivo é complexo e heterogêneo, com *mix* produtivos diversificados. Dada uma determinada estrutura produtiva fixa, sua capacidade teórica nunca será alcançada, devido a circunstâncias, evitáveis ou não, que levam à ocorrência de perdas no processo. A literatura aponta para um *framework* com diferentes níveis de capacidade, que abrangem estas perdas e contrapõem a capacidade teórica com a disponibilidade real da estrutura para a transformação de matérias-primas em produtos manufaturados. Percebe-se que mesmo a disponibilidade efetiva do processo pode não ser utilizada no seu máximo, dado que a capacidade de uma empresa é restrita não somente por circunstâncias operacionais, técnicas e trabalhistas mas, também, pelo próprio *mix* de produtos, e pela forma como este *mix* se utiliza dos esforços produtivos gerados nos diferentes recursos do processo de fabricação.



Conforme exposto anteriormente, a discussão sobre capacidade produtiva tradicionalmente restringe-se aos seus aspectos puramente técnicos. Entretanto, a utilização ótima da estrutura de produção disponível deve considerar, também, a maximização da margem de contribuição e, conseqüentemente, da lucratividade que o *mix* de produtos da empresa traz, dada a sua utilização da estrutura produtiva, bem como a relação da empresa com o mercado e sua demanda, que se vinculam a aspectos econômicos associados à produção. A este conceito pretende-se chamar de capacidade econômica de produção.

Este trabalho, portanto, parte do problema de pesquisa da falta de incorporação de elementos econômicos a uma visão mais ampla de capacidade e da inexistência de uma sistemática estruturada para esta finalidade, que integre as visões técnica e econômica em um modelo unificado, e apoie a identificação de desajustes entre as capacidades, no todo ou em partes, ou seja, que faça a gestão da capacidade econômica da organização. Identifica-se espaço na literatura acadêmica para ampliar e aprofundar esta discussão.

Coelli et al. (2002), Feijó (2006) e Sahoo e Tone (2009) discutem os conceitos econômicos de capacidade e a relação entre utilização de capacidade produtiva e lucratividade. Os autores concluem que grande parte da diferença entre os lucros previstos e realizados das empresas se deve por mau uso da capacidade, destacando a sua importância no resultado econômico das organizações. Adicionalmente, nota-se que o custo total de produção de uma empresa de manufatura depende, fundamentalmente, da utilização da capacidade de suas unidades produtivas, a qual é o produto de decisões sobre o dimensionamento de suas capacidades e da distribuição de produção entre elas. Não obstante, a demanda de mercado governa a quantidade total produzida; logo, pode-se afirmar que a demanda de mercado, a capacidade e a quantidade produzida determinam o custo total de produção de uma empresa de manufatura (HSU e LI, 2009).

Percebe-se, através da pesquisa na literatura, uma lacuna de conhecimento, em que o conceito de capacidade econômica não está claramente definido e delimitado. Alguns estudos abordam a questão incorporando aspectos econômicos a modelos de programação matemática, usualmente buscando a maximização do lucro ou minimização dos custos, dadas certas restrições em alguma situação específica, porém não se preocupam em conceituar o assunto com maior rigor, permanecendo apenas no campo da análise e dimensionamento de capacidade (CHEN et al., 2009; HO e FANG, 2013). Em especial, uma ferramenta de programação matemática não-linear, chamada *Data Envelopment Analysis* (DEA), é utilizada

pela literatura na discussão de conceitos econômicos de capacidade em recorrentes estudos. Entretanto, mesmo esta ferramenta, ao realizar o envelopamento de dados a partir de uma referência eficiente, desenvolve uma análise macro do problema da capacidade, porém não aborda a sua gestão. Assim, percebe-se um espaço para o desenvolvimento de estudos que se utilizem de outras ferramentas ou métodos matemáticos no apoio à análise e gestão de capacidade econômica.

No intuito de discutir este conceito e sua aplicação prática, faz-se necessária a utilização de uma métrica que permita parametrizar economicamente os componentes do processo produtivo, através de uma metodologia de apoio que gere índices econômicos, mas que não esteja diretamente associada à própria definição de capacidade. Desta forma, busca-se a utilização do método de custeio das Unidades de Esforço de Produção (UEPs) que, conforme será apresentado na sequência do trabalho, se configura em um método que busca unificar a produção através de uma unidade padrão e que busca a parametrização econômica de processos produtivos através desta unidade, apresentando-se, assim, como uma potencial ferramenta a ser utilizada na análise e gestão de capacidade produtiva. Este método facilita a discussão por possuir parâmetros tanto técnicos quanto econômicos em sua lógica de cálculo, tratando não somente das horas produtivas, mas, também, fornecendo a elas um padrão de valor econômico.

Assim, justifica-se a escolha do tema, dada a importância que ele assume em relação ao desempenho operacional das organizações e a necessidade de se levar em conta aspectos econômicos no estudo sobre capacidade.

### **1.3. Método**

Neste tópico, são discutidos o método de pesquisa utilizado, bem como os procedimentos operacionais (método de trabalho) seguidos.

#### **1.3.1. Método de pesquisa**

Quanto à sua natureza, pode-se classificar este trabalho como uma pesquisa aplicada. Segundo Silva e Menezes (2001), este tipo de pesquisa visa desenvolver o conhecimento para uma aplicação prática e é voltado para a solução de problemas específicos.

Seguindo as definições dos autores, a abordagem da presente pesquisa pode ser classificada tanto como qualitativa quanto quantitativa, tendo em vista que se utiliza de conceitos teóricos e qualitativos para o desenvolvimento da sistemática, a qual busca quantificar informações para análise e classificação.

Para Gil (2008), uma pesquisa pode ser classificada quanto aos seus objetivos gerais. Desta forma, este trabalho classifica-se como uma pesquisa exploratória, pois tem o objetivo de obter maior familiaridade com o problema estudado, ao mesmo tempo em que busca construir uma solução possível ao problema, mediante uma proposição que pode ser submetida a comprovação em um ou mais ambientes. Por fim, o procedimento adotado é o de estudo de caso, o qual é definido por Gil (2008) como um profundo e exaustivo estudo de um ou mais objetivos, possibilitando a construção de um amplo conhecimento.

### **1.3.2. Método de Trabalho**

Esta dissertação foi desenvolvida a partir da realização de quatro etapas principais. A primeira etapa refere-se à revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes ao tema trabalhado. O primeiro assunto discutido trata sobre capacidade de produção, abordando conceitos básicos, formas de medição e dimensionamento, o planejamento de capacidade em seus diferentes níveis decisórios e horizontes de tempo, medição e utilização de capacidade, definições técnicas e econômicas de capacidade, e trabalhos que abordam a incorporação de elementos econômicos ao escopo do estudo sobre capacidade.

O segundo assunto discutido diz respeito ao método de custeio das Unidades de Esforço de Produção (UEPs), o qual é utilizado neste trabalho como uma metodologia de parametrização econômica dos elementos do processo produtivo, servindo de base para definição da capacidade econômica proposta. São apresentados conceitos básicos do método, bem como uma sistemática para sua implementação e uma discussão sobre sua aplicação prática, a partir dos resultados de trabalhos acadêmicos.

A segunda etapa da dissertação refere-se à proposta de uma sistemática para apoiar a análise e gestão da capacidade econômica de produção de empresas de manufatura. Esta sistemática abrange conceitos tradicionais da literatura, e apoia-se na parametrização econômica do processo, com o apoio da ferramenta de programação linear, para propor uma análise de capacidade produtiva.

A terceira etapa se dá através da validação desta sistemática a partir de sua aplicação prática, com um estudo de caso realizado em uma empresa que produz e comercializa equipamentos e instrumentos de medição para as áreas técnica e de saúde. Por fim, a última etapa constitui-se da análise crítica dos resultados obtidos com a aplicação da sistemática passo-a-passo, discussões a respeito da metodologia proposta e conclusões gerais sobre o trabalho.

#### **1.4.Delimitações do trabalho**

Este trabalho possui algumas limitações que devem ser apontadas para a sua correta interpretação e sugestão de possíveis pesquisas futuras. Em primeiro lugar, a validação da sistemática proposta ocorre com a sua aplicação em apenas um estudo de caso, isto é, restringe-se a uma realidade produtiva com características específicas. Em segundo lugar, cita-se a utilização da programação linear como ferramenta de apoio à modelagem matemática do problema em questão. Ainda que se justifique o uso desta ferramenta por sua ampla difusão e aceitação na literatura, bem como sua facilidade de interpretação, reconhece-se que ela pressupõe relações lineares entre as variáveis envolvidas, o que pode não representar com a máxima precisão as relações que de fato ocorrem na realidade. Por fim, as limitações de mercado utilizadas na modelagem da capacidade econômica são baseadas em dados de demanda da empresa, não em um estudo de mercado, logo, ainda que os dados da empresa tenham sido flexibilizados para projetar um crescimento de demanda em relação ao nível atual de produção, estes limites podem estar subestimados, uma vez que a utilização de dados históricos da empresa para projetar uma demanda futura pode esconder uma demanda latente do mercado que empresa não enxerga ou simplesmente não atende no momento.

#### **1.5.Estrutura do trabalho**

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma contextualização geral do problema de pesquisa e a apresentação do tema, abordando os objetivos gerais e específicos do trabalho, as justificativas para a abordagem deste tema, bem como os métodos de pesquisa e de trabalho a serem adotados na dissertação, seus limites de escopo e sua estruturação geral. O segundo e terceiro capítulos apresentam, respectivamente, a revisão teórica dos dois assuntos principais pertinentes ao tema da

dissertação: (i) capacidade de produção, com a apresentação da conceituação teórica sobre capacidade e conceitos complementares e (ii) método das Unidades de Esforço de Produção, com sua metodologia de aplicação, bem como resultados de estudos sobre o assunto.

No terceiro capítulo é apresentada a proposta de uma sistemática de apoio ao dimensionamento da capacidade econômica de produção de empresas de manufatura e sua integração a um contexto mais amplo de análise de capacidade, bem como os procedimentos para sua efetiva aplicação. São apresentadas e discutidas em detalhe as etapas da metodologia proposta, as informações necessárias e os resultados esperados.

No quarto capítulo é apresentada a aplicação da sistemática proposta na empresa escolhida para estudo. São analisados e discutidos os principais resultados obtidos. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões e comentários finais sobre o trabalho, discutindo-se as principais vantagens e desvantagens associadas à utilização da sistemática proposta, e apontando para possíveis deficiências do processo de implantação, bem como pontos de melhoria e sugestões de desdobramentos deste trabalho em pesquisas futuras.

## **2. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO**

Este capítulo tem por objetivo apresentar a primeira parte do referencial teórico do trabalho, expondo a base conceitual sobre o tema central da metodologia proposta: capacidade produtiva. Para tanto, a seção inicia com uma discussão conceitual a respeito do assunto, abordando conceitos básicos, e dando ênfase a tópicos como modelos de capacidade, seu dimensionamento, planejamento e gestão, bem como a aplicação de programação matemática na modelagem de problemas de capacidade.

Um dos desafios mais significativos que as empresas de manufatura enfrentam hoje é a adequação da demanda com a capacidade em um ambiente industrial, ao menor custo possível (JACK & POWERS, 2009). A capacidade de um sistema de produção define os limites competitivos da empresa e determina seu potencial de atividade produtiva, influenciando na resposta dada ao mercado, na composição de sua força de trabalho, sua estratégia de estoques, sua estrutura de custos, entre outros aspectos. Determinar o nível ótimo de produção necessário para atender à demanda do mercado é fundamental para a administração eficiente e eficaz de uma organização, e o desequilíbrio entre estas variáveis pode trazer consequências econômicas negativas.

Medir a capacidade de sistemas produtivos é uma tarefa complexa, devido à ação de diversos fatores associados à variabilidade, como a confiabilidade de fornecedores e equipamentos, políticas da empresa e o impacto de fatores humanos (HAYES et al., 2008). Esta complexidade é maximizada na medida em que se analisa conjuntamente fatores que impactam na performance do sistema produtivo, como força de trabalho, máquinas e materiais, cuja interação se sobrepõe ao seu efeito isolado ao longo de todo processo de aquisição, produção e vendas.

As decisões a respeito de capacidade produtiva, enquanto claramente relacionadas a operações, também são definitivamente estratégicas, tendo em vista que afetam uma porção extensa do negócio e são difíceis de mudar no curto prazo. As

consequências de uma tomada de decisão errada neste caso são quase sempre sérias e, por vezes, fatais ao desenvolvimento competitivo das organizações (GRANDO e CIGOLINI, 2007). Capacidade em excesso pode levar à subutilização de recursos e elevação dos custos operacionais. Por outro lado, falta de capacidade limita o potencial da operação de atender à demanda e, conseqüentemente, gerar receitas. Logo, é fundamental o conhecimento do nível de capacidade produtiva da organização, bem como o seu correto planejamento e gestão.

## 2.1. Definições de capacidade

O uso mais comum da palavra *capacidade* remete ao seu sentido estático, descrevendo um volume fixo que dimensiona a escala de uma operação. No entanto, a capacidade de processamento de uma operação ou conjunto de operações pressupõe a utilização da variável *tempo*. Uma das primeiras discussões a respeito do assunto é proposta por Gold (1955, p.103), que afirma que as estimativas de capacidade tomam duas formas: (i) uma estimativa da quantidade total que pode ser produzida de um determinado item, ou (ii) uma estimativa de capacidade composta que abrange uma série específica de produtos, ambas podendo ser expressas em termos puramente físicos de volume. Johansen (1968) define a capacidade, de forma similar, como a máxima quantidade que pode ser produzida por unidade de tempo com a estrutura e equipamentos disponíveis, dados fatores variáveis de produção ilimitados.

A área de Administração da Produção regularmente estuda conceitos relacionados à capacidade produtiva. Slack et al. (2009) a definem como o máximo nível de atividade de valor adicionado que um processo é capaz de realizar, sob condições de operação consideradas normais, em um período de tempo determinado.

Da mesma forma, outros autores da área a definem como o ritmo máximo de produção de um processo ou, ainda, como a quantidade máxima de produtos e/ou serviços que podem ser produzidos em um determinado período de tempo (KRAJEWSKI et al., 2009; OLHAGER e JOHANSSON, 2012). Estes autores convergem para a ideia de que a capacidade é o maior nível de produção que uma empresa pode manter dentro de uma estrutura de programação de trabalho realista, levando em conta um período de inatividade normal e supondo uma disponibilidade suficiente de entradas para operar os equipamentos existentes.

Kumru (2011) apresenta quatro conceitos distintos relacionados à capacidade produtiva. A determinação de capacidade pode ser definida como a decisão sobre o nível de capacidade em que a empresa vai operar nas condições de trabalho atuais. A utilização de capacidade, por outro lado, é definida como uma razão entre o atual nível de produção e um nível de produção máximo sustentável. Ambos os conceitos se traduzem no estágio inicial de outros dois conceitos mais amplos que atuam em um nível estratégico/tático, o planejamento e a gestão de capacidade, que lidam com a determinação da capacidade necessária e sua utilização ótima tanto no presente quanto no futuro.

A decisão sobre a operação de um sistema produtivo a uma determinada taxa de ocupação pressupõe um conhecimento sobre a sua capacidade de operação máxima. Esta estimativa depende, fundamentalmente, de condições idealizadas a respeito do processo quando no seu desempenho ideal, e atua como um importante balizador no projeto de um sistema produtivo e no planejamento e gestão de sua capacidade (FEIJÓ, 2006).

Da mesma forma, a definição dos diferentes níveis de capacidade que podem ser calculados auxiliam a boa gestão da produção, por meio de informações confiáveis a respeito do dimensionamento e possível flexibilização da capacidade produtiva atual. A medição em múltiplos níveis também contribui para análises pontuais e globais das perdas do sistema e apoia a definição de planos de melhoria para a gestão da capacidade (GRANDO e CIGOLINI, 2007). A literatura apresenta diferentes modelos de capacidade produtiva, em um contexto operacional, bem como define as perdas relacionadas a cada nível.

## **2.2. Modelos conceituais de capacidade**

Osorio (1992) distingue os conceitos de capacidade e nível de atividade, classificando o segundo como condicionado ao primeiro. Para o autor, capacidade é a competência de um processo de gerar bens ou serviços através de qualquer função que implique em adição de valor ou utilidade. Hornegren et al. (2000) convergem para a mesma definição, e os autores apresentam os conceitos de capacidade máxima teórica ( $Q_t$ ) e capacidade máxima prática ( $Q_m$ ). A primeira é definida como a produção possível de ser alcançada por uma planta ou setor, em um período de tempo fixo, trabalhando 100% do tempo total disponível em condições de máxima eficiência, enquanto a segunda representa a



produção máxima possível, subtraindo-se as interrupções consideradas normais, como manutenção preventiva, feriados e preparação de equipamentos.

Quanto ao nível de atividade, é definido como o grau de uso desta capacidade, dependendo de decisões externas impostas ao sistema. Este último conceito pode, ainda, ser discriminado entre nível de atividade prevista (N<sub>Ap</sub>), definido como o grau de utilização previsto do potencial produtivo disponível, e nível de atividade real (N<sub>Ar</sub>), o qual representa o desempenho real ocorrido (ALMEIDA, 2014). A Figura 1 ilustra estes conceitos.

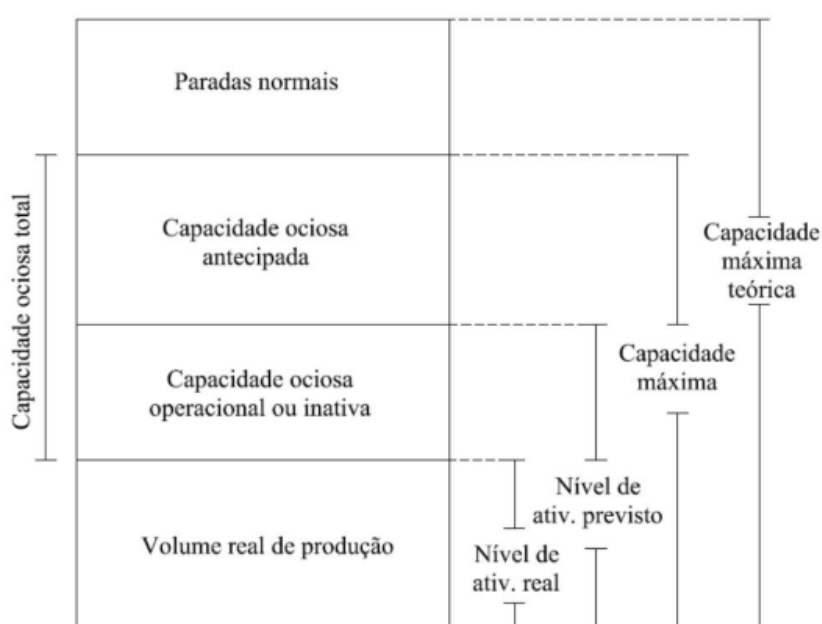


Figura 1 - Capacidade e nível de atividade.

Fonte: Adaptado de Osório (1992, apud Almeida, 2014).

O autor afirma que o fator condicionante para se determinar a capacidade de um sistema é o tempo, e distingue as definições de tempo cronológico, disponível e efetivo, e suas relações. O tempo cronológico, na concepção do autor, é o tempo total disponível para trabalho, que corresponde a um intervalo contínuo entre dois momentos, sem nenhuma interrupção, medido em unidades convenientes (horas, dias, meses). Por sua vez, o tempo disponível desconsidera os tempos não utilizados por conta de paradas normais ou inevitáveis, sejam elas por razões legais ou técnicas. Por fim, define-se o tempo efetivo como o período

em que os recursos produtivos possam de fato trabalhar na transformação de matérias-primas em produtos finais. A Figura 2 apresenta estas relações.

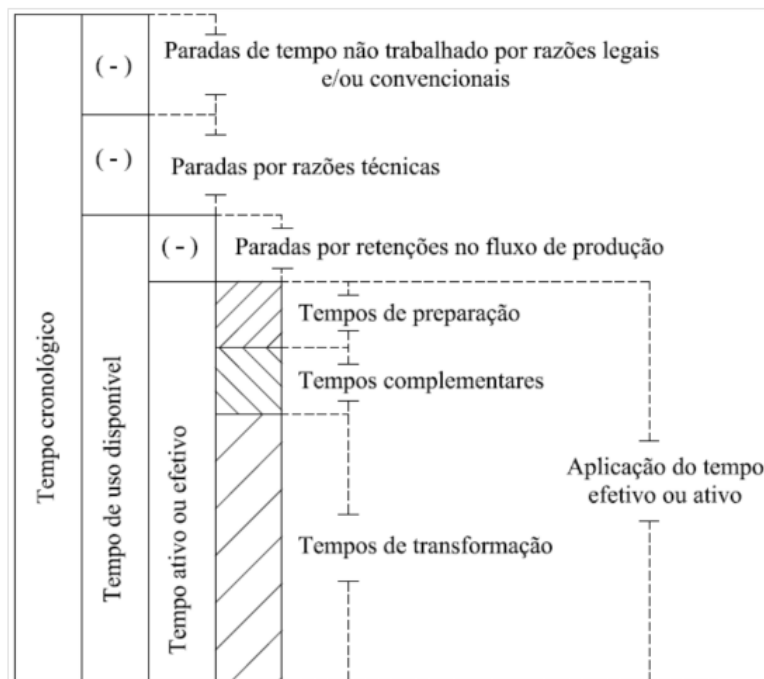


Figura 2 - Relação de tempos produtivos.

Fonte: Adaptado de Osório (1992, apud Almeida, 2014)

Krajewski et al. (2009) definem o pico de capacidade como a máxima produção que um processo ou instalação pode atingir em condições ideais. Entretanto, atender à demanda trabalhando neste pico é uma situação insustentável, pela necessidade de se recorrer a recursos marginais de produção como horas extras e subcontratação ou contratação de pessoal em excesso, levando à operação em ‘deseconomia de escala’ (aumento dos custos e diminuição da qualidade em virtude do alto volume). A capacidade efetiva, por outro lado, é aquela que a empresa consegue manter para atender à demanda economicamente e em condições de trabalho normais. Os autores afirmam, ainda, que ao operar próximo à capacidade de pico, a empresa não garante maximização de lucros, podendo inclusive obter lucro mínimo ou negativo, apesar do volume elevado.

Slack et al. (2009) apresentam um modelo com três níveis de capacidade: teórica, efetiva e realizada. A capacidade teórica (ou de projeto) refere-se à capacidade

máxima de um sistema produtivo numa jornada de trabalho normal, sem considerar as perdas envolvidas. A capacidade efetiva é definida como a teórica subtraída de perdas planejadas, como *setups* para mudança de *mix*, manutenções preventivas, trocas de turnos, intervalos de operações e dificuldades técnicas de operação. Por fim, o volume real de produção é o nível de produção efetivamente realizado em determinado período. Sua diferença em relação à capacidade efetiva é o resultado da ocorrência de perdas não planejadas, como falta de matéria-prima/funcionários/energia, deficiências de qualidade, manutenção corretiva e absenteísmo.

Desta forma, define-se um modelo de capacidade em diferentes níveis, com a identificação das perdas que os justificam. No entanto, a discussão sobre capacidade produtiva, e em especial a sua gestão, impõe sempre o paralelismo com índices de eficiência, que apontem para as perdas e resíduos não utilizados. Na gestão de capacidade de instalações, estas perdas são representadas pelos fatores ‘redutores’ de capacidade nominal, que restringem o máximo *output* do sistema. A literatura apresenta dois índices principais, a Eficiência e a Utilização. Slack et al. (2009) propõem as seguintes definições:

- **Índice de Eficiência:** indica a eficiência do sistema na realização das operações programadas, e é calculado de acordo com a Fórmula 1.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Volume de produção real}}{\text{Capacidade efetiva}} \quad (1)$$

- **Índice de Utilização:** demonstra a proporção de uso da capacidade teórica que pode ser empregada na produção de bens ou serviços de valor agregado. Sua importância se justifica pelo argumento do custo de oportunidade, em que todo tempo de produção perdido representa uma perda de lucro potencial. Este índice pode ser calculado de acordo com a Fórmula 2.

$$\text{Utilização} = \frac{\text{Volume de produção real}}{\text{Capacidade de projeto}} \quad (2)$$

A Figura 3 ilustra estas definições e suas relações.

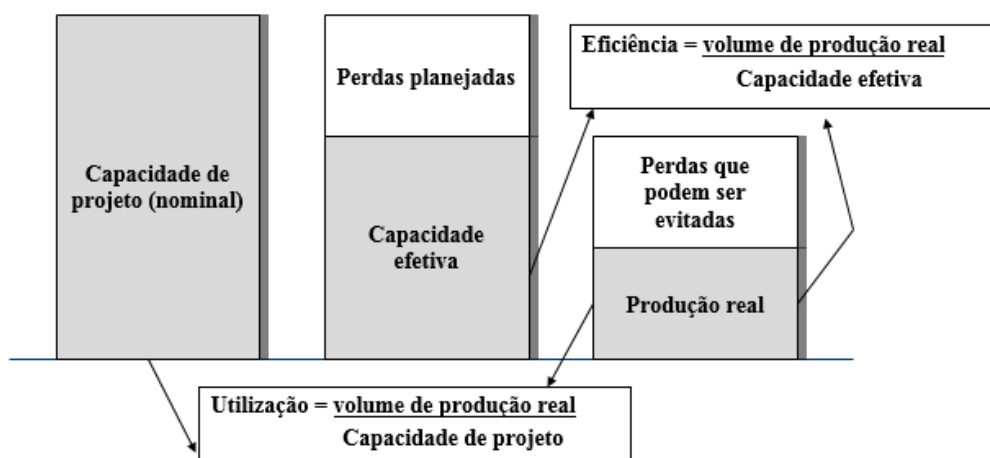


Figura 3 - Níveis de capacidade produtiva.

Fonte: Adaptado de Slack et al. (2009)

Corrêa e Corrêa (2012), similarmente, definem os níveis de capacidade teórica e disponível. O primeiro representa o máximo de saídas que teoricamente poderiam ser geradas pela operação ou processo, enquanto o segundo se define pela quantidade de saídas efetivas que o processo consegue gerar, dados os chamados fatores ‘redutores’ de capacidade, representados pelos índices de Utilização e Eficiência. Os autores propõem uma abordagem diferente destes índices, definindo o primeiro como a parcela da capacidade teórica que está disponível para uso, enquanto o segundo refere-se ao *output* real em relação à capacidade disponível, conforme apresentado nas Fórmulas 3 e 4.

$$\text{Utilização} = \frac{\text{Capacidade efetivamente disponível}}{\text{Capacidade total teórica}} \quad (3)$$

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Saídas demonstradas em capacidade efetivamente disponível}}{\text{Saídas-padrão em capacidade efetivamente disponível}} \quad (4)$$

Grando e Turco (2005) e Grando e Cigolini (2007), por sua vez, expandem estas definições e propõem um modelo conceitual mais detalhado de avaliação de capacidade produtiva, dentro de um contexto amplo de avaliação de produtividade. Neste *framework*, os autores analisam o *status* de uma fábrica utilizando como base os diferentes tempos produtivos identificáveis, e as ociosidades e ineficiências que os distinguem. Então, integram a visão baseada em tempo com índices gerados por medidas de quantidade, e propõem seis níveis distintos de capacidade produtiva. A Figura 4 apresenta a relação destes níveis com os respectivos tempos.

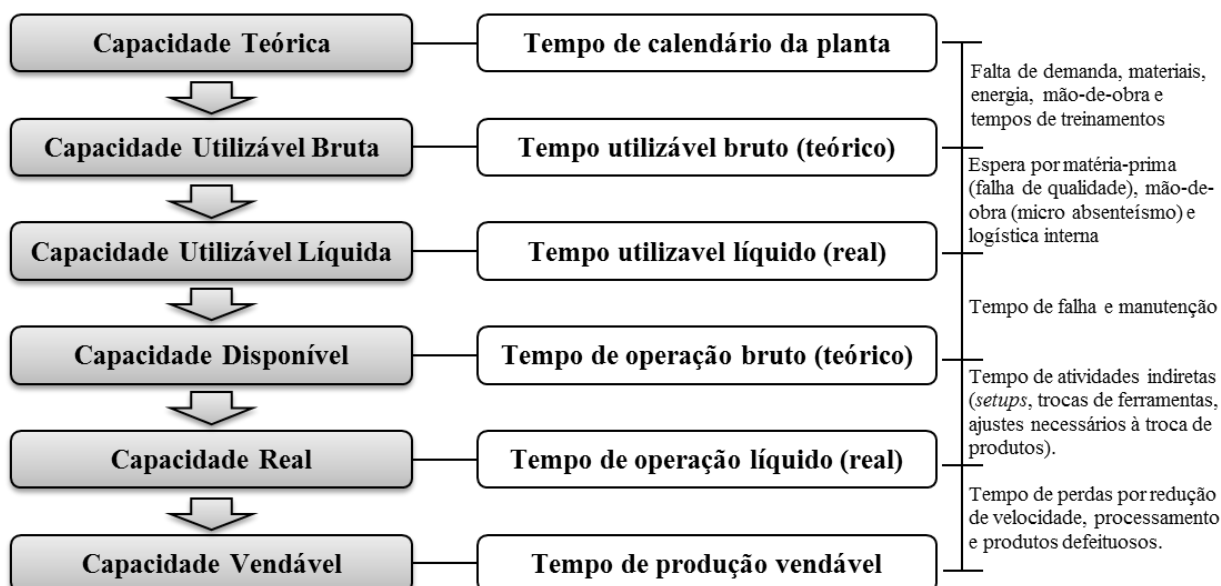


Figura 4 - Níveis de capacidade produtiva.

Fonte: Adaptado de Grando e Turco (2005).

A capacidade teórica está associada ao tempo de calendário da fábrica, e atua como uma referência nominal que pode ser atingida sob condições ideais de trabalho, descontados os tempos ociosos de cumprimento de leis trabalhistas e decisões corporativas, como pausas entre turnos, feriados e períodos de férias. A capacidade utilizável bruta se relaciona ao período durante o qual o sistema produtivo teoricamente pode ser explorado, obtido pela subtração das paradas não-planejadas por razões externas (faltas de demanda, materiais, informações e força de trabalho). A capacidade utilizável líquida, por sua vez, quantifica a capacidade explorável da fábrica nos momentos em que sua utilização é requerida de fato, ou seja, elimina tempos de espera e restrições de logística interna.

O nível seguinte é o da capacidade disponível, que desconsidera todo o tempo perdido com falhas e paradas para manutenção; logo, representa o período em que a utilização da fábrica é requisitada e em que ela se encontra disponível para produção. Esta capacidade pode ser razoavelmente utilizada no desenvolvimento de planos de produção de médio prazo. Um quinto parâmetro, a capacidade real, representa o período em que a estrutura produtiva está disponível e é utilizada para atividades diretas de produção, excluindo tempos de *setup* e outras paradas menores por atividades indiretas. Por fim, um último nível chamado de capacidade vendável, é definido através do ajuste da capacidade real por índices de eficiência que representam perdas por rendimento, bem como produtos defeituosos. Tanto a capacidade real quanto a capacidade vendável podem ser utilizadas no desenvolvimento dos planos-mestres de produção.

O modelo conceitual dos autores define a capacidade tanto do ponto de vista dos tempos produtivos quanto da quantidade produzida, através da multiplicação dos tempos descritos por um índice de produtividade do *mix* médio. O modelo aborda, ainda, as perdas de capacidade em sete categorias, as quais justificam os *gaps* existentes entre os diferentes níveis, conforme explicita a Figura 5. As duas primeiras perdas dizem respeito a causas externas ao sistema, enquanto as outras cinco dizem respeito a causas internas. Da mesma forma, estas perdas podem ser classificadas quanto à sua relação com os índices de utilização e eficiência apresentados nas Fórmulas 1 e 2.

Perfil das causas		Tipo de índice
Perfil Externo	Utilização bruta: causas externas ao sistema	Utilização
	Utilização interna: causas internas ao sistema mas externas aos recursos	
Perfil Interno	Disponibilidade	Eficiência
	Saturação	
	Eficiência de velocidade	
	Rendimento real	
	Eficiência de conformidade	

Figura 5 - Perdas de capacidade produtiva.

Fonte: Adaptado de Grando e Turco (2005).

Outros estudos abordam a questão propondo modelos similares. Snead et al. (2010) chamam a atenção para o fato de a literatura propor diferentes níveis de capacidade, e

apontam para a falta de discussão a respeito da sua relação com as causas potenciais das perdas, bem como de seus custos relacionados, dividindo-as em: capacidade ociosa permanente, ociosidade temporária devido ao crescimento anual, ou mesmo relativa à sazonalidade.

No contexto de alocação de custos de capacidade, os autores identificam quatro níveis distintos: (i) capacidade teórica, descrita de acordo com as definições anteriores; (ii) capacidade prática, que representa o nível estimado de operação eficiente que a fábrica pode atingir, estabelecendo concessões para perdas de produção inevitáveis; (iii) capacidade normal, referente ao nível anual médio de produção necessária para atender a demanda a médio prazo, e (iv) capacidade esperada (orçada) anual, a qual deve ser utilizada para fins contábeis. Por fim, Yalçınsoy et al. (2014) identificam as capacidades teórica, prática, disponível e ótima, sendo esta última definida pelo volume de produção que implica na utilização da estrutura produtiva ao mínimo custo médio unitário.

Percebe-se, portanto, que os modelos de capacidade identificados na literatura estão de acordo com o pressuposto apresentado no início deste trabalho, de que tradicionalmente a questão da capacidade produtiva é tratada em termos técnicos. À exceção do nível de capacidade vendável presente no modelo de Grandó e Turco, o qual busca de forma tímida associar um aspecto de mercado ao modelo, os demais conceitos focam na capacidade como a utilização de uma estrutura produtiva dadas restrições de ordem técnica. Destaca-se a não consideração de aspectos econômicos e a ausência de um modelo integrado que contraponha estes aspectos às restrições de técnicas.

Feijó (2006) afirma que qualquer medida de capacidade é uma convenção, e a própria literatura reconhece a ambiguidade do conceito, não existindo uma interpretação teórica única sobre o assunto. Em termos empíricos, há uma diversidade de técnicas e formas de levantamento, e para caminhar em direção a uma correta gestão da capacidade, pressupõe-se seu dimensionamento correto.

### **2.3. Fatores que influenciam no dimensionamento da capacidade**

A primeira decisão relativa à capacidade de uma operação diz respeito ao seu dimensionamento. Segundo Corrêa e Corrêa (2012, p.419):

Uma eficiente gestão da capacidade de produção depende, inicialmente, de se ter uma medida correta da capacidade disponível em cada instante, o que não é uma tarefa trivial. Podemos medir capacidade pelo *volume* de produção possível de ser obtido, ou de “saídas” (lavagens de carro por hora em um lava-jato, atendimentos por dia em um banco, toneladas de resina produzida por uma petroquímica), o que só fornecerá uma informação gerencialmente útil se a produção for bastante padronizada e repetitiva. Quando a produção não apresentar estas características, será mais adequado medir a capacidade pelo volume de insumos, ou recursos de entrada com que consegue processar seus produtos (número de salas cirúrgicas, horas-máquina de torno em uma ferramentaria, etc).

Apenas quando uma operação for altamente padronizada a sua capacidade pode ser medida de forma inequívoca. Krajewski et al. (2009) concordam, afirmando que a capacidade de produção pode ser expressa em termos de medidas de produção ou medidas de insumos, sendo as primeiras usualmente utilizadas em empresas com um portfólio pequeno e homogêneo de produtos, enquanto as medidas de insumos são utilizadas em situações em que muitos produtos diferentes compartilham uma mesma estrutura de produção. Medidas de insumo são utilizadas quando não há uma relação clara entre insumos e produção, de forma que a capacidade efetiva de uma operação será quase sempre dependente do *mix* produtivo.

Sob um ponto de vista estratégico, o nível médio de capacidade de uma operação ou processo produtivo é influenciado por uma série de fatores. Moreira (2008) elenca alguns fatores preponderantes:

- (i) Instalações: o dimensionamento das instalações bem como seu arranjo físico são obviamente importantes à determinação da capacidade, não apenas em termos de estrutura física para produção, mas também em termos econômicos, influenciando os custos relacionados à capacidade e determinando a operação em economias ou deseconomias de escala;
- (ii) Composição de produtos e serviços: segundo o autor, “a diversidade reduz a capacidade” (p. 138), ou seja, produtos complexos e *mix* produtivos diversificados dificultam a padronização dos processos e exigem maior esforço produtivo para sua fabricação;
- (iii) Projeto do processo: considera seu grau de automatização;



- (iv) Fatores humanos: refere-se ao capital humano da empresa, considerando que suas habilidades, conhecimento, experiências e nível de satisfação podem afetar a capacidade produtiva;
- (v) Fatores operacionais: são fatores técnicos ligados à rotina de trabalho dos diferentes recursos como, por exemplo, a diferença na capacidade de processamento nominal entre equipamentos;
- (vi) Fatores externos: são extrínsecos à empresa, mas podem oferecer barreiras ao aumento ou mesmo ao uso da capacidade.

A Figura 6 apresenta um panorama mais amplo dos fatores de influência no dimensionamento de capacidade produtiva. Aqui, trata-se do conceito de capacidade teórica, embora estas relações possam ser estendidas aos demais conceitos apresentados.



Figura 6 - Fatores de influência na capacidade produtiva.

Fonte: Slack e Lewis (2003)

De um lado, os requisitos de mercado atuam no sentido da demanda, em que fatores como o nível de previsão e suas incertezas futuras associadas, bem como a escala de tempo em que as previsões são realizadas, afetam o planejamento de capacidade da empresa. Por outro lado, os recursos de operação que a empresa possui para o atendimento à demanda sofrem influência de decisões relacionadas à operação em economias ou deseconomias de escala, ao nível de flexibilidade da capacidade existente e à possibilidade de expansão pela

contratação de capacidade contingencial, bem como a disponibilidade de capital e a estrutura de custos para eventuais investimentos em capacidade.

Percebe-se, aqui, que os autores inserem o conceito de capacidade em um contexto mais amplo, situando-o na interseção dos ambientes interno e externo. Uma discussão abrangente sobre o tema pressupõe que se leve em consideração também o ambiente externo, uma vez que a capacidade de uma empresa somente será completamente compreendida à luz daquilo que o mercado está disposto a absorver. Neste sentido, avança-se para uma visão dinâmica de capacidade, em que a interação da empresa com o ambiente econômico torna-se peça chave no seu dimensionamento, análise e controle, ou seja, na sua gestão. Uma questão fundamental neste cenário é o planejamento da capacidade, em que se considera a tomada de decisões em diferentes horizontes de tempo.

#### **2.4. Planejamento de Capacidade**

Para manterem-se competitivas, as empresas devem tomar decisões a respeito do dimensionamento de sua capacidade produtiva no curto e longo prazos, definindo suas políticas de planejamento de capacidade (ALMEIDA, 2014). Chen et al. (2009) e Slack et al. (2009) definem o planejamento de capacidade como a tarefa de determinar a necessidade de recursos de uma operação produtiva, tomando decisões que visam o equilíbrio entre o nível de produção e a demanda de mercado ao longo de um horizonte de planejamento, e buscando antecipar as reações da organização frente às flutuações de demanda provocadas pelo mercado.

Segundo Volling et al. (2013), o planejamento de capacidade consiste em um conjunto de decisões alicerçadas em volume e *mix* de produção, as quais influenciam diversos aspectos de uma organização, como o desempenho de custos, receitas, capital de giro, qualidade, confiabilidade e flexibilidade operacional. O planejamento de capacidade, portanto, é um processo que envolve decisões sobre aspectos importantes, entre os quais (YALÇINSOY et al., 2014):

- (i) Avaliação da capacidade existente;
- (ii) Previsões de necessidades futuras de capacidade;

- (iii) Identificação de diferentes formas de alterar a capacidade a curto, médio e longo prazos;
- (iv) Identificação de diferentes formas de alterar a demanda;
- (v) Avaliação do impacto da decisão a respeito de capacidade sobre o desempenho da operação;
- (vi) Avaliação econômica, operacional e tecnológica de alternativas de investimento;
- (vii) Seleção de alternativas para a obtenção de capacidade adicional.

A tomada de decisões relativa à capacidade de produção pode ser abordada a partir de horizontes de planejamento de curto, médio e longo prazos, e usualmente abrange três níveis decisórios distintos: estratégico, tático e operacional (CORRÊA e CORRÊA, 2012; MATRINEZ-COSTA et al., 2014). O Quadro 1 apresenta os diferentes cenários possíveis e as decisões relacionadas.

#### **2.4.1. Planejamento de longo prazo**

Considerando um horizonte de longo prazo, as decisões sobre capacidade produtiva assumem um caráter fundamentalmente estratégico, têm como base as previsões de demanda, envolvem o dimensionamento de instalações para o seu atendimento (aquisições ou reduções estratégicas), e visam o subsídio ao planejamento de operações e vendas (OLHAGER e JOHANSSON, 2012). Neste sentido, o planejamento de longo prazo é refém de circunstâncias extrínsecas à empresa, e pode ser impactado por mudanças em variáveis como estabilidade econômica, alterações de legislação, desenvolvimento tecnológico e mesmo alterações em padrões e preferências de consumo (GAITHER E FRAZIER, 2004; SLACK et al., 2009). Para Hsu e Li (2009), determinar a capacidade de plantas produtivas é fundamental para o planejamento de longo prazo das empresas. Chen et al. (2009) afirmam que o papel do planejamento de capacidade de longo prazo é determinar a localização e capacidade de plantas produtivas, os principais fornecedores e sua integração vertical, sua tecnologia de produção e seus modos de operação.

Inércia	Horizonte	Questões principais	Nível decisório	Decisões típicas
Longa	Meses/anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Qual nível global de capacidade necessária?</li> <li>- Que padrão de decisões deve ser adotado para alteração dos níveis globais de capacidade?</li> </ul>	Estratégico/direção	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Novas unidades de operações</li> <li>- Expansões de unidades</li> <li>- Aquisições/alterações tecnológicas</li> </ul>
Média	Semanas/meses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deve-se utilizar produção nivelada ou acompanhar a demanda com a produção?</li> <li>- Qual a proporção ótima de funcionários próprios e de terceiros para atender flutuações de demanda?</li> </ul>	Tático/média gerência	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Turnos de trabalho</li> <li>- Terceirização de capacidade</li> <li>- Dimensionamento de pessoal</li> <li>- Aquisição de recursos de menor porte</li> </ul>
Curta	Horas/dias/semanas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Que recursos alocar para cada tarefa?</li> <li>- Como absorver flutuações de demanda no curto prazo?</li> </ul>	Operacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alocação de pessoal entre setores</li> <li>- Utilização de horas extras</li> <li>- Controle de entrada e saída de fluxo por recurso</li> </ul>

Quadro 1 - Diferentes níveis decisórios sobre capacidade produtiva.

Fonte: adaptado de Corrêa e Corrêa (2012).

Martinez-Costa et al. (2014) afirmam que as decisões de longo prazo têm sua importância ampliada pois envolvem investimentos que requerem grandes dispêndios de capital e apresentam *payback* longo. Os autores apresentam uma revisão da literatura sobre a utilização de modelagem matemática no planejamento estratégico de capacidade, destacando especialmente a utilização de modelos de programação linear inteira, programação linear mista e programação não-linear, propondo um *framework* conceitual que destaca as principais decisões tomadas em relação a: dimensionamento de capacidade, localização, alocação, seleção de tecnologia, desenvolvimento de novos produtos, decisões financeiras e decisões táticas (relativas a força de trabalho, planejamento de produção, gestão de estoques, entre outros).

O planejamento de longo prazo pressupõe uma visão sistêmica da empresa, em que a capacidade global é o resultado da interação da capacidade das partes que compõem o sistema, ou seja, os recursos produtivos. Para tanto, faz-se necessária uma análise por meio de modelos integrados, em que a programação matemática toma destaque. Esta programação busca, usualmente, a maximização da utilização da capacidade dada uma série de restrições. Entretanto, os autores destacam que certos estudos buscam, através da modelagem matemática, melhorar o valor econômico da empresa, por meio da maximização do lucro

líquido ou minimização dos custos esperados. Aqui começa a ficar em evidência a utilização de abordagens econômicas de capacidade, em conjunto às análises técnicas.

Diversos outros estudos abordam o tema sob diferentes perspectivas. Hsu e Li (2009) desenvolvem um modelo não-linear de programação inteira mista com o objetivo de encontrar o dimensionamento ótimo de capacidade entre diferentes plantas de uma empresa de alta tecnologia e minimizar o seu custo unitário médio. O estudo evidencia que a utilização de capacidade no curto prazo e o dimensionamento de capacidade em múltiplas plantas produtivas no longo prazo são relacionados, e ambos fatores influenciam no custo total de fabricação.

Hagspiel et al. (2016) analisam a dimensão e o tempo de decisões sobre investimentos em capacidade sob condições de incerteza de demanda, abordando o problema via uma modelo que utiliza opções reais, e estudam cenários de flexibilidade e inflexibilidade quanto a decisões de produção. Tavaghof-Gigloo et al. (2016), por sua vez, apresentam uma abordagem baseada em programação linear inteira mista para o problema de planejamento de capacidade em um cenário de múltiplos itens, múltiplas fábricas e produção em múltiplos estágios, com demanda determinística e capacidade flexível.

Outro aspecto estratégico importante do planejamento de capacidade de longo prazo diz respeito às decisões sobre a sua expansão. Krajewski et al. (2009) apresentam duas estratégias extremas: estratégia expansionista, que propõe uma postura proativa, em que a empresa se adianta ao aumento de demanda e projeta sua expansão em saltos amplos e esporádicos, incorrendo no risco de investir acima da real necessidade de produção, porém minimizando o risco de vendas perdidas por capacidade insuficiente; e estratégia do tipo ‘espere-e-veja’, que propõe uma postura reativa, projetando incrementos pequenos e frequentes. A Figura 7 ilustra ambos os casos.

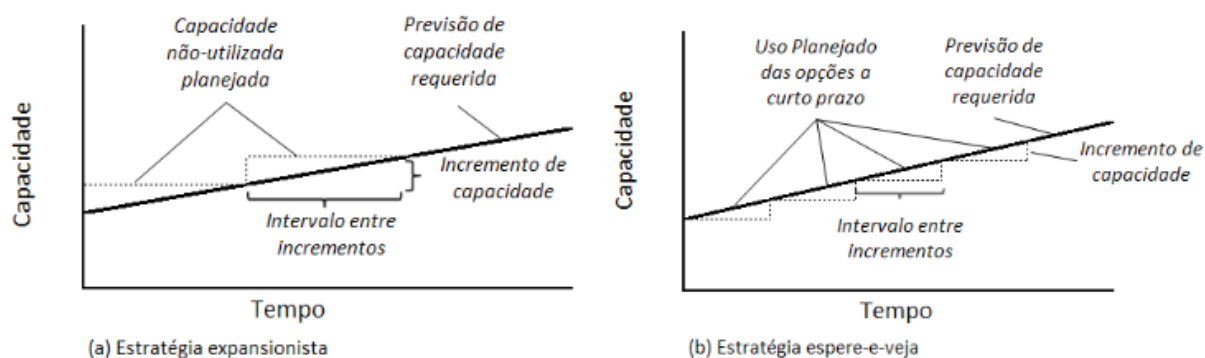


Figura 7- Duas estratégias de expansão de capacidade.

Fonte: Krajewski et al. (2009)

Se, por um lado, a política de seguir o comportamento da demanda parece mais favorável em termos econômicos, pelo fato de postergar os investimentos e favorecer os baixos custos ao trabalhar com a ocupação do processo sempre próxima aos 100%, por outro lado penaliza o nível de serviço oferecido aos clientes (CORRÊA e CORRÊA, 2012). Trabalhar muito próximo do limite de capacidade aumenta o risco de demanda não atendida.

Por fim, Lee (2016) propõe o *trade-off* entre duas estratégias distintas: basear o planejamento de capacidade em economias de escala (MPSS, ou *Most Productive Scale Size*) a qual é orientada ao custo, ou a estratégia de seguir a demanda, a qual é orientada à receita. A literatura afirma que a definição da escala ótima de operação, definida como o ponto que maximiza a razão entre *output* e *input*, implica em potencial vantagem de custos, pois dilui os custos fixos em uma maior quantidade de produtos. No entanto, os estudos de administração de produção tendem a favorecer a segunda estratégia, a qual pode reduzir as diferenças entre demanda e produção e levar à maximização da receita. O autor destaca o que chama de ‘dilema de capacidade’, ou seja, o *trade-off* entre estas opções, e propõe um modelo de programação não-linear para resolver o problema.

#### 2.4.2. Planejamento de médio e curto prazos

Tomando um horizonte mais curto, o planejamento de capacidade passa a considerar as restrições dos limites da capacidade física estabelecidos pela estratégia de longo prazo. Em um nível tático, o planejamento de capacidade visa resolver o problema da

alocação de recursos em médio prazo. Carvalho et al. (2015) apresentam uma revisão de trabalhos que tratam do planejamento de capacidade neste nível, os quais abrangem tanto os métodos de programação matemática exata quanto heurísticas para resolução de problemas, e mostram que estes métodos são aplicados, em sua maioria, no objetivo de minimizar os custos, nivelar os recursos ou minimizar sua sobrecarga.

Em um nível operacional, as decisões passam obrigatoriamente pela determinação dos níveis de capacidade das máquinas e processos em questão. O objetivo do planejamento de curto prazo é assegurar o equilíbrio apropriado entre a disponibilidade de recursos e a necessidade de capacidade para os planos de produção no nível do recurso (CHEN et al., 2009).

Por outro lado, Krajewski et al. (2009) apontam para a importância de se definir uma reserva de capacidade produtiva para absorver as incertezas de demanda de curto prazo. Grandes reservas são necessárias particularmente em ambientes em que a flexibilidade de recursos é limitada, bem como em situações de alteração no *mix* de produtos. Desta forma, é definida a chamada capacidade contingencial, cujo objetivo é conferir à organização a flexibilidade necessária para lidar com as incertezas de demanda.

A capacidade se relaciona ao potencial de produção de todos os recursos produtivos de uma empresa, sejam eles recursos humanos ou tecnológicos, os quais podem ser contingentes ou permanentes (ALP e TAN, 2008). Os autores definem a capacidade permanente como a quantidade máxima de produção possível em período normal de trabalho, dados os recursos internos disponíveis, como máquinas e mão-de-obra interna. Esta capacidade pode ser incrementada temporariamente por meio da aquisição de recursos chamados contingentes, cujo objetivo é flexibilizar a capacidade total da empresa. Destacam-se, como exemplos destes recursos, a contratação de mão-de-obra terceirizada e a utilização de horas extras produtivas.

Alguns estudos destacam a importância deste aspecto. Bish et al. (2005) investigam os custos e benefícios associado à gestão da flexibilidade da capacidade para mitigar flutuações de curto prazo na demanda, utilizando políticas variadas de alocação. Alp e Tan (2008) desenvolvem um modelo de programação dinâmica que revela que a capacidade permanente ótima varia conforme os custos de capacidade contingente, custos fixos de produção e custo unitário de capacidade permanente. Zhang et al. (2012), por sua vez,

determinam políticas de ajuste de capacidade baseadas em estimativas de vendas obtidas a partir de um modelo matemático.

Segundo Chen et al. (2009), o planejamento de capacidade de curto prazo está estritamente relacionado à definição do *mix* ótimo de produção. O problema do *mix* de produção resume-se a um problema de alocação, em que a quantidade de produtos a serem produzidos são combinados com recursos limitados, de forma a maximizar a eficiência geral do sistema. No contexto da capacidade produtiva, limitações de horas de trabalho manual e horas de operação em máquinas são usualmente consideradas.

A alocação ótima de capacidade, em especial em empresas com múltiplos processos e produtos, é uma questão de complexidade crescente, e alguns estudos tratam deste aspecto na literatura através da utilização de modelos matemáticos. Entre estes modelos, destaca-se pela sua facilidade e aceitação na literatura, a programação linear. Segundo Yahya et al. (2012), ela pode ser definida como uma técnica matemática utilizada no campo de pesquisa operacional para a determinação da melhor alocação de recursos limitados no intuito de atingir alguma meta ótima, através da resolução de problemas típicos de alocação que permitem a opção entre diferentes linhas de ação.

Carvalho et al. (2015) propõem um modelo de programação linear inteira mista como solução para o problema do planejamento tático de capacidade, buscando o balanço ótimo entre a demanda e a capacidade disponível em um ambiente de produção do tipo ETO (*Engineering-to-Order*). O modelo busca a minimização do custo a partir de um plano de produção ótimo, incluindo a flexibilidade de fontes secundárias de capacidade e a consideração de processos com múltiplos estágios.

Yahya et al. (2012) realizam uma aplicação direta de um modelo simples de programação linear na definição do *mix* ótimo de produção em uma empresa de fabricação de produtos de higiene. Yalçinsoy et al. (2014) buscam a definição da utilização de capacidade que otimiza o lucro mensal em uma empresa do setor têxtil, através de um modelo de programação linear que considera restrições de capacidade em termos de horas disponíveis em cada recurso produtivo. O modelo prevê, contrariando o senso comum, que o máximo lucro obtido pressupõe operar com capacidade ociosa em alguns estágios do processo. Observa-se aqui, também, um movimento no sentido da integração de elementos técnicos e econômicos de capacidade.



De forma geral, o planejamento de capacidade pode ser contextualizado como parte integradora do planejamento de produção, possuindo o seu foco voltado ao dimensionamento de mão-de-obra, equipamentos e demais recursos necessários utilizados para atender ao plano-mestre de produção (GROOVER, 2008). Neste contexto, é interessante abordar, brevemente, a relação entre o planejamento de capacidade e os sistemas de planejamento utilizados de acordo com o horizonte desejado (BITTENCOURT, 2010).

### **2.4.3. Sistemas de planejamento de capacidade**

Corrêa et al. (2008) definem o planejamento de longo prazo como *Resource Requirements Planning* (RRP), inserido no contexto do planejamento de vendas e operações para horizontes extensos (S&OP). Este, por sua vez, resulta em um plano comum que sumariza o planejamento financeiro e de marketing da empresa com seus recursos e respectivas capacidades, tornando-se base para o planejamento detalhado de operações da organização (BOWERSOX et al., 2007). O planejamento de médio prazo é chamado de *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP). Neste ponto, o plano agregado é decomposto em um plano-mestre de produção, e o RCCP é executado para garantir que exista disponibilidade suficiente de horas de produção e matéria-prima para viabilizar o plano-mestre.

Entretanto, este nível de planejamento não leva em consideração detalhes como o nível atual de estoque e o impacto dos tamanhos de lote. Assim, o último nível de detalhamento é o planejamento de curto prazo, definido pelos autores como *Capacity Requirements Planning* (CRP). Ele integra o planejamento de capacidade com o planejamento detalhado de materiais, sendo o nível mais detalhado tratado pelo planejamento de recursos de manufatura (MRP II – *Manufacturing Resources Planning*).

O MRP II é definido como um sistema desenvolvido para o planejamento, programação e controle de materiais, que suporta atividades necessárias para atender ao plano-mestre de produção. Surgiu como uma evolução natural do MRP (*Material Requirements Planning*), ao integrá-lo com a análise de capacidade produtiva para garantir a viabilidade dos planos de produção (GROOVER, 2008). Tenhiälä (2011) propõe um *framework* de métodos alternativos de planejamento de capacidade, em que posiciona o RCCP e o CRP como métodos de planejamento sistemático, juntamente com o nivelamento de capacidade e a otimização, e os contextualiza frente aos métodos não-sistemáticos, os quais

consideram restrições de capacidade de forma não explícita. Este *framework* é desenhado conforme a Figura 8.

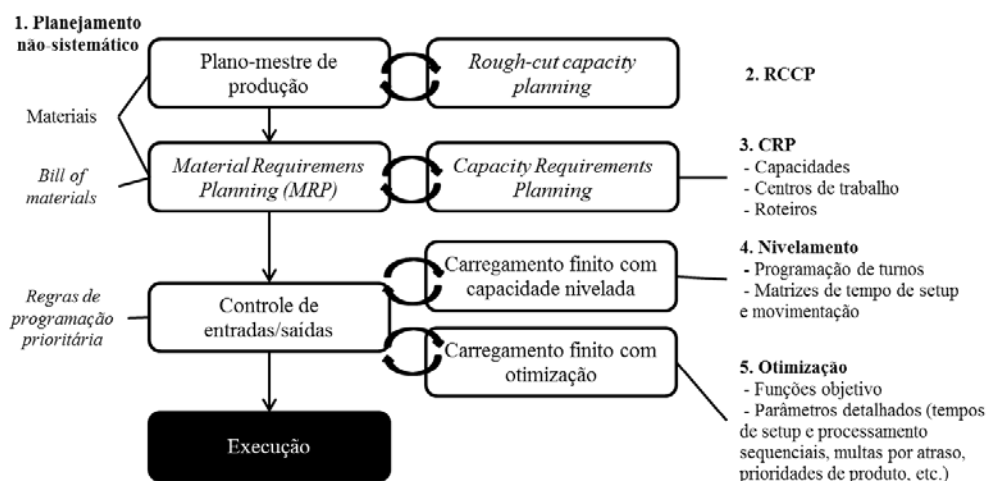


Figura 8 - Métodos alternativos de planejamento de capacidade.

Fonte: Adaptado de Tenhiälä (2011).

Desta forma, percebe-se que a questão do planejamento de capacidade produtiva é ampla e complexa. Diversos fatores contribuem para a complexidade no entendimento e determinação da capacidade de um sistema produtivo a curto e longo prazos, desde fatores externos até fatores internos. De fato, o próprio *mix* produtivo da empresa deve ser levado em conta, pois alterações no *mix* levam a diferentes níveis de utilização da capacidade (BITTENCOURT, 2010).

A maior parte dos processos envolve múltiplas operações com capacidades efetivas distintas. Aquelas operações críticas que possuem a menor capacidade efetiva dentre todas as operações do processo, são chamadas de gargalos ou recursos com restrição de capacidade (*Capacity Constrained Resources, CCR*) (ASKIN e GOLDBERG, 2002; KRAJEWSKI et al., 2009). Estes são os recursos que limitam a capacidade global do sistema. Adicionalmente, cargas de trabalho variáveis e *mix* de produtos heterogêneos dificultam ainda mais a determinação da capacidade efetiva de uma empresa, pois podem induzir operações distintas a tornarem-se gargalos em circunstâncias variáveis, os chamados gargalos flutuantes.

Neste contexto, surge uma abordagem de administração da produção, chamada Teoria das Restrições (*Theory of Constraints, ou TOC*), que busca maximizar o resultado de uma empresa através do foco nos recursos que restringem sua capacidade produtiva, os

gargalos, e aborda a problemática do planejamento de capacidade de curto prazo, surgindo como um contraponto à lógica do MRP.

### 2.3.2. A capacidade de produção e a Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições consiste em um sistema de programação de produção criado a partir da análise e reestruturação dos recursos que restringem a capacidade de um sistema produtivo. Baseia-se no pressuposto de que se deve atuar nas causas das restrições que impedem o sistema de alcançar sua principal meta, ou seja, a maximização dos ganhos e da rentabilidade do sistema como um todo (COX et al., 2003).

A Teoria das Restrições foca, como o próprio nome sugere, nas restrições (ou gargalos) do sistema produtivo, e dá ênfase à natureza multifuncional e interdependente dos processos organizacionais. A empresa é vista como uma série de funções, processos e departamentos interdependentes, em que uma variedade de *inputs* é transformada em uma série de produtos e serviços que, quando vendidos, traduzem-se no ganho da empresa (GUPTA e BOYD, 2008). Ela fundamenta-se fortemente em uma metodologia de cinco passos para melhoria contínua de processos, os quais são aplicados para o gerenciamento da capacidade produtiva do gargalo de um sistema.

Desta forma, estabelece-se o vínculo entre a TOC e os estudos sobre capacidade, a partir de uma análise dos diferentes recursos do sistema e suas capacidades de atender à demanda de produção. No contexto do planejamento e gestão de capacidade, a TOC abre mão de considerações de longo prazo até que questões de curto prazo tenham sido tratadas, via uma abordagem de cinco passos, central à teoria (GUPTA e BOYD, 2008). Pacheco et al. (2012) apresentam os passos desta abordagem, conforme segue:

- (i) **Identificar a restrição do sistema**, em que o recurso de menor capacidade define a capacidade máxima e o ritmo de produção de todo o sistema;
- (ii) **Explorar da melhor forma possível a restrição do sistema**, buscando tirar o máximo proveito possível da sua capacidade existente para maximizar o ganho de todo o sistema;

- (iii) **Subordinar todo o sistema à decisão tomada no passo (ii)**, buscando reduzir os inventários e despesas operacionais e, ao mesmo tempo, garantir o ganho teórico máximo;
- (iv) **Elevar a capacidade da restrição**, através de mudanças de *layout*, compra de equipamentos, redução de variabilidades, uso de horas extras, redução de *setup*, entre outros;
- (v) **Voltar à primeira etapa**, para não deixar a inércia tomar conta do sistema.

Uma aplicação fundamental desta abordagem diz respeito à metodologia DBR (*Drum-Buffer-Rope*, ou Tambor-Pulmão-Corda), a qual é uma metodologia de planejamento de produção com capacidade finita, que estimula o uso de capacidade protetiva nos recursos não restritivos, permitindo que eles operem subordinados ao plano de um único gargalo e buscando assegurar que o plano de produção final seja viável dada a capacidade do sistema. Desta forma, o DBR cumpre as mesmas funções do *Rough-Cut Capacity Planning* (RCCP) e *Capacity Requirements Planning* (CRP) em um sistema tradicional de planejamento de capacidade (COX et al., 2003; GREEN JUNIOR et al., 2009). Alguns estudos propõem uma versão simplificada desta metodologia, o S-DBR, o qual induz capacidade protetiva até mesmo no recurso com restrição de capacidade, eliminando a necessidade de programá-lo detalhadamente (LEE et al., 2010; SOUZA e BATISTA, 2010; CHANG e HUANG, 2014).

No que diz respeito às questões de médio prazo, a TOC não as aborda diretamente, porém sua metodologia de cinco passos fornece um *framework* para esta tomada de decisões. A necessidade de manter capacidade protetiva em recursos não restritivos é um aspecto de gestão da TOC que resulta da maior importância que ela confere à maximização do ganho, mesmo em detrimento de uma despesa operacional menor. Na visão tradicional, a eficiência dos recursos em geral é mantida próxima à demanda, minimizando a despesa operacional, entretanto para a TOC este cenário de planta balanceada expõe todo o processo produtivo a flutuações estatísticas que podem reduzir o ganho de todo o sistema.

Em contraste à noção de capacidade tradicional, do ponto de vista do MRP, que pressupõe processos com tempo limitado e capacidade infinita, a TOC enxerga a produção como um processo com tempo ilimitado, operando com restrições de capacidade, e cria cronogramas de trabalho apenas para os recursos que restringem a capacidade produtiva.

Desta forma, a TOC simplifica o processo de programação da produção, fracionando a questão da programação global em problemas menores (ASKIN e GOLDBERG, 2002).

Da mesma forma, enquanto a abordagem do MRP pressupõe que todas as informações relativas a tempos de produção (tempos de processamento, *setup*, movimentação, entre outros) são determinísticos, a TOC não assume tal pressuposto, possuindo uma lógica similar àquela de técnicas de gestão de projetos, buscando o caminho crítico do processo e focando o gerenciamento de recursos ao longo do caminho.

A despeito de suas diferenças, tanto a TOC quanto o MRP abordam a questão da capacidade produtiva de forma simplificada, no sentido de que ambos desconsideram a questão do valor econômico. O planejamento de capacidade, tanto nestes sistemas quanto em abordagens de médio e longo prazos apresentadas, costuma ser feito com base em parâmetros técnicos de produção, como horas disponíveis de recursos e quantidades consumidas de matéria-prima. No entanto, conforme alguns estudos apresentados, certos elementos econômicos podem ser incorporados à análise, em especial na utilização de programações matemáticas baseadas em otimização, em que se busca minimizar custos ou maximizar lucros, dadas certas restrições.

De fato, uma visão integrada para o dimensionamento de capacidade, e para sua gestão, pressupõe a abordagem do seu viés econômico através de modelos integrados. Entretanto, esta abordagem deve se estender para além dos domínios da organização, e considerar fatores restritivos externos, no intuito de se alcançar a gestão da chamada capacidade econômica de produção.

## **2.5. Capacidade Econômica**

Alguns estudos sugerem duas formas de interpretar como as empresas avaliam e gerenciam sua capacidade produtiva: uma com ênfase em aspectos técnicos e físicos da produção e outra com ênfase em aspectos econômicos (COELLI et al., 2002; FEIJÓ, 2006). Quanto à primeira forma, pode-se tomar como definição de capacidade a quantidade de produção a ser obtida, considerando-se apenas restrições técnicas de engenharia para o pleno funcionamento de um equipamento ou planta industrial, ou seja, é um conceito técnico de capacidade. Neste contexto, a empresa é tratada como um ator passivo, que reúne a tecnologia

e os fatores de produção necessários para a transformação de matéria-prima, e reage às mudanças na oferta e demanda por alterações na margem.

Por outro lado, a definição econômica busca incorporar aspectos de interação ativa com o ambiente externo, não levados em conta na abordagem anterior. As decisões sobre volume e modo de produção de uma empresa também dependem, por exemplo, de fatores como a sua relação preço/custo e sua expectativa quanto ao comportamento da demanda, dada a estrutura produtiva atual. O limite à produção será dado pelo ponto em que o aumento da quantidade não seja mais compensador em termos do retorno esperado (FEIJÓ, 2006).

Na esteira desta definição, deve-se incorporar ao conceito de capacidade algumas variáveis de cunho econômico, como custos de produção e lucratividade, bem como a expectativa de demanda e restrições de mercado, buscando compreender como estes aspectos influenciam no dimensionamento e gestão da capacidade. O conceito técnico de capacidade pode induzir a decisões equivocadas quando se observa a lucratividade de curto prazo e pode, inclusive, sugerir que a empresa opere em um nível de produção em que o lucro é menor do que em alternativas nas quais a capacidade física não é utilizada no seu nível máximo (COELLI et al., 2002; PASCOE e TINGLEY, 2006; RAY, 2015). Ademais, nota-se que a discussão sobre capacidade impõe o paralelismo com índices de eficiência, buscando a sua gestão e discutindo-se as perdas por capacidade não utilizada, bem como sua valorização econômica.

No entanto, os métodos disponíveis para a derivação de medidas de dimensionamento e utilização de capacidade dependem, fundamentalmente, do grau de detalhamento das informações existentes. Se existe disponibilidade de informações detalhadas sobre lucros e custos, é possível trabalhar com conceitos econômicos de capacidade, com o apoio de uma série de ferramentas matemáticas e estatísticas. Usualmente, as únicas informações disponíveis dizem respeito aos níveis de *input* e *output* físico e características técnicas operacionais dos processos (KUMRU, 2011).

### **2.5.1. Abordagens alternativas para a identificação da capacidade econômica**

Definições alternativas de capacidade vêm sendo propostas na literatura já há algum tempo. Klein (1960) definiu capacidade como o nível de produção correspondente ao

ponto mínimo da curva de custo médio de curto prazo, enquanto Morrison (1985) e Segerson e Squires (1990) definem capacidade como o nível de produção correspondente à tangência entre as curvas de custo de curto e longo prazos. Uma definição econômica mais recente de capacidade a trata como o nível de *output* que maximiza os lucros da empresa no curto prazo (COELLI et al., 2002). Entretanto, como apontam Pascoe e Tingley (2006), os diferentes conceitos econômicos de capacidade são apenas consistentes em indústrias competitivas e em uma situação de equilíbrio sustentável, em que a receita marginal se iguala ao custo marginal no nível de *output* que minimiza os custos totais.

Não parece haver um consenso na literatura, muito menos um aprofundamento conceitual a respeito da capacidade econômica de produção. A sua definição ainda é vaga, e alguns estudos utilizam conceitos econômicos como margens de contribuição, custos de produção e lucratividade nos seus modelos de planejamento e dimensionamento de capacidade sem explicitar ou conceituar com maior rigor a noção de capacidade econômica.

Jorgensen et al. (2009) estudam a relação entre a utilização de capacidade produtiva e as margens de lucro contábeis (que consideram todo o custo, fixo e variável). Os autores afirmam que a utilização de capacidade é um importante determinante das margens de lucro da empresa, e estudam a relação entre margem, aumento em vendas e receita, e a utilização de capacidade. Empresas que operam em setores da indústria com alto nível de utilização de capacidade tendem a demonstrar um declínio nas margens quando do aumento das vendas e receitas, tendo em vista que este aumento exige uma readequação da estrutura produtiva, e resulta em uma relação negativa entre nível de vendas e margens de contribuição. Por outro lado, empresas com baixa utilização de capacidade conseguem absorver aumentos nas vendas sem investir em estrutura extra, não comprometendo suas margens.

Chen et al. (2009) apresentam um modelo matemático de programação linear que aborda o problema do planejamento de curto prazo em empresas de produção sob encomenda. O estudo foca na determinação do *mix* produtivo que maximiza o lucro operacional, considerando a capacidade em termos de horas regulares, horas extras e horas de terceirização, bem como curvas de custo diferenciadas para cada caso. O estudo indica que o senso comum de maximizar a utilização dos recursos produtivos a qualquer custo não garante a maximização do lucro líquido, devido às características heterogêneas dos produtos e sua utilização diferenciada dos recursos produtivos, os quais, por sua vez, contribuem com a rentabilidade da empresa de formas distintas.

Ho e Fang (2013) propõem um algoritmo associado a um modelo que busca definir a alocação otimizada de capacidade em um sistema multiprocessos e multiprodutos sob condições de incerteza de demanda, visando a maximização dos lucros deste sistema. O modelo considera uma função de densidade de probabilidade associada a demandas específicas para alocar de forma eficiente uma capacidade restrita a múltiplos produtos, e sugere que fatores como a margem de lucro, custos de manutenção de estoques, falta de material e excesso de produção, bem como demandas de mercado, devem ser considerados no intuito de se definir a alocação ótima de capacidade sob um ponto de vista econômico.

Gunasekaran et al. (2015), por sua vez, desenvolvem um modelo de otimização de *mix* produtivo baseado em programação linear. O modelo busca a maximização do lucro, levando em consideração restrições de capacidade de operação de máquinas e de trabalho manual. Neste estudo, a capacidade dos recursos é definida pelo cálculo das horas disponíveis para trabalho, utilizando um conceito de tempo produtivo análogo ao de tempo utilizável bruto proposto por Grandó e Turco (2005), apresentado neste capítulo. Adicionalmente, o modelo considera restrições de fornecimento de matéria-prima e limitações de demanda, bem como as margens de contribuição dos diversos produtos que compõem seu *mix*, consideradas nos coeficientes da função-objetivo. O trabalho ainda desenvolve uma análise de sensibilidade dos resultados, com a utilização do conceito de preço-sombra (*shadow price*).

Neste contexto de consideração de aspectos econômicos de capacidade, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos ao longo do tempo com a aplicação de uma ferramenta de programação matemática chamada *Data Envelopment Analysis* (DEA). Por este motivo, e pela sua relação na literatura com estudos sobre capacidade de forma mais abrangente, embora não apresente as características buscadas para este trabalho, esta ferramenta será brevemente apresentada na sequência.

### **2.5.2. DEA e Capacidade produtiva**

O *Data Envelopment Analysis* (DEA, ou Análise Envoltória de Dados) é uma ferramenta matemática não-estocástica baseada em programação linear não-paramétrica para medida de eficiência de unidades produtivas (LEE e JOHNSON, 2014). Esta ferramenta busca uma avaliação de desempenho multidimensional, convertendo múltiplos *inputs* e *outputs* em uma medida escalar de eficiência operacional. Define a chamada fronteira de



eficiência através da solução de problemas de programação linear, e busca mensurar a eficiência de unidades produtivas em função de sua posição relativa a esta fronteira.

No âmbito dos estudos sobre capacidade produtiva, possui sua aplicação em setores diversos da economia, como indústrias de manufatura e serviços, tanto no dimensionamento e utilização de capacidade, quanto no apoio ao seu planejamento (SAHOO e TONE, 2009; KARAGIANNIS, 2013; DEB, 2014; LEE, 2016). Esta ferramenta também foi aplicada no contexto de capacidade econômica, inicialmente com os trabalhos de Färe et al. (2000) e Coelli et al. (2002).

O primeiro utiliza o DEA na definição de medidas de capacidade e sua relação com as funções de custo indireto e receita, propondo a utilização do DEA na construção de uma curva de capacidade máxima, que define o nível máximo de produção para cada *mix* produtivo. O segundo amplia a discussão, abordando a relação da utilização de capacidade com a lucratividade. O trabalho estuda a decomposição do *gap* entre lucratividade esperada e realizada de empresas com múltiplos *outputs* e *inputs*, apontando para a contribuição da capacidade não utilizada neste *gap*, e propondo uma métrica chamada de raio econômico de capacidade.

Sahoo e Tone (2009) revisam métodos existentes de utilização de capacidade num contexto de análise não-paramétrica e sob uma perspectiva econômica, e propõem uma alternativa, decompondo a medida física de utilização de capacidade em eficiência técnica, utilização econômica e nível ótimo de ociosidade. Outros estudos desenvolvem uma abordagem da ferramenta para o problema específico da análise de capacidade econômica na indústria de pesqueiros, avaliando a capacidade de pesca de frotas em conjunto com variáveis como lucratividade, custos operacionais e margens de contribuição (PASCOE e TINGLEY, 2006; PHAM et al., 2013).

Ray (2015), por fim, utiliza a modelagem do DEA para propor um método de medição da taxa de utilização de capacidade produtiva para empresas de manufatura dos Estados Unidos, avaliando sua relação com o nível de utilização de capacidade mais eficiente do ponto de vista econômico. Conclui que a capacidade de curto prazo é facilmente conceituada como um limite superior, porém possui limitado conteúdo econômico, uma vez que não existe motivo para uma empresa atingir seu nível máximo de capacidade sem levar em conta os custos variáveis dos *inputs* necessários. O autor afirma, ainda, que o nível de

capacidade que minimiza os custos operacionais é economicamente significativo e bem aceito na literatura como um *benchmark*.

Enquanto os trabalhos apresentados nesta seção, incluindo os que aplicam o DEA, destacam a incorporação de aspectos econômicos ao estudo de capacidade produtiva, em geral não utilizam nenhum tipo de definição precisa de capacidade econômica, apresentando-se frequentemente como ferramentas de apoio à análise de capacidade, mas não contribuindo para sua gestão.

## **2.6. Considerações finais sobre capacidade produtiva**

Em um mercado competitivo e dinâmico, é fundamental que os sistemas de gerenciamento da produção direcionem seu foco cada vez mais no sentido da busca pela eficiência da gestão econômica. Para tanto, o conhecimento do potencial produtivo de um sistema, na forma de sua capacidade, impulsiona a tomada de decisões na busca pela otimização do desempenho operacional e aumento da lucratividade, permitindo o correto posicionamento da empresa em relação à sua demanda e a definição das melhores formas de atendê-la.

Partindo da revisão feita neste capítulo, verifica-se que, de forma geral, os conceitos relacionados à capacidade de produção podem ser um tanto difusos e complexos, em especial no que diz respeito ao conceito de capacidade econômica, e a questão pode ser abordada sob diferentes perspectivas e com o apoio de diferentes ferramentas. No contexto da área de Administração da Produção, o conceito de capacidade produtiva tende a ser definido em termos das restrições físicas do processo ou dos equipamentos utilizados, e possui uma orientação voltada ao tempo disponível para a realização de trabalho com agregação de valor, bem como às quantidades possíveis de serem fabricadas durante este período, dadas restrições internas e externas ao sistema. Neste sentido, a literatura destaca alguns modelos conceituais que trabalham com diferentes níveis de capacidade ou *status* de trabalho, em que o contínuo cronológico é dividido em porções que representam diferentes níveis de disponibilidade de trabalho, e os *gaps* entre estes níveis são explicados pelas diferentes perdas de disponibilidade e ineficiência ocorridas durante o processo produtivo.

Entretanto, a literatura não aponta para uma conceituação econômica precisa de capacidade, em que se integrem à visão técnica clássica aspectos econômicos próprios da

empresa e de sua interação ativa com o mercado. Alguns trabalhos destacam a relação entre a lucratividade e a capacidade, mas a literatura não demonstra a utilização de algum método de parametrização econômica do processo produtivo, como apoio à análise de capacidade. Adicionalmente, vale ressaltar a distinção entre a análise e a gestão de capacidade, em que a segunda pressupõe uma abordagem dinâmica, incorporando o elemento de controle via indicadores, bem como a tomada de decisão com base neste controle. Neste sentido, destaque-se a importância da identificação da capacidade em geral – e da capacidade econômica, em particular – como forma de viabilizar ou desencadear ciclos de melhoria no processo produtivo. Por exemplo, a contraposição da capacidade econômica com os demais níveis pode levar à conclusão da necessidade de rebalanceamento do processo, no todo ou em partes.

Os estudos sobre capacidade produtiva, em geral, focam na primeira definição, buscando a análise estática de algum cenário por meio da utilização de modelos conceituais ou ferramentas matemáticas de apoio. Logo, a identificação desta lacuna reforça a justificativa do presente trabalho, buscando responder aos seguintes questionamentos:

- (i) Como definir as capacidades da empresa, em seus diferentes níveis?
- (ii) Como avaliar o impacto de variáveis econômicas no dimensionamento da capacidade produtiva?
- (iii) Como minimizar efeitos econômicos (como os da inflação e aumentos de preços de produtos e matérias-primas) da capacidade da empresa?
- (iv) Como parametrizar economicamente o processo produtivo para a análise de capacidade econômica?
- (v) Como avaliar economicamente as perdas de capacidade produtiva?
- (vi) Como proceder à gestão da capacidade econômica de uma empresa?

No próximo capítulo será apresentada uma metodologia que surge como alternativa viável à questão da parametrização econômica de processos como apoio à análise e gestão de capacidade, o chamado método das Unidades de Esforço de Produção, ou método das UEPs.

### **3. O MÉTODO DAS UNIDADES DE ESFORÇO DE PRODUÇÃO (UEPs)**

O método das Unidades de Esforço de Produção (UEPs) foi originalmente concebido na França ao final da II Guerra Mundial por um engenheiro chamado Georges Perrin, então sob o nome de método GP, e mais tarde como *Unité de Valeur Ajoutée* (UVA). Segundo Allora e Oliveira (2010), Perrin apresentou a concepção original de uma unidade de medida unificadora da produção industrial, denominada GP, cujo objetivo era representar os custos das operações de fabricação em valores constantes no tempo. Posteriormente, seus estudos foram continuados pelo engenheiro italiano Franz Allora, e o método foi levado ao Brasil, onde passou a ser chamado de método das UEPs e teve sua base teórica e conceitual desenvolvida por um grupo de pesquisadores, a partir do que começou a ser implantado em uma série de empresas de variados setores (VALENTIM, 2014).

Conforme será apresentado neste capítulo, embora seja originalmente um método de custeio, ele possui uma lógica de implantação alicerçada na parametrização econômica do processo produtivo, a qual pode ser utilizada no apoio à avaliação da capacidade econômica. Entretanto, não é um método desenvolvido especificamente para estudar capacidade, e possui algumas limitações nesta questão, em especial no que diz respeito à análise de perdas por capacidade não utilizada e sua valorização econômica. Estas limitações serão abordadas na metodologia do presente trabalho, o qual pretende realizar contribuições teóricas ao método para melhor adaptá-lo ao contexto de análise e gestão de capacidade.

Esta seção apresenta a fundamentação teórica do método, seus aspectos conceituais, a sua metodologia de aplicação, bem como as vantagens e desvantagens na sua aplicação prática.

### 3.1. O Método das UEPs: características e conceitos principais

O método das UEPs surgiu, inicialmente, no intuito de mensurar e alocar com maior acurácia os custos de transformação das empresas industriais aos seus produtos e serviços (BORNIA, 2010). Ele tem como objetivo principal a unificação da produção para simplificar o processo de controle e gestão de custos e foi desenvolvido com o objetivo de solucionar o problema da apropriação dos custos de transformação em empresas multiprodutoras, com processos heterogêneos e *mix* produtivos variados (FADANELLI, 2007; CAMBRUZZI et al., 2009; CAMPAGNOLO et al., 2009).

Para tanto, o método busca a criação de uma unidade abstrata, comum e homogênea, capaz de medir produções diversificadas (ZONATTO et al., 2012). Segundo Allora e Gantzel (1996), esta unidade é fundamentada no conceito de esforço de produção, e surge em contraste com as unidades de medida normalmente utilizadas, como quilogramas e horas, que não representam o verdadeiro valor da produção, por somarem produtos distintos.

Cambruzi *et al.* (2009) afirmam que a noção de esforço produtivo está associada à soma dos esforços necessários à fabricação dos produtos, e os dividem em:

- (i) Esforço material: referente a materiais de consumo e ferramentas utilizadas no processo produtivo;
- (ii) Esforços salariais: referem-se aos gastos com mão-de-obra direta ou indireta, como remuneração bruta e encargos sociais incidentes;
- (iii) Esforço de capital: representado pela depreciação de máquinas e equipamentos. O método utiliza a depreciação técnica extra contábil, representada pelo perecimento físico, ou seja, desgaste e obsolescência dos bens físicos tangíveis;
- (iv) Esforço de utilidades: refere-se, principalmente, aos esforços de energia elétrica, através da análise do consumo em kWh de cada operação, bem como demais utilidades apropriadas a cada situação;
- (v) Demais esforços: outros esforços indiretos necessários à produção, como a manutenção de equipamentos, a qual é um fator de difícil apuração, usualmente baseada em dados históricos.

Conforme Borna (2010, p.144), “a mensuração direta dos esforços de produção seria extremamente difícil, senão impossível”. Neste contexto, se insere o conceito da UEP, que cria uma base para a análise da relação destes esforços de produção nos diferentes recursos do processo, estabelecendo padrões econômicos relativos comparáveis entre si.

O método parte do pressuposto de que o principal produto de uma empresa é o esforço de produção que ela gera para a fabricação de seus produtos, a partir do consumo dos insumos e da matéria-prima. Ele propõe que na transformação da matéria-prima em produtos acabados a empresa agrega valor através da coordenação de diversos esforços realizados. Sendo assim, o método trabalha apenas com custos de transformação, não levando em conta os custos de matéria-prima, a qual é considerada um mero objeto de trabalho (VALENTIM et al., 2014).

Para o método, os focos concentradores dos esforços são as atividades produtivas envolvidas diretamente na fabricação dos produtos. Assim, ele busca a definição de Postos Operativos (POs), que são conjuntos de uma ou mais operações homogêneas com capacidade de gerar esforços produtivos (BORNIA, 2010). Os produtos consomem estes esforços e seus custos de transformação associados ao passarem pelos POs. Assim, a produção de uma empresa pode ser medida através da soma dos esforços gerados pelos POs, e o custo final de transformação dos produtos será dado pela soma dos custos dos esforços absorvidos em cada posto operativo durante o processo de fabricação (CAMPAGNOLO et al., 2009).

Portanto, a noção de esforço de produção traz, consigo, uma característica importante: ela confere a um processo heterogêneo a simplicidade de um processo homogêneo, no que diz respeito à alocação de custos. Para Cambruzzi et al. (2009), esta homogeneidade é consequência do fato de que, independentemente dos produtos fabricados e da complexidade de seus processos, os esforços produtivos por eles consumidos são de mesma natureza, logo podem ser adicionados, tornando produtos diferentes comparáveis entre si.

Segundo Fadanelli (2007) e Valentim et al. (2014), o método das UEPs fundamenta-se em três princípios básicos:

- (i) Princípio do Valor Agregado: afirma que o produto de uma empresa é o trabalho que ela realiza sobre as matérias-primas, refletindo o valor agregado a elas durante o processo de fabricação;
- (ii) Princípio das Relações Constantes: define que os esforços de produção gerados nas diversas operações elementares do processo têm, entre si, relações constantes no tempo, à exceção da ocorrência de mudanças significativas na estrutura produtiva ou no ambiente externo;
- (iii) Princípio das Estratificações: define que o grau de precisão dos resultados do método é essencialmente dependente do grau de estratificação dos itens de custos alocados aos postos operativos, na construção de seus índices.

### **3.2. A UEP na prática: vantagens e limitações**

A literatura destaca diversas vantagens e limitações da aplicação do método das UEPs. Oenning et al. (2006) e Wernke e Lembeck (2008) argumentam que o método permite uma maior compreensão da estrutura dos custos indiretos de fabricação e proporciona importantes informações gerenciais para tomada de decisão, iniciando pela apuração precisa dos custos de transformação da empresa, - reduzindo distorções na sua alocação - e passando por outros aspectos não diretamente ligados ao custeio dos produtos. Entre estes aspectos, destacam-se a apuração da capacidade produtiva da empresa e de sua utilização, um conhecimento aprofundado dos diversos fatores que influenciam no custo dos postos produtivos, suporte na determinação da rentabilidade dos produtos vendidos, identificação de gargalos de produção, utilização da UEP na definição de medidas de desempenho fabril e a possibilidade de análise comparativa entre processos.

Wernke et al. (2012) corroboram esta análise, afirmando que o principal benefício do método reside no fato de que, com apenas uma ferramenta, obtém-se informações confiáveis acerca dos custos de transformação dos produtos e indicadores não-financeiros para avaliar o desempenho da produção, mesmo em empresas com *mix* produtivo diversificado. Fadanelli (2007) ainda salienta que a sua utilização minimiza os efeitos da heterogeneidade ocasionada pela aplicação do tradicional método dos centros de custo, em que os produtos recebem parcelas de custos não compatíveis com seus reais esforços de transformação.

O método das UEPs atua como uma referência econômica do uso da estrutura produtiva da empresa. Ele permite a parametrização econômica dos diversos elementos do processo produtivo, possuindo, em sua lógica interna, parâmetros técnicos e econômicos. Trabalha não somente com o conceito de horas produtivas, mas relaciona estas horas ao seu valor econômico.

No entanto, apesar dos benefícios, o método apresenta algumas limitações. Fadanelli (2007) e Bornia (2010) destacam o seu enfoque restrito ao processo produtivo, deixando descobertas as despesas de estrutura e os custos de matéria-prima, a dificuldade no tratamento dos desperdícios e a dificuldade de identificação de melhorias, devido ao fato de o método ser aplicado a partir de uma fotografia instantânea da estrutura da empresa o que, em ambientes modernos de melhoria contínua, exigiria sua revisão periódica e poderia torná-lo obsoleto. Alguns estudos também destacam o detalhamento de informações necessário e seu alto custo na fase de implantação inicial, além da instabilidade da quantidade de UEPs ao longo do tempo, questionando-se o princípio de relações constantes (CAMRBUZZI et al., 2009, LEVANT e ZIMNOVITCH, 2013).

A literatura a respeito do método mostra a sua aplicação em situações distintas. Zonnato et al. (2010) constatam, em seu estudo, a precisão do método na identificação dos custos de uma empresa de reciclagem de papel, bem como a identificação das limitações da sua capacidade produtiva. Kuhn et al. (2012) identificam o método como um diferencial competitivo para os gestores de produção, detalhando os custos e gargalos produtivos em uma empresa de abate e processamento de carne. Lima et al. (2016), por sua vez, apresentam uma abordagem do método voltada à aplicação em realidade virtual. Os autores demonstram a importância de se analisar a lucratividade do processo produtivo como um todo, não apenas os impactos de custos, vendas e produção isoladamente, apresentando o método das UEPs como alternativa para compor um sistema de custeio com flexibilidade de mudança no processo.

Outros estudos abordam aplicações do método e discutem seus resultados em empresas de manufatura de distintos setores da indústria, como a indústria de laticínios, vidros, metal-mecânica, agroindústria, entre outros (FADANELLI, 2007, CAMBRUZZI et al., 2009; LEVANT e DE LA VILLARMOIS, 2011; MILANESE et al, 2012; ZONATTO et al., 2012, VALENTIM et al., 2014, WERNKE et al, 2014, CONFESSOR et al., 2015); aplicação do método em empresas de serviços (SOUZA et al., 2014); e aplicações do método no desenvolvimento de sistemas de custeio híbridos (KREMER et al., 2012; BELLI et al.,



2013; FREITAS et al., 2016). A análise dos estudos sobre UEP permite identificar que o método apoia a tomada de decisões gerenciais com informações que vão além da mera apuração dos custos de transformação de produtos. Dentre as informações possíveis de se obter com o método, encontram-se:

- (i) Volume de produção: o método permite a avaliação das quantidades produzidas, ou seja, o nível de *output* do sistema, independente do quão heterogêneo for o *mix* produtivo, bem como sua comparação ao longo de períodos distintos, visto que relativiza a produção através de uma unidade padrão.
- (ii) Conhecimento da capacidade produtiva: o método propõe, através da unificação da produção, a avaliação de três tipos de capacidade:
  - Capacidade instalada: definida pelo produto da soma dos potenciais produtivos de todos os postos operativos pelas horas disponíveis para trabalho (neste caso, o método considera como horas disponíveis as horas referentes aos turnos de trabalho);
  - Capacidade base ou real: definida como a efetiva capacidade de manufatura em ritmo pleno para um determinado *mix*, ou seja, a utilização ótima da capacidade instalada;
  - Capacidade efetiva: definida como a capacidade base subtraída das horas de paradas (previstas e não previstas).

O método contempla questões de *mix* produtivo e sua relação com a análise de capacidade, dado que, usualmente, os esforços necessários para a produção de uma determinada quantidade física de itens são diferentes dos esforços para a produção da mesma quantidade, porém com *mix* diferente, logo, considera as diferentes utilizações possíveis da capacidade disponível por conta de distintas combinações de produtos. Adicionalmente, o conhecimento dos potenciais produtivos de cada posto operativo torna possível a identificação de gargalos na produção. No entanto, o método apresenta certa limitação no tratamento das perdas de capacidade, bem como na sua valorização econômica;

- (iii) Medidas de desempenho da produção: o método propõe três indicadores de desempenho produtivo, a partir das informações de volume de produção e da definição dos diferentes níveis de capacidade, conforme as Fórmulas 5 e, 6 e 7 apresentadas na sequência: Eficiência, Eficácia e Produtividade.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Produção realizada}}{\text{Capacidade instalada}} \quad (5)$$

$$\text{Eficácia} = \frac{\text{Produção realizada}}{\text{Capacidade efetiva}} \quad (6)$$

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção realizada}}{\text{Horas efetivamente trabalhadas}} \quad (7)$$

- (iv) Programação da produção: o método fornece um apoio à atividade de programação da produção, uma vez identificada a capacidade da empresa em cumprir determinado plano de entrega, através da comparação dos equivalentes em UEPs dos produtos vendidos com os potenciais produtivos dos postos que os produzirão, considerando os diferentes roteiros de fabricação do *mix*;
- (v) Planejamento e simulação de resultados: o método possibilita simular o planejamento da operação, através da composição de diferentes *mix* de produção, em que, para cada cenário, pode-se verificar a utilização em UEPs da capacidade produtiva;
- (vi) Rentabilidade de produtos: o método provê suporte na determinação da rentabilidade dos produtos vendidos, possibilitando uma análise correta sobre a adequação dos preços de venda praticados;
- (vii) Análise comparativa: o método possibilita a análise comparativa entre as diferentes etapas do processo produtivo, em diferentes períodos de tempo, ou mesmo a comparação de desempenho entre diferentes processos, por suas medidas em UEPs.

### 3.3. Sistemática de aplicação do método das UEPs

A aplicação do método das UEPs envolve uma série de etapas básicas a serem seguidas. Valentim et al. (2014) propõem uma sistemática de aplicação em quatro macro etapas. Esta sistemática é apresentada na Figura 9, enquanto suas etapas são brevemente discutidas na sequência.

- (i) Compreensão do cenário: busca compreender o contexto de aplicação, a estrutura organizacional, produtiva e de custos da empresa estudada;
- (ii) Implantação do método das UEPs: corresponde à definição de seus parâmetros. Parte da divisão da empresa em POs e da determinação de seus foto-índices, que são seus custos horários de operação, usualmente estratificados em: mão-de-obra direta, mão-de-obra indireta, energia elétrica, manutenção e materiais indiretos. Em paralelo, faz-se a definição do produto-base, - o qual deve ser representativo do *mix* de produtos e tem o intuito de absorver variações no longo prazo nos itens de custo considerados - bem como o cálculo do custo deste produto, denominado foto-custo base. Segundo Fadanelli (2007), o custo do produto-base é a expressão do custo do esforço necessário para a realização de uma UEP. De posse destas informações, é possível calcular os potenciais produtivos dos POs (em UEPs/hora), definidos pela divisão dos foto-índices de cada posto pelo foto-custo base, e que representam a capacidade de produção de UEPs por posto. Por fim, partindo dos roteiros de fabricação dos produtos, calculam-se seus equivalentes em UEPs, com a multiplicação dos seus tempos de fabricação pelo potencial produtivo de cada PO;
- (iii) Operacionalização do método das UEPs: consiste em um conjunto de cálculos rotineiros que representam os resultados do método. Entre eles, estão: (i) determinação do total produzido em UEPs no período, através da multiplicação das quantidades produzidas de cada produto pelos seus equivalentes em UEP; (ii) a monetarização da UEP, dividindo-se o total dos custos de transformação do período pela produção total em UEPs; (iii) o cálculo dos custos de transformação dos produtos, multiplicando-se o

valor monetário da UEP pelos respectivos equivalentes; (iv) o cálculo de medidas de desempenho (Eficiência, Eficácia e Produtividade) para cada PO e, também, global do processo;

(iv) Consolidação dos resultados: etapa que representa um elemento de *feedback* da sistemática.

A etapa de implantação, a qual envolve os passos de parametrização do método, é a de maior interesse para o presente trabalho, e sua utilização como parte da metodologia proposta será abordada no próximo capítulo. Nele, será apresentada a sistemática de avaliação de capacidade econômica cuja proposta é o objetivo principal deste trabalho.

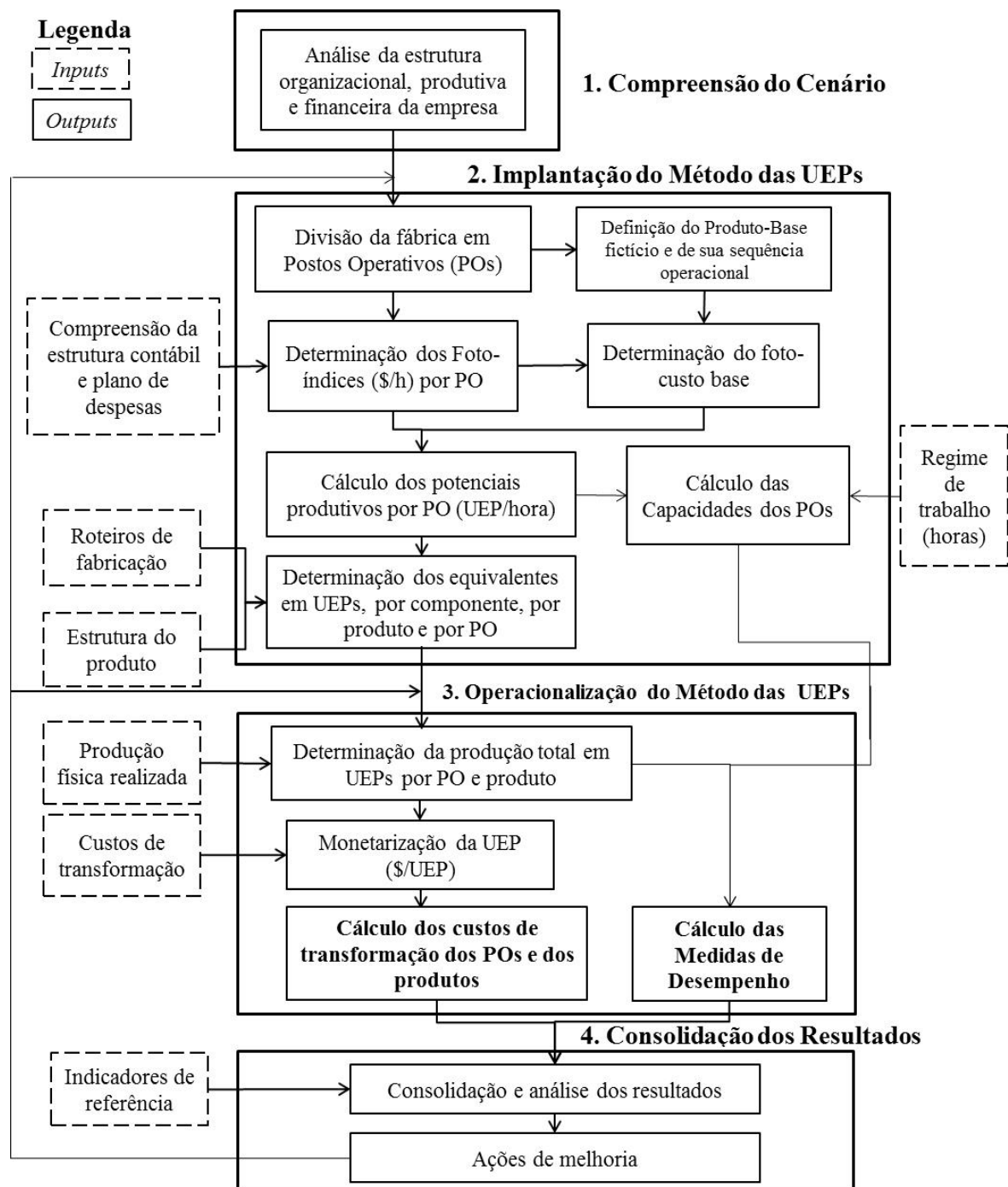


Figura 9 - Sistemática de aplicação do método das UEPs.

Fonte: Valentim et al. (2014).

#### **4. PROPOSTA DE SISTEMÁTICA DE APOIO À ANÁLISE E GESTÃO DE CAPACIDADE ECONÔMICA**

A revisão bibliográfica apresentada nos capítulos 2 e 3 nivelou o conhecimento necessário para que, neste capítulo, seja apresentada uma proposta de sistemática para apoiar a análise e gestão de capacidade de empresas industriais, com foco na capacidade econômica de produção, bem como apoiar a avaliação das perdas de capacidade existentes. A sistemática proposta baseia-se na parametrização técnica e econômica de processos através do método das UEPs e da modelagem matemática via programação linear. Pretende-se obter, como principal resultado final, os diferentes níveis de capacidade do processo produtivo estudado, incluindo sua capacidade econômica, bem como associar os conceitos de capacidade às suas perdas através da utilização de indicadores que apoiam o processo de gestão.

Tendo em vista os conceitos apresentados na literatura, este trabalho desenvolve-se em torno de um modelo conceitual de capacidade produtiva que se estrutura em seis níveis distintos, apresentado na Figura 10 e discutido brevemente na sequência. Dado que o trabalho se propõe a parametrizar economicamente o processo produtivo pela utilização do chamado método das UEPs – o qual foi referenciado anteriormente e será posteriormente contemplado no método de trabalho - o modelo proposto mensura capacidade em termos de unidades de esforço de produção (UEPs). Este modelo, portanto, relaciona os esforços produtivos gerados pelo processo com os diferentes períodos de tempo em que o processo pode produzir.

A capacidade teórica ( $C_t$ ) representa o máximo esforço produtivo que o processo pode gerar em um dado período de tempo, e relaciona-se ao tempo em que a empresa está aberta, mas não necessariamente disponível para uso. Este tempo coincide com o período mais longo em que a produção pode ser planejada sob condições ideais (sem perdas), isto é, o tempo de calendário ( $t_c$ ). A capacidade normal ( $C_n$ ) refere-se aos esforços produtivos que a empresa pode gerar durante o período de calendário, subtraindo

os tempos relativos às perdas normais por ociosidade, isto é, o chamado tempo normal ( $t_n$ ). Estas perdas normais envolvem os períodos de ociosidade que não se pode evitar e que, portanto, são considerados inerentes ao processo. Em termos práticos, este tempo pode ser obtido através do produto do tempo de calendário de cada recurso por um percentual que represente um nível aceitável de ociosidade esperada.

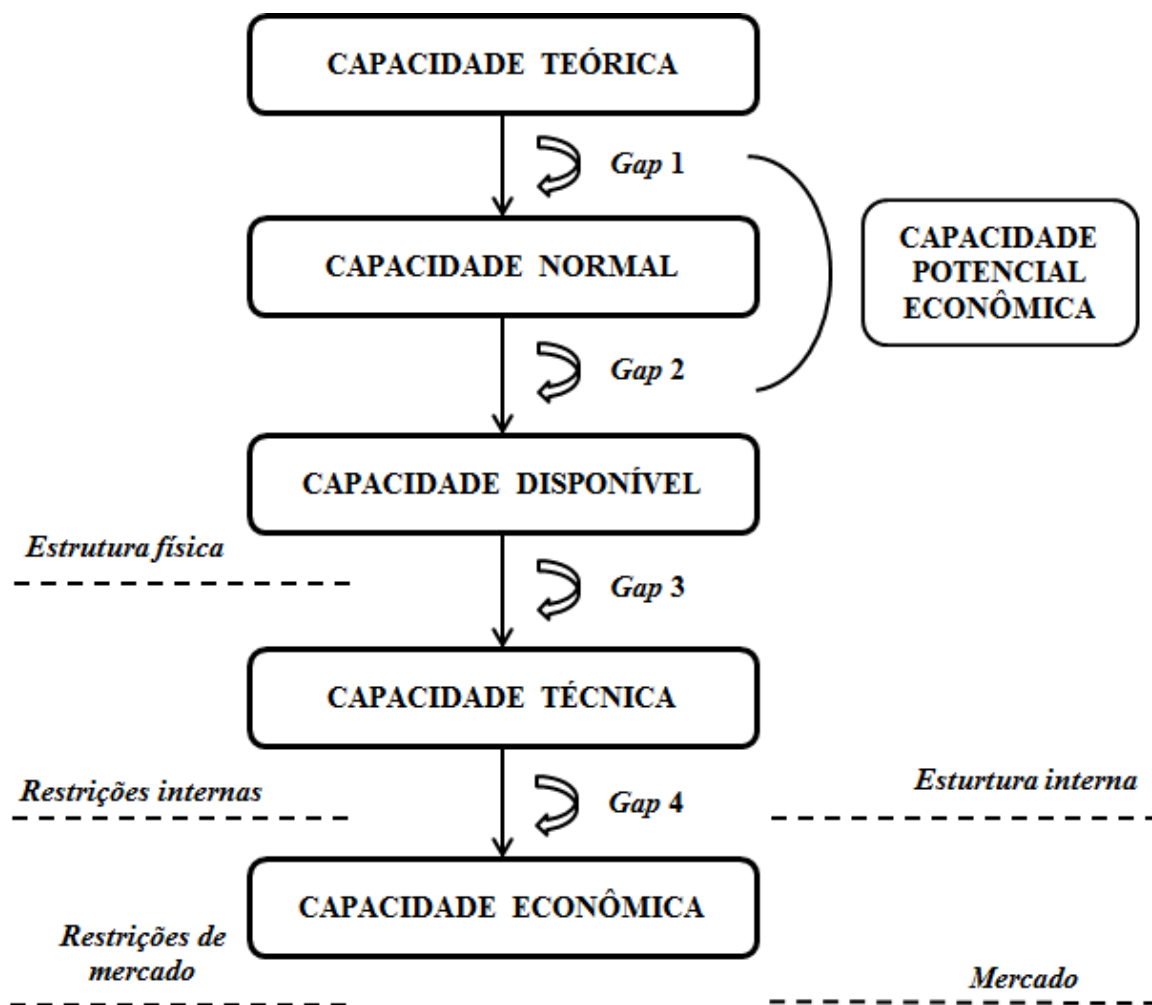


Figura 10 - Modelo conceitual de capacidade adotado

A capacidade disponível ( $C_d$ ), por sua vez, é definida como a quantidade de esforços produtivos que a empresa é capaz de gerar durante o tempo em que seu processo está aberto e disponível para utilização. Relaciona-se ao tempo disponível ( $t_d$ ), em que são descontadas as perdas totais por ociosidade (normal e anormal) do sistema, causadas, por exemplo, por falta de matéria-prima (problemas de logística interna, de fornecimento ou baixa

qualidade), mão-de-obra (absenteísmo, paradas dos operadores durante o turno de trabalho), energia elétrica ou mesmo falta de demanda. Entre os níveis de capacidade teórica e disponível, comumente propostos na literatura, o presente trabalho propõe um nível intermediário chamado de capacidade potencial econômica ( $C_{pe}$ ), definida como a capacidade disponível acrescida da parcela do valor da ociosidade relacionada à estrutura fixa de produção. Este conceito ficará mais claro na sequência do capítulo, em que será apresentada uma proposta de melhoria ao método das UEPs. Por ora, ressalta-se que o presente modelo conceitual define esta capacidade de forma paralela aos demais cinco níveis apresentados, pois enquanto os outros níveis possuem como *drivers* os diversos tempos produtivos identificados, a capacidade potencial existe apenas quando se trata do valor econômico associado.

A capacidade técnica ( $C_{tec}$ ) é definida como o melhor uso possível da estrutura produtiva disponível, tendo em vista o portfólio de produtos atual. Relaciona-se ao tempo tecnicamente necessário ( $t_t$ ), o qual representa a parcela do tempo disponível necessário para realizar as atividades diretas de produção. Neste ponto, são descontadas as perdas por desbalanceamento do *mix* produtivo e outras perdas não planejadas, como tempos de troca de produtos, *setups* nas máquinas e perdas de processamento, os quais são fatores que compõem o chamado tempo ineficiente ( $t_i$ ). Por fim, a capacidade econômica ( $C_{ec}$ ) é definida como a utilização ótima da capacidade disponível, dada a estrutura produtiva atual e as restrições econômicas e mercadológicas do sistema, e considerando um *mix* econômico ótimo. Em outras palavras, é o grau de utilização da capacidade disponível que proporciona a maior margem de contribuição à empresa. Sua diferença em relação ao nível anterior não se dá por questões técnicas, mas sim por uma falha estratégica de desalinhamento entre a empresa e o mercado.

Desta forma, o modelo sintetiza os diferentes conceitos propostos pela literatura e propõe conceitos novos, destacando a influência do *mix* produtivo na determinação da capacidade, em que o problema da definição da capacidade econômica se relaciona à definição do *mix* ótimo, dadas as restrições técnicas, econômicas e mercadológicas. As diferenças entre os níveis do modelo são chamadas de *gaps* de capacidade, os quais categorizam as diferentes perdas ocorridas no processo, entre a disponibilidade total da estrutura produtiva em uma ponta, e sua utilização ótima do ponto de vista econômico na outra. O Quadro 2 sintetiza e define os níveis de capacidade e os *gaps* propostos pelo modelo



em relação aos diferentes *drivers* de capacidade identificados como, por exemplo, os tempos produtivos.

<b>Cód.</b>	<b>Nível</b>	<b>Drivers de capacidade</b>	<b>Observação</b>
$C_t$	Capacidade Teórica	Tempo de calendário ( $t_c$ )	
$gap\ 1$	Perdas por ociosidade normal	Tempo ocioso normal ( $t_{on}$ )	Falta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mão-de-obra</li> <li>• Matéria-prima</li> <li>• Demanda</li> <li>• Energia</li> </ul>
$C_n$	Capacidade Normal	Tempo normal ( $t_n$ )	Capacidade Teórica descontada da ociosidade normal
$gap\ 2$	Perdas por ociosidade anormal	Tempo ocioso anormal ( $t_{oan}$ )	Falta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mão-de-obra</li> <li>• Matéria-prima</li> <li>• Demanda</li> <li>• Energia</li> </ul>
$C_d$	Capacidade Disponível	Tempo disponível ( $t_d$ )	$t_d = t_c - t_{on} - t_{oan}$
$gap\ 3$	Perdas por desajustes técnicos	Tempo ineficiente ( $t_i$ )	Fatores: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Troca de produto</li> <li>• Tempo de setup</li> <li>• Perda por processamento</li> </ul>
$C_{tec}$	Capacidade Técnica	Tempo tecnicamente necessário ( $t_t$ )	$t_t = t_d - t_i$
$gap\ 4$	Perdas por desajustes econômicos	Tempo por desajustes econômicos ( $t_{de}$ )	-
$C_{ec}$	Capacidade Econômica	Tempo economicamente adequado ( $t_e$ )	$t_e = t_t - t_{de}$

Quadro 2- Capacidades, *gaps* e tempos relacionados.

Traçando um paralelo com os modelos apresentados na literatura, em especial com o modelo de Grando e Turco (2005) e Grando e Cigolini (2007), o qual julga-se o mais completo encontrado, pode-se afirmar que a capacidade teórica do modelo proposto se relaciona ao nível homônimo do modelo dos autores, assim como a capacidade normal relaciona-se, de forma geral, aos níveis de capacidade utilizável bruta e líquida, e a capacidade disponível ao nível homônimo do modelo citado. Por fim, os níveis de capacidade técnica e econômica possuem semelhanças com a capacidade real e vendável do modelo dos autores. A capacidade potencial, por sua vez, é uma contribuição deste trabalho, para a qual não se encontrou paralelo na literatura. Ressalta-se, entretanto, que estas relações se dão de forma generalista, em nível conceitual, e o paralelismo entre os modelos se desfaz ao se analisar ambos no detalhe.

Os primeiros níveis do modelo proposto representam única e exclusivamente a estrutura física do sistema produtivo e as restrições que geram ociosidade, ou seja, o tempo em que o sistema está disponível, porém não está produzindo. A capacidade teórica vincula-se ao tempo de calendário, o qual deve ser calculado levando em conta os turnos de trabalho de cada recurso, enquanto a capacidade normal vincula-se ao tempo de calendário subtraído das perdas por ociosidade consideradas normais, e a disponível vincula-se ao tempo disponível, o qual desconsidera as perdas totais por ociosidade, como falta de materiais, demanda ou mão-de-obra. Em termos de capacidade potencial, ela também relaciona-se ao tempo disponível, no entanto é acrescida do valor econômico (em UEPs) da parcela fixa da perda por ociosidade. Ao fazer a transição para a capacidade técnica, o modelo considera, adicionalmente, a relação de produtividade e eficiência existente nos recursos individualmente ou no sistema como um todo, através da incorporação dos roteiros produtivos. As perdas de capacidade passam a não ser apenas estruturais, mas também técnicas, e incorporam as restrições internas advindas da utilização da estrutura pelo *mix* produtivo, que fazem com que os produtos sejam fabricados em tempos diferentes do indicado nos seus roteiros-padrão.

Por fim, a transição para o último nível de capacidade representa a incorporação do mercado à análise, em conjunto ao ambiente interno, com um viés voltado para a maximização da lucratividade e sujeito a restrições mercadológicas de demanda para os diferentes produtos da empresa.

Para os últimos dois níveis do modelo, utiliza-se como ferramenta de apoio a modelagem por programação linear, conforme exposto na revisão da literatura, para incorporar as restrições físicas e econômicas do processo. Neste contexto, a utilização da ferramenta justifica-se pelo fato de ser uma ferramenta de modelagem matemática amplamente difundida e de fácil interpretação, que busca o resultado ótimo, dada uma série de restrições, seguindo pressupostos de linearidade. Outros métodos poderiam ser utilizados em seu lugar, mas parte-se do princípio de que a programação linear fornece o melhor custo-benefício, e os pressupostos de linearidade podem ser seguidos sem prejudicar os resultados.

#### **4.1. Sistemática proposta**

A Figura 11 apresenta a sistemática proposta. Ela fundamenta-se no modelo conceitual de capacidade apresentado, e é estruturada em cinco fases, quais sejam: (i) Fase de Compreensão do Cenário, (ii) Fase de Levantamento de Dados, (iii) Fase de Parametrização do Processo, (iv) Fase de Aplicação e Análise (v) Fase de Consolidação da Sistemática.

Em cada uma das fases são definidas macro-etapas que agrupam etapas menores. Ao longo da sua implementação, a sistemática se utiliza de *inputs* de áreas diversas da empresa e gera resultados parciais, permitindo a realização de análises críticas e possibilitando rever o processo a qualquer momento. Na sequência, são apresentadas e discutidas as fases, macro etapas e etapas da sistemática, individualmente.

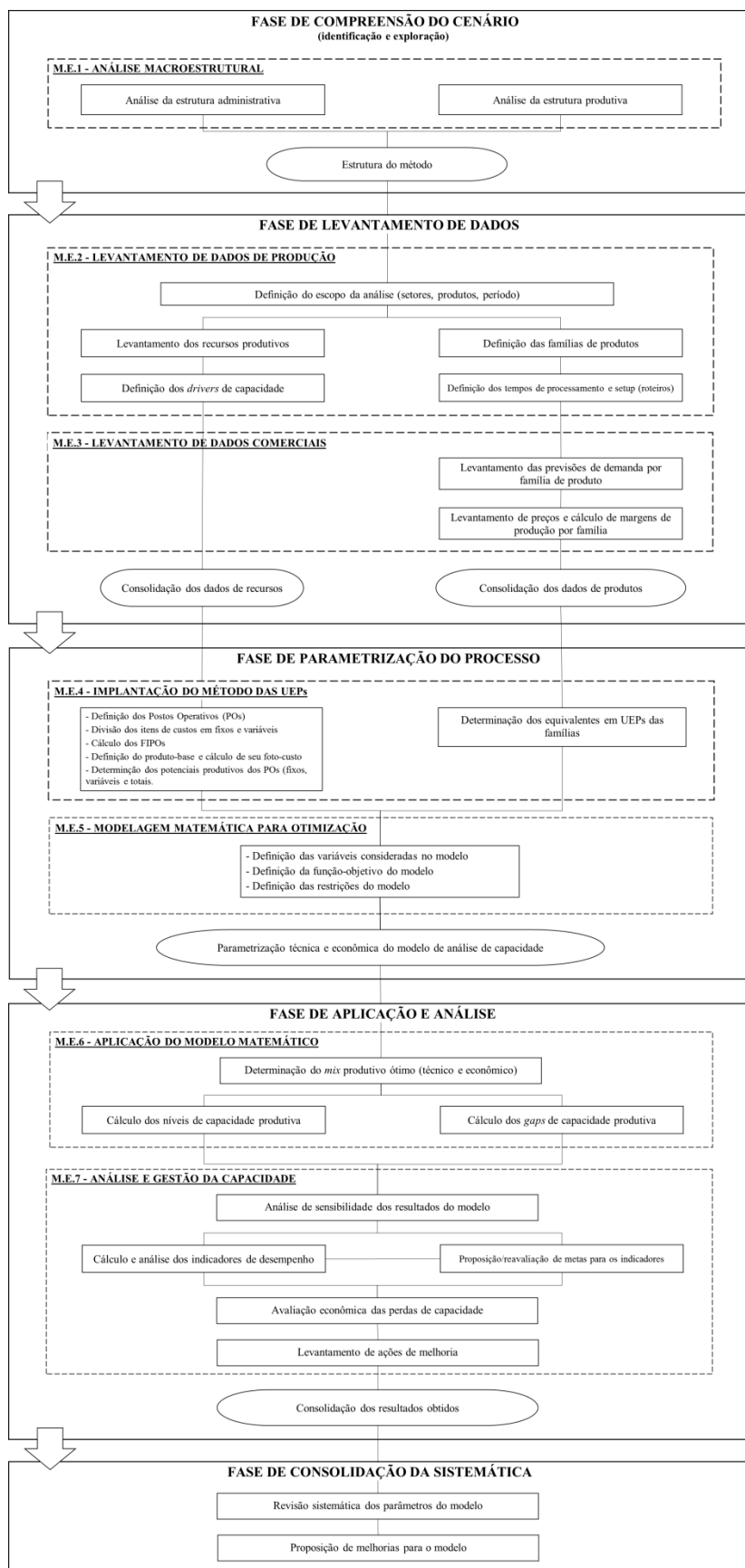


Figura 11 – Detalhamento da sistemática proposta para análise e gestão de capacidade

#### **4.2. Fase de compreensão do cenário**

A primeira fase da sistemática visa compreender o contexto geral da empresa estudada. É constituída de uma macro-etapa de análise macroestrutural, que engloba a análise das estruturas administrativa e produtiva da empresa. Busca-se compreender questões estratégicas da organização, como o seu negócio, seus objetivos, suas atividades, produtos, principais mercados de atuação e respectivos *marketshares*, seu organograma e hierarquia. A seguir, busca-se analisar a estrutura contábil/financeira, bem como sua estrutura de centros de custos, avaliando o sistema de custos utilizado e identificando os itens de custos alocados às atividades produtivas e como ocorre sua distribuição, de forma a auxiliar no direcionamento da aplicação da sistemática segundo o contexto e as peculiaridades da empresa em questão.

Por fim, parte-se para a análise de seu sistema produtivo, incluindo a forma de organização do processo e as tecnologias empregadas. Como principal *output* desta fase, obtém-se um panorama geral do funcionamento da empresa, do ponto de vista administrativo e produtivo, bem como um direcionamento geral para a estruturação do método aplicado.

#### **4.3. Fase de levantamento de dados**

A segunda fase da sistemática busca desenhar o escopo geral de sua implantação, bem como levantar os dados necessários à parametrização do processo para obtenção dos resultados. Subdivide-se em duas macro-etapas que englobam, em primeiro lugar, o levantamento de dados da produção e, posteriormente, o levantamento de dados comerciais. O primeiro tem por objetivo, inicialmente, a definição do escopo da análise, ou seja, a decisão a respeito de quais são os setores e produtos contemplados, bem como qual o período de análise. Estas definições dependem do tempo disponível para aplicação da sistemática e da qualidade e quantidade de informações disponíveis nos bancos de dados da empresa, sendo essencialmente uma questão de custo/benefício.

A partir de então, esta fase se divide em duas frentes que podem ser desenvolvidas em paralelo, e que focam, por um lado, nas informações referentes aos produtos e, por outro, nas informações referentes aos processos e recursos produtivos. Assim, pretende-se levantar todos os recursos a serem analisados, bem como definir os *drivers* de capacidade, ou seja, quais critérios utilizados para distinguir os diferentes níveis de

capacidade, conforme apresentado no Quadro 2. Em conjunto, são levantados os tempos e turnos de operação padrão de cada um dos recursos do processo, para futura parametrização do modelo.

O levantamento de dados dos produtos pressupõe, inicialmente, a definição de famílias de produtos, para a simplificação da análise. Estas famílias devem ser desenhadas de acordo com a conveniência e as circunstâncias particulares de cada caso, podendo, por exemplo, seguir critérios de similaridade de forma construtiva ou mesmo de roteiros produtivos. A partir disto, segue-se ao levantamento dos tempos de processamento e *setup* destas famílias, ou seja, seus roteiros de produção.

Em um segundo momento, foca-se no levantamento de dados comerciais, especificamente o levantamento das previsões de demanda, além de preços e margens de contribuição de cada família. Aqui, ressalta-se que a sistemática não pretende abordar a questão da previsão de demanda em si. Reconhece-se que a literatura apresenta métodos alternativos e, para fins deste estudo, a previsão é apenas um *input* e considera-se que a mesma deve ser realizada de acordo com a conveniência da empresa, independentemente da ferramenta utilizada. Adicionalmente, o conceito de margem utilizado é o da margem de contribuição, ou seja, preço subtraído do custo variável.

#### **4.4. Fase de parametrização do processo**

Neste ponto da sistemática, busca-se parametrizar técnica e economicamente o processo produtivo, e definir os parâmetros do modelo de programação linear. Esta fase possui duas macro-etapas: Implantação do método das UEPs e Modelagem matemática para otimização.

##### **4.4.1. Implantação do método das UEPs**

A primeira macro-etapa refere-se à implantação do método das UEPs. Para tanto, utiliza-se como base a sistemática proposta por Valentim et al. (2014), conforme apresentada no capítulo 3. A partir da consolidação das informações de recursos e produtos, obtida na fase anterior, procede-se, em linhas gerais, às seguintes etapas:

- (i) Definição dos Postos Operativos (POs);
- (ii) Divisão dos itens de custos em fixos e variáveis;
- (iii) Cálculo dos FIPOs;
- (iv) Definição do produto-base e cálculo de seu foto-custo;
- (v) Cálculo dos potenciais produtivos dos POs (fixos, variáveis e totais);
- (vi) Cálculo dos equivalentes em UEPs das famílias de produtos.

Dado que esta sistemática de aplicação do método foi explorada em detalhes no trabalho de Valentim et al. (2014), bem como abordada no referencial teórico do presente trabalho, estas etapas não serão novamente detalhadas.

Destaca-se, no entanto, que o passo (ii) citado acima não consta no roteiro geral de implantação do método comumente descrito na literatura. Neste ponto, o trabalho propõe-se a realizar uma contribuição conceitual para o método das UEPs, a partir da segmentação da UEP em parcelas fixas e variáveis. Esta proposta visa tornar o método mais robusto para a aplicação como ferramenta de apoio à análise de capacidade produtiva, bem como contribuir com a problemática de valorização das perdas do processo, ponto em que a própria literatura reconhece que o método necessita de desenvolvimento. Considerando que uma empresa possui parcelas de custos fixos e variáveis, ao realizar uma produção abaixo de sua capacidade máxima, a empresa, de um ponto de vista de valor econômico, não perde todo o *gap* de capacidade não utilizada, uma vez que uma parte desta capacidade está vinculada aos custos variáveis. Apenas a estrutura fixa do processo produtivo é comprometida.

Extrapolando este princípio para a aplicação do método das UEPs, a divisão dos custos dos postos operativos (foto-índices) em parcelas fixas e variáveis tem por consequência a discriminação de seus potenciais produtivos também em parcelas fixas e variáveis. Este procedimento permite ao método não somente dimensionar a capacidade teórica e disponível do processo, mas também qualificar a avaliação econômica do *gap* existente entre estes níveis de capacidade. A parcela fixa da perda por ociosidade, a qual contém um esforço que poderia ter sido empregado na produção efetiva, deve ser incorporada à capacidade disponível, gerando o nível de capacidade potencial mencionado anteriormente no modelo. Esta proposta de expansão do método será devidamente validada, junto ao resto da sistemática, no estudo de caso apresentado na sequência do trabalho.

#### 4.4.2. Modelagem matemática para otimização

A sistemática propõe a utilização de modelagem matemática para a determinação dos seis níveis de capacidade propostos no modelo conceitual da Figura 10. Os parâmetros utilizados, bem como as variáveis e constantes, são apresentados na sequência:

##### PARÂMETROS:

I – famílias de itens produzidos  $\{ i \in I \}$

R – recursos produtivos disponíveis  $\{ r \in R \}$

##### VARIÁVEIS INDEPENDENTES:

$X_i$  – quantidade física a ser produzida da família  $i$ , para atingir a capacidade técnica;

$Y_i$  – quantidade física a ser produzida da família  $i$ , para atingir a capacidade econômica;

$E_r$  – quantidade de horas extras utilizadas no recurso  $r$ ;

##### VARIÁVEIS DEPENDENTES:

$C_t$  – Capacidade Teórica;

$C_n$  – Capacidade Normal;

$C_{pe}$  – Capacidade Potencial Econômica;

$C_d$  – Capacidade Disponível;

$C_{tec}$  – Capacidade Técnica;

$C_{Ec}$  – Capacidade Econômica.

##### CONSTANTES:



$h_{ir}$  – horas de produção do item  $i$  no recurso  $r$ , constituídas pela soma das horas de processamento e *setup*;

$m_i$  – quantidade máxima de produção do item  $i$ , com base nas previsões de demanda;

$MC_i$  – margem de contribuição unitária do item  $i$ , definida como o preço de venda subtraído do custo variável unitário;

$P_r$  – potencial produtivo do recurso  $r$  (em UEPs/hora);

$P_{fr}$  – potencial produtivo fixo do recurso  $r$  (em UEPs/hora);

$P_{vr}$  – potencial produtivo variável do recurso  $r$  (em UEPs/hora);

$tc_r$  – tempo de calendário mensal do recurso  $r$ ;

$td_r$  – tempo mensal disponível para trabalho no recurso  $r$ ;

$te_r$  – tempo máximo em horas extras que pode ser utilizado em um mês no recurso  $r$ ;

$to_r$  – tempo mensal ocioso no recurso  $r$ ;

$U_i$  – esforço de produção necessário à fabricação da família  $i$  (em UEPs).

$w_r$  – custo unitário marginal da hora-extra no recurso  $r$ ;

$z_r$  – percentual de perdas normais no recurso  $r$ ;

O modelo matemático apresentado divide-se em seis partes, relacionadas a cada um dos níveis de capacidade propostos. Enquanto as capacidades teórica, normal, potencial e disponível são obtidas através da aplicação direta de equações simples, as capacidades técnica e econômica são obtidas com o apoio da aplicação de modelagem por programação linear, pois ambas tratam do conceito de utilização ótima de estrutura. A capacidade técnica é calculada através da solução de um problema de programação linear, em que se busca o *mix* ótimo de produtos que maximiza a quantidade de UEPs produzidas, sujeito a restrições técnicas. Estas restrições procuram garantir que o tempo acumulado de produção de todos os itens em cada recurso não ultrapasse o seu tempo disponível de trabalho.

De forma similar, a capacidade econômica é determinada pela solução de um problema de programação linear, cujo objetivo é maximizar a lucratividade da empresa com a venda dos produtos que ela fabrica. Para tanto, utiliza-se do conceito de margem de contribuição, que representa a margem proporcionada pela venda de cada produto após cobrir seus custos variáveis. A solução do problema representa o *mix* produtivo ótimo que maximiza a margem de contribuição total da empresa. Neste ponto, considera-se, também, a questão da capacidade contingencial, representada aqui pela utilização de horas extras como recurso contingente, levando-se em conta os custos marginais que estas horas agregam ao processo. De posse do *mix* ótimo econômico, é possível calcular a capacidade econômica medida em UEPs, através da multiplicação das quantidades físicas obtidas pelos respectivos equivalentes de cada família de produtos.

O Quadro 3 apresenta as equações do modelo matemático para cada um dos níveis de capacidade. Todos são calculados tanto de um ponto de vista individual (por recurso) quanto do ponto de vista global (soma dos recursos), de forma a apoiar o processo de gestão da capacidade, facilitando a identificação de desbalanceamentos e outras perdas de processo.

Na modelagem da capacidade econômica, são apresentadas três famílias de restrições. A primeira diz respeito à restrição de tempo disponível de cada recurso, ou seja, é uma restrição técnica; a segunda procura garantir que não se realizem horas-extras além do permitido em um dia de trabalho, enquanto a terceira representa a restrição do mercado, em que a quantidade física de itens produzidos de cada família não pode ultrapassar a quantidade máxima que o mercado absorve, com base em informações obtidas a partir de previsões de demanda.

Esta fase da sistemática tem como principal *output* a consolidação da parametrização técnica e econômica do modelo de análise de capacidade.

<b>Capacidade Teórica</b>	$C_t = \sum_r(tc_r \times P_r)$ (em UEPs)
<b>Capacidade Normal</b>	$C_t = \sum_r(tc_r \times (1 - z_r) \times P_r)$ (em UEPs)
<b>Capacidade Potencial Econômica</b>	$C_{pe} = \sum_r(td_r \times P_r) + \sum_r(t_{or} \times P_{fr})$ (em UEPs)
<b>Capacidade Disponível</b>	$C_d = \sum_r(td_r \times P_r)$ (em UEPs)
<b>Capacidade Técnica</b>	$\text{MAX } Z = \sum_i(U_i \times X_i)$ (em UEPs) s.a. $\sum_r \sum_i(h_{ir} \times X_i) \leq td_r$ $\sum_i X_i \geq 0$
<b>Capacidade Econômica</b>	$\text{MAX } Z = \sum_i(MC_i \times Y_i) - \sum_r(w_r \times E_r)$ (em R\$) s.a. $\sum_r \sum_i(h_{ir} \times Y_{ir}) - \sum_r E_r \leq td_r$ $\sum_r E_r \leq te_r$ $\sum_i Y_i \leq m_i$ $C_{Ec} = \sum_i(U_i \times Y_i)$

Quadro 3 - Equações do modelo matemático proposto.

## 4.5. Fase de aplicação e análise

A fase de aplicação e análise apresenta os principais resultados da sistemática. Ela é composta de duas macro-etapas: Aplicação do modelo matemático e Análise e gestão da capacidade.

### 4.5.1. Aplicação do modelo matemático

Nesta macro-etapa, o modelo matemático proposto é aplicado. A solução dos problemas de programação linear gera a informação referente às quantidades de cada família de produtos que compõem os *mix* produtivos ótimos, tanto o técnico quanto o econômico. Então, torna-se possível calcular os seis níveis de capacidade, bem como os quatro *gaps* propostos, conforme definições apresentadas nos Quadros 2 e 3.

### 4.5.2. Análise e gestão da capacidade

Seguindo-se à aplicação do modelo matemático, a sistemática propõe uma macro-etapa de análise e gestão da capacidade, a qual busca analisar os resultados obtidos de forma a prover uma base para a tomada de decisões. Já foi argumentada a importância não apenas da análise de capacidade, mas também de sua gestão, a qual pressupõe uma visão dinâmica e o paralelismo com indicadores de desempenho que auxiliem na identificação e quantificação das perdas de capacidade do processo e façam o modelo girar. Assim, propõem-se sete indicadores de desempenho para a gestão de capacidade produtiva, os quais são apresentados na sequência, nas Fórmulas 8 a 14.

(i) **Índice de Utilização Normal (IUT<sub>n</sub>):**

$$\text{IUT}_n = \frac{\text{Capacidade normal}}{\text{Capacidade total teórica}} = \frac{C_n}{C_t} \quad (8)$$

Este índice representa a proporção de uso da capacidade teórica que se poderia obter para a produção de bens ou serviços de valor agregado, considerando as perdas normais

por ociosidade, ou seja, dado que realisticamente um processo produtivo não suporta operar em 100% de sua capacidade teórica por conta de ociosidades inevitáveis como, por exemplo, paradas entre turnos de produção. Relaciona-se especificamente ao *gap* 2 do modelo conceitual proposto.

(ii) **Índice de Utilização Potencial (IUT<sub>p</sub>):**

$$\text{IUT}_p = \frac{\text{Capacidade potencial}}{\text{Capacidade total teórica}} = \frac{C_p}{C_t} \quad (9)$$

O índice de utilização potencial identifica a proporção de uso da capacidade teórica que se poderia obter para a produção de bens ou serviços de valor agregado, considerando o adicional de valor referente à parcela fixa da perda por ociosidade, isto é, representa o potencial de utilização de capacidade dada a atual estrutura produtiva. Este índice será tão mais próximo da unidade quanto maior o peso da estrutura fixa na manufatura da empresa estudada, no entanto nunca atingirá a unidade, pois realisticamente não existe processo produtivo sem alguma parcela de custos variáveis. Não se relaciona a nenhum dos *gaps* do modelo, apenas serve como valor padrão de referência.

(iii) **Índice de Utilização (IUT):**

$$\text{IUT} = \frac{\text{Capacidade efetivamente disponível}}{\text{Capacidade total teórica}} = \frac{C_d}{C_t} \quad (10)$$

O índice de utilização total identifica a proporção de uso da capacidade teórica que pode ser empregada na produção de bens ou serviços de valor agregado, logo, indica a disponibilidade do sistema produtivo para gerar esforços. Este índice representa a ociosidade do sistema produtivo, e se relaciona aos *gaps* 1 e 2 do modelo conceitual proposto, os quais consideram perdas por paradas causadas por faltas de matéria-prima (problemas de logística interna, de fornecimento ou baixa qualidade da matéria-prima), mão-de-obra (absenteísmo, paradas dos operadores durante o turno de trabalho), energia elétrica ou mesmo falta de demanda.

**(iv) Índice de Ajuste Técnico (IATEC):**

$$\text{IATEC} = \frac{\text{Capacidade Técnica}}{\text{Capacidade Disponível}} = \frac{C_{tec}}{C_d} \quad (11)$$

O índice de ajuste técnico é calculado pela razão entre a capacidade técnica e a capacidade disponível. Este índice representa as ineficiências do sistema por desbalanceamento de produção, e se relaciona ao *gap* 3 do modelo conceitual proposto. Quanto mais este índice se aproximar da unidade, mais balanceado e adequado tecnicamente estará o sistema produtivo, ou seja, o projeto da fábrica estará tecnicamente eficiente. Em processos desbalanceados, com *mix* diversificados e necessidade recorrente de trocas de produtos e *setup* de recursos, este índice tende a se afastar da unidade.

**(v) Índice de Ajuste Econômico (IAE):**

$$\text{IAE} = \frac{\text{Capacidade Econômica}}{\text{Capacidade Técnica}} = \frac{C_{ec}}{C_{tec}} \quad (12)$$

O índice de ajuste econômico é calculado pela razão entre a capacidade econômica e a capacidade técnica. Este índice é relativo ao *gap* 4 e representa o grau de alinhamento entre a empresa e o mercado. Quanto mais se aproximar da unidade, mais ajustada às exigências do mercado a empresa estará, ou seja, ela consegue utilizar grande parte de sua capacidade técnica com uma produção que está alinhada com a demanda. Um índice distante da unidade evidencia a ineficiência da empresa em poder suprir as demandas, ou seja, ou o mercado não está disposto a absorver os produtos que a empresa sabe fazer, ou a demanda pelos produtos é menor do que a empresa gostaria de vender, ou ainda o mercado não está disposto a pagar o valor que a empresa atribui ao produto.

**(vi) Índice de Ajuste Total (IAT):**

$$\text{IAT} = \frac{\text{Capacidade Econômica}}{\text{Capacidade Técnica}} = \frac{C_{ec}}{C_d} \quad (13)$$

Este índice representa, simplesmente, as perdas totais devido aos desalinhamentos internos e externos da empresa. É a composição dos dois índices anteriores, e representa a soma dos *gaps* 3 e 4 do modelo conceitual.

(vii) **Índice de Eficiência Global (IEG):**

$$\text{IEG} = \text{IUT} \times \text{IAT} \quad (14)$$

O índice de eficiência global trata-se do índice de ajuste entre a máxima quantidade de trabalho que a empresa consegue oferecer economicamente ao mercado e a máxima quantidade que a empresa gostaria de oferecer, dadas condições ideais de operação. É obtido pelo produto dos índices de utilização e ajuste totais, e é equivalente à relação entre a capacidade econômica e a capacidade teórica da empresa. Associa-se à mensuração da soma de todos os *gaps*.

Com estes indicadores, busca-se o apoio à gestão da capacidade produtiva. Para tanto, também é necessária a definição de metas para os mesmos. Desta forma, a sistemática prevê uma etapa para estabelecer metas iniciais para estes indicadores, e posteriormente reavaliar estas metas, caso necessário.

A partir do cálculo dos *gaps* e da análise dos indicadores, propõe-se a avaliação econômica das perdas de capacidade. Inicialmente busca-se a monetarização da UEP no período considerado, através da divisão das despesas produtivas pela capacidade teórica em UEPs. O valor calculado pode, então, multiplicar os *gaps* de capacidade gerando, o valor econômico das perdas de capacidade.

A análise conjunta dos indicadores de desempenho e da avaliação econômica das perdas serve de alicerce fundamental para a tomada de decisões a respeito da gestão de capacidade. Assim, é possível utilizar esta análise como norte para o levantamento de ações estratégicas possíveis. Por exemplo, um IAE reduzido associado a um IATec elevado indica que a produção da empresa diverge daquilo que o mercado procura, seja por conta de restrições ao consumo de determinados itens do *mix* ou pela prática de preços inadequados à realidade do mercado, ainda que internamente ela esteja fazendo um bom aproveitamento da sua estrutura produtiva em termos técnicos. Um IUT reduzido, por outro lado, indica que a

empresa possui perdas mais expressivas por ociosidade, o que pode ocorrer mesmo que os índices de ajuste técnico e econômico sejam elevados. A equação 14 evidencia que a eficiência global de um sistema produtivo pode ser impactada tanto por perdas de ociosidade, como perdas de desajuste técnico ou perdas econômicas e de mercado.

Este levantamento de ações encerra a fase de aplicação e análise, após a consolidação de todos os resultados obtidos.

#### **4.6. Fase de consolidação da sistemática**

Por fim, a última fase da sistemática busca sua consolidação, introduzindo um elemento de *feedback* e melhoria contínua à metodologia proposta. Partindo da consolidação dos resultados obtidos na fase anterior, pretende-se analisá-los criticamente frente a resultados históricos, bem como analisar eventuais mudanças no processo produtivo que justifiquem ajustes nos parâmetros técnicos e econômicos do modelo. Com base nisto, é possível a proposição de melhorias para a sistemática que retroalimentem as fases ou macro etapas anteriores.

No próximo capítulo deste trabalho, busca-se a validação da sistemática proposta, a partir de sua aplicação em um caso prático.



## **5. RESULTADOS**

Neste capítulo do trabalho, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da sistemática proposta, a partir de um estudo de caso real. Esta aplicação visa validar a sistemática, evidenciar os principais resultados que ela pode gerar e identificar oportunidades de melhoria. A apresentação dos resultados segue a mesma lógica de fases e etapas apresentada no capítulo anterior.

### **5.1. Fase de compreensão do cenário**

A empresa analisada neste trabalho é uma indústria de manufatura que atua no setor de fabricação e comercialização de equipamentos e instrumentos de medição. Seu portfólio de produtos abrange mais de três mil itens, contando tanto com fabricação própria quanto importação de itens que são apenas embalados e revendidos, e possui ênfase nas áreas da saúde, com produtos como termômetros, medidores de pressão e de peso, e na área técnica, fornecendo produtos como termômetros de precisão e densimetria para indústrias. A empresa também atua com serviços de calibração, soluções integradas para medição e controle e instrumentos de medição voltados ao ambiente doméstico, como estações meteorológicas portáteis e termômetros digitais. Localiza-se no sul do Brasil, e possui aproximadamente 200 funcionários. Em termos administrativos, a empresa está organizada em departamentos, conforme mostra a Figura 12.

O sistema de custos da empresa repousa sobre o princípio de custeio por Absorção Total associado ao método dos Centros de Custos. Com relação ao princípio utilizado, ao calcular as taxas-hora dos processos produtivos, a empresa divide os seus custos pelas horas efetivamente trabalhadas, obtidas mediante apuração dos apontamentos das ordens de produção registradas no período. Assim, repassa aos produtos toda a ineficiência (normal e anormal) do processo produtivo. Com relação ao método de custeio,

os centros de custos da empresa refletem sua estrutura organizacional, conforme apresentado na Figura 12.

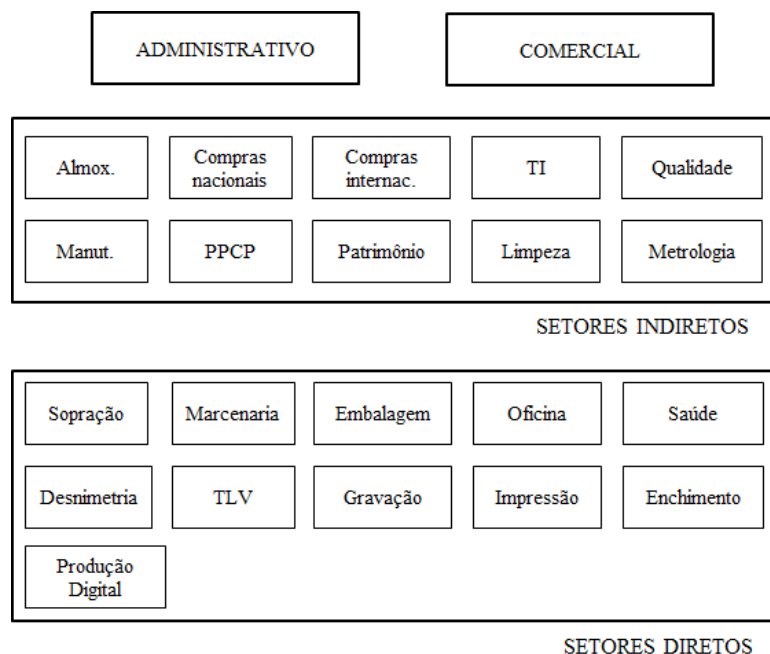


Figura 12 - Estrutura departamental da empresa estudada

As despesas diretas são alocadas primariamente a todos os centros de custos, via estrutura de contas contábeis. As despesas dos centros administrativos e comerciais são consideradas despesas de estrutura do período, e não são tratadas pelo sistema em questão. Quanto às despesas dos centros indiretos, elas são distribuídas aos centros produtivos segundo critérios de rateio arbitrados em consenso pelos diretores, gerentes e coordenadores das diversas áreas. Desta forma, a empresa trata de seus custos de mão-de-obra (MOD) e custos indiretos de fabricação (CIF) pelo método dos Centros de Custos, de forma bem similar ao que é apresentado pela literatura sobre o assunto. A empresa não possui nenhum método formal de custeio de matéria-prima, sob a justificativa de que sua representatividade no custo total dos produtos de fabricação própria é baixa, entre 5% e 10%, além do fato de a principal matéria-prima, o vidro, ter um custo unitário baixo, não justificando maiores preocupações quanto à eficiência no seu consumo.

A gestão de informações da empresa está fundamentada na utilização de um *software* ERP que abrange todas as suas áreas, desde a entrada de pedidos, passando por compras, produção, financeiro e contabilidade. Assim, as informações do sistema de custos

são coletadas com periodicidade mensal, após o fechamento contábil do período, e a operacionalização do sistema de custos é feita de forma integral pelo próprio ERP. As informações finais de taxas-hora por centro de custos, custos unitários por produto, custos variáveis e margens de contribuição são extraídas do sistema e manipuladas em análises posteriores feitas em Excel.

Por fim, o processo produtivo da empresa conta com aproximadamente 100 colaboradores e compartilha seus recursos para atender demandas de perfis distintos, dado que a empresa possui um portfólio de produtos diversificado, que abrange itens produzidos por encomenda, fabricação em lotes e projetos especiais. Este processo, em geral, possui características de fabricação artesanal, com alguns setores produtivos compostos quase exclusivamente por trabalho manual, sem nenhuma automatização, enquanto outros demandam um aporte maior de máquinas e equipamentos. Adicionalmente, dada a ampla gama de grandezas físicas passíveis de medição pelos produtos da empresa, seu processo produtivo caracteriza-se pela heterogeneidade no que diz respeito a custos operacionais, necessidade de recursos e tempos de processamento dos diferentes itens.

A programação da produção é administrada sob a ótica do MRP II. Devido ao comportamento sazonal apresentado pelo seu mercado, os períodos de baixa demanda são aproveitados para o estabelecimento de estoques reguladores para o atendimento dos meses de pico. Adicionalmente, uma parcela significativa do faturamento da empresa é gerada por produtos importados, cujos *lead times* de entrega muitas vezes superam seis meses, o que a obriga a manter níveis altos de estoques.

O sistema de trabalho da empresa permite que sejam abertos pedidos de venda de forma irrestrita e que a todos seja dado o prazo de entrega de um mês, independente de uma análise prévia da capacidade produtiva da fábrica. Desta forma, o setor produtivo é pressionado a entregar os pedidos dentro do prazo, acarretando em prejuízos decorrentes da utilização de capacidade contingencial, em especial o uso de horas extras, ou perda excessiva de material. O modelo atual de gerenciamento fabril não contempla nenhum mecanismo de geração de indicadores que permita a análise comparativa da utilização da capacidade instalada, do desempenho na fabricação de diferentes *mix* produtivos e do desempenho operacional de cada um dos postos de trabalho, não apoiando a gestão de capacidade. A análise de indicadores de produção baseia-se na comparação de quantidades de peças fabricadas por cada setor ao longo do tempo. Estes comparativos não levam em conta as

diferenças existentes entre os produtos fabricados dentro de cada setor, o que inviabiliza a análise a respeito da sua real produtividade e variação de produção.

Nota-se, portanto, que existe espaço para atuação no âmbito do controle e gestão de capacidade. O diagnóstico realizado indica que a empresa se beneficiaria pela implantação da sistemática proposta neste trabalho. Na sequência serão discutidos os resultados da segunda fase desta sistemática, que se refere ao levantamento de dados.

## 5.2. Fase de levantamento de dados

A fase de levantamento de dados divide-se em duas macro-etapas que focam em informações de produção e informações comerciais. Inicialmente definiu-se que o escopo de análise abrange o setor produtivo da empresa na sua totalidade, considerando todos os recursos. No que se refere aos produtos, dado que a empresa possui um extenso portfólio, entre itens de produção própria e itens importados e revendidos, optou-se pela criação de famílias para a simplificação da análise.

O mapeamento dos recursos da estrutura produtiva da empresa identificou trinta e cinco operações, responsáveis pela produção de todo o catálogo de itens. Para cada uma delas, foram levantadas informações como: turnos de trabalho, quantidade de recursos, tempo de calendário, histórico de perdas por ociosidade, quantidade de operadores necessários por recurso, bem como dados sobre a estrutura de custos necessária para sua operação. A Tabela 1 mostra um resumo das operações identificadas no processo.

Op	Descrição	Op	Descrição	Op	Descrição
Op. 1	Capilares - Aut.	Op. 13	Calibração Água	Op. 25	Inspeção Inicial Analog.
Op. 2	Operação Liq	Op. 14	Calibração óleo	Op. 26	Inspeção Técnico
Op. 3	Fechamento Vidro	Op. 15	Calibração Silicone	Op. 27	Montagem 1
Op. 4	Fomos	Op. 16	Gravação Escala	Op. 28	Montagem 2
Op. 5	Sopração	Op. 17	Operação Gravação	Op. 29	Fabricação Mad
Op. 6	Sopração Capilar	Op. 18	Cabine Pintura Primer	Op. 30	Pintura
Op. 7	Calibração GLP	Op. 19	Impressão Base Solvente	Op. 31	Dobra / Corte Metal
Op. 8	Enchimento Mercúrio	Op. 20	Impressão Serigrafia	Op. 32	Furação
Op. 9	Lavagem	Op. 21	Impressão UV	Op. 33	Tomou/Usinagem
Op. 10	Calibração Dens	Op. 22	Encartel/Emb 1	Op. 34	Produção Dig.
Op. 11	Chumbo/Lacre	Op. 23	Encartel/Emb 2	Op. 35	Operação / Embalamento Cust
Op. 12	Pré-escala	Op. 24	Identificação		

Tabela 1- Levantamento das operações produtivas

Paralelamente, devem ser realizadas definições sobre os produtos analisados. Foram identificadas vinte e cinco famílias de produtos para análise, as quais foram definidas levando em conta critérios como similaridade estrutural, finalidade do produto e similaridade de roteiros. A Tabela 2 apresenta as famílias identificadas.

id	Código	Descrição	id	Código	Descrição	id	Código	Descrição
1	A	Amb.	10	ST02	Saúde Oval.	18	TD	Técnico Dens.
2	AP	Amb. Plas.	11	ST06	Saúde Eco.	19	TP50	Técnico Pluv.
3	S950	Saúde Div.	12	ST10	Saúde Term.	20	TT18	Técnico Externa
4	SB00	Saúde Bal.	13	ST20	Saúde Med.	21	TT20	Técnico Interna
5	SC00	Saúde Com.	14	ST22	Saúde Domo.	22	TT45	Máximo
6	SE00	Saúde Estet.	15	SU00	Saúde Umid.	23	TT50	Petróleo
7	SI00	Saúde Infra	16	T	Técnico	24	TT58	Refrigeração
8	SP00	Saúde Pres.	17	T950	Técnico Div.	25	TT95	Pirômetro
9	ST00	Saúde Red.						

Tabela 2 - Definição das famílias de produtos

Os roteiros das famílias representam as médias ponderadas dos itens individuais que as compõem. Estes roteiros compreendem os tempos unitários de processamento e *setup*, e são apresentados na Tabela 3. Por motivo de limitação de espaço, dado que foram identificadas trinta e cinco operações e vinte e cinco famílias de produtos, esta tabela mostra apenas uma parte das famílias, para ilustrar o resultado obtido.

id	1	7	14	16	17	18	22	23	24	25
Código	A	SI00	ST22	T	T950	ID	TT45	TT50	TT58	TT95
PO-074	0,4551	-	-	-	-	0,0195	0,0112	0,0142	0,0135	0,0199
PO-006	-	-	-	-	-	0,1471	-	-	-	-
PO-014	-	-	-	-	-	0,0230	-	-	-	-
PO-080	-	-	-	-	-	0,0738	-	-	-	-
PO-008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-038	0,0043	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0422
PO-064	-	-	-	-	-	0,0022	-	0,0011	0,0014	-
PO-050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0264
PO-076	-	-	-	-	-	-	-	0,0522	0,0355	0,0637
PO-002	-	-	-	0,0100	-	-	-	-	-	-
PO-054	-	-	-	0,0100	-	-	-	-	-	-
PO-056	0,1311	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-058	-	-	-	-	-	-	-	0,0080	-	0,0143
PO-040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-016	-	-	-	-	0,0100	-	-	-	-	-
PO-048	-	-	-	-	0,0100	-	-	-	-	-
PO-090	-	-	-	-	0,0100	-	-	-	-	-
PO-082	-	-	-	-	-	0,0078	-	-	-	-
PO-030	-	-	0,0017	-	-	-	-	-	-	-
PO-032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-052	-	0,0264	0,0008	-	-	-	-	-	0,0020	-
PO-060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-070	-	0,0015	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-072	-	0,0018	0,0196	-	-	-	-	-	-	-
PO-034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-036	-	-	-	-	-	-	-	0,0122	0,0117	-
PO-044	-	-	-	-	-	0,0103	-	0,0266	0,0188	0,0209
PO-046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-084	-	-	-	-	-	-	-	0,0791	0,0203	0,1541
PO-086	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-004	-	-	-	-	-	-	-	0,0272	0,0123	0,0264
PO-010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>0,590</b>	<b>0,030</b>	<b>0,022</b>	<b>0,020</b>	<b>0,030</b>	<b>0,284</b>	<b>0,011</b>	<b>0,221</b>	<b>0,116</b>	<b>0,368</b>

Tabela 3 - Roteiros produtivos de famílias dez famílias de produtos

Desta forma, conclui-se o levantamento dos dados de produção. Adicionalmente, a metodologia propõe o levantamento de dados comerciais referentes às previsões de demanda e preços e margens operacionais das famílias de produtos. No que se refere à previsão de demanda, dado que o presente trabalho não tem por foco este assunto, o qual é apenas uma das informações que compõem o modelo, a metodologia proposta não especifica método algum de previsão, ficando a cargo do pesquisador definir a melhor forma de obter esta informação. Neste estudo, não foi empregado nenhum método matemático formal, apenas calculada a demanda mensal média com base nos dados de um período de doze meses, levantados junto à área comercial. A Tabela 4 apresenta um resumo das informações comerciais.

Importante ressaltar que a margem apontada na Tabela 4 se trata da margem de contribuição dos produtos, ou seja, a diferença entre seu preço de venda e seu custo variável. É a parcela do preço que contribui para o pagamento da estrutura fixa e impostos e para a geração de lucro. Percebe-se que o portfólio de produtos é heterogêneo no que diz respeito à

lucratividade proporcionada por cada um, com margens variando de 2% (Família ST06) a 73% (Família A).

id	Código	Demanda	Margem	id	Código	Demanda	Margem	id	Código	Demanda	Margem
1	A	1.522	73%	10	ST02	66.942	24%	18	TD	3.140	41%
2	AP	662	29%	11	ST06	2.637	2%	19	TP50	2.222	40%
3	S950	4.823	37%	12	ST10	106.640	28%	20	TT18	1.499	35%
4	SB00	3.311	29%	13	ST20	2.653	33%	21	TT20	1.371	36%
5	SC00	27.393	33%	14	ST22	6.253	46%	22	TT45	952	48%
6	SE00	1.709	37%	15	SU00	3.046	22%	23	TT50	1.085	20%
7	SI00	728	39%	16	T	10.496	46%	24	TT58	3.094	37%
8	SP00	15.654	15%	17	T950	4.829	43%	25	TT95	3.404	45%
9	ST00	1.666	17%								

Tabela 4 - Resumo de informações comerciais

Desta forma, obteve-se a consolidação das informações tanto de recursos produtivos quanto do portfólio de produtos. O cenário foi devidamente mapeado, então, para a fase seguinte, de parametrização do processo, que visa a utilização destas informações como subsídio para a criação de um modelo matemático que expresse os diferentes níveis de capacidade propostos neste trabalho.

### 5.3. Fase de parametrização do processo

Esta fase compreende as macro-etapas de implantação do método das UEPs e modelagem matemática para otimização de capacidade. A primeira delas engloba uma série de passos visando a parametrização técnica e econômica do processo produtivo via método das UEPs, os quais são apresentados na sequência. Conforme já foi comentado, este método é utilizado aqui como um apoio à sistemática proposta e, portanto, não é o foco principal do trabalho. Assim, neste momento é apresentada sua implantação, conforme prevista nos capítulos anteriores, porém de forma resumida, tendo em vista que o assunto já foi abordado de forma particular e exaustiva em outros trabalhos, tanto do ponto de vista teórico quanto aplicado.

Inicialmente, procede-se à divisão da fábrica em Postos Operativos (POs), os quais representam conjuntos de uma ou mais operações homogêneas para o *mix* produtivo considerado. Dada a natureza das operações em estudo, optou-se por dividir os onze centros de custos produtivos em trinta e cinco POs, um para cada uma das operações identificadas na Tabela 1. A Tabela 5 apresenta os POs, relacionados aos seus centros de custos originais.

CC	PO	Descr. Operação	CC	PO	Descr. Operação	CC	PO	Descr. Operação
CC1	PO-034	Capilares - Aut.	CC4	PO-004	Calibração Água	CC7	PO-060	Inspeção Inicial Analog.
CC1	PO-036	Operação Liq	CC4	PO-010	Calibração óleo	CC7	PO-062	Inspeção Técnico
CC1	PO-044	Fechamento Vidro	CC4	PO-012	Calibração Silicone	CC7	PO-070	Montagem 1
CC1	PO-046	Fornos	CC5	PO-050	Gravação Escala	CC7	PO-072	Montagem 2
CC1	PO-084	Sopração	CC5	PO-076	Operação Gravação	CC8	PO-040	Fabricação Mad
CC1	PO-086	Sopração Capilar	CC6	PO-002	Cabine Pintura Primer	CC8	PO-078	Pintura
CC2	PO-008	Calibração GLP	CC6	PO-054	Impressão Base Solvente	CC9	PO-016	Dobra / Corte Metal
CC2	PO-038	Enchimento Mercúrio	CC6	PO-056	Impressão Serigrafia	CC9	PO-048	Furação
CC2	PO-064	Lavagem	CC6	PO-058	Impressão UV	CC9	PO-090	Torno/Usinagem
CC3	PO-006	Calibração Dens	CC7	PO-030	Encartel/Emb 1	CC10	PO-082	Produção Dig.
CC3	PO-014	Chumbo/Lacre	CC7	PO-032	Encartel/Emb 2	CC11	PO-074	Operação / Embalamento Cust
CC3	PO-080	Pré-escala	CC7	PO-052	Identificação			

Tabela 5 - Definição dos postos operativos (POs)

Na sequência, foram determinadas as parcelas fixas e variáveis dos itens de custos considerados. Conforme revisão da literatura e após análise da estrutura de custos da empresa, optou-se pela consideração dos seguintes itens: mão-de-obra direta e indireta depreciação técnica, mão-de-obra de manutenção, materiais de manutenção, materiais de consumo e energia elétrica. Os percentuais propostos são apresentados na Tabela 6.

	MOD	MOI	Depreciação	Manut. MO	Manut.	Mat. Consumo	Energia
Fixo	80%	80%	50%	80%	30%	0%	20%
Variável	20%	20%	50%	20%	70%	100%	80%

Tabela 6 - Determinação das parcelas de custos fixos e variáveis dos itens de custo dos POs

Estes percentuais foram aplicados ao cálculo dos foto-índices, gerando um foto-índice fixo e variável para cada PO. Embora na média de todos os itens a proporção entre as parcelas fixa e variável seja aproximadamente igual, os itens predominantemente fixos são aqueles de maior peso na estrutura de custos da empresa, ou seja, mão-de-obra direta e indireta. Logo, o custo da estrutura produtiva é mais fixo do que variável, e isto gera desdobramentos nos esforços produtivos em potencial que empresa deixa de utilizar. Um resumo do cálculo dos FIPOs é exposto na Tabela 7, destacando as diferenças entre os valores dentro de um mesmo centro de custos.



CC	PO	MOD (RS/h)	MOI (RS/h)	Depreciação Tec. (RS/h)	Manutenção MO (RS/h)	Manutenção (RS/h)	Mat. Consumo (RS/h)	Energia Elétrica (RS/h)	FIPOs (RS/h)	FIPO Fixo	FIPO Var.
CC1	PO-034	18,25	0,59	0,17	0,15	0,11	0,58	0,59	20,44	15,43	5,01
CC1	PO-036	18,25	0,59	0,12	0,15	0,11	0,58	0,59	20,39	15,40	4,99
CC1	PO-044	18,25	0,59	0,12	0,15	0,11	0,58	0,59	20,39	15,40	4,99
CC1	PO-046	0,00	0,59	0,25	0,15	0,11	0,58	0,59	2,27	0,87	1,40
CC1	PO-084	18,25	0,59	0,70	0,15	0,77	4,05	0,59	25,10	15,89	9,21
CC1	PO-086	18,82	0,59	0,13	0,15	0,11	0,58	0,59	20,97	15,86	5,10
CC2	PO-008	35,48	1,33	1,31	0,67	0,20	1,81	0,59	41,39	30,82	10,57
CC2	PO-038	35,48	1,33	0,41	0,67	0,32	2,89	0,59	41,69	30,40	11,29
CC2	PO-064	35,48	1,33	0,41	0,67	0,28	2,53	0,59	41,29	30,39	10,90
CC3	PO-006	13,77	0,74	0,08	0,22	2,33	3,34	1,42	21,90	12,81	9,09
CC3	PO-014	20,23	0,74	0,16	0,22	1,02	1,47	1,42	25,27	17,63	7,64
CC3	PO-080	12,14	0,74	0,02	0,22	1,02	1,47	1,42	17,04	11,09	5,95
CC4	PO-004	15,43	1,11	0,28	0,94	0,72	3,36	1,67	23,51	14,68	8,83
CC4	PO-010	15,43	1,11	0,23	0,94	0,19	0,90	1,67	20,47	14,49	5,98
CC4	PO-012	15,43	1,11	0,22	0,94	0,05	0,22	1,67	19,65	14,45	5,20
CC5	PO-050	20,85	0,89	0,14	0,17	0,01	1,00	0,90	23,96	17,78	6,18
CC5	PO-076	18,75	0,89	0,03	0,17	0,01	1,50	0,90	22,25	16,04	6,21
CC6	PO-002	16,87	0,89	0,72	0,44	0,62	2,36	1,33	23,23	15,37	7,86
CC6	PO-054	16,87	0,89	0,64	0,44	0,62	2,36	1,33	23,15	15,33	7,82
CC6	PO-056	16,87	0,89	0,01	0,44	1,45	5,50	1,33	26,49	15,27	11,23
CC6	PO-058	16,87	0,89	1,40	0,44	1,45	5,50	1,33	27,88	15,96	11,92
CC7	PO-030	28,19	0,63	0,73	0,24	0,90	2,66	1,32	34,66	24,15	10,52
CC7	PO-032	39,67	0,63	0,94	0,24	0,90	2,66	1,32	46,36	33,44	12,92
CC7	PO-052	11,35	0,63	1,94	0,24	0,90	2,66	1,32	19,03	11,28	7,75
CC7	PO-060	37,92	0,63	0,36	0,24	0,18	0,53	1,32	41,18	31,53	9,65
CC7	PO-062	17,16	0,63	0,17	0,24	0,90	2,66	1,32	23,08	15,04	8,03
CC7	PO-070	37,92	0,63	0,17	0,24	0,72	2,13	1,32	43,12	31,60	11,53
CC7	PO-072	90,09	0,63	0,17	0,24	0,90	2,66	1,32	96,01	73,39	22,62
CC8	PO-040	27,81	1,11	0,16	0,13	0,00	0,97	0,53	30,71	23,43	7,28
CC8	PO-078	27,81	1,11	0,00	0,13	0,00	0,97	0,53	30,55	23,35	7,20
CC9	PO-016	21,90	1,11	0,08	0,27	0,14	0,62	0,36	24,49	18,78	5,71
CC9	PO-048	21,90	1,11	0,20	0,27	0,14	0,62	0,36	24,60	18,84	5,76
CC9	PO-090	21,90	1,11	0,27	0,27	0,19	0,83	0,36	24,92	18,89	6,04
CC10	PO-082	23,04	1,33	0,08	0,13	0,00	1,02	1,41	27,02	19,93	7,09
CC11	PO-074	16,61	1,33	0,25	0,13	0,03	4,25	1,07	23,68	14,81	8,87

Tabela 7 - Cálculo dos FIPOs

A Tabela 8 apresenta o cálculo do foto-custo do produto-base da empresa. Para a definição do produto-base, optou-se pela utilização de um produto fictício, devido à heterogeneidade do *mix* produtivo. Foi considerada a média de roteiros das duas principais linhas de produtos da empresa, as quais apresentam características distintas de lucratividade, tipo de fabricação (artesanal ou automatizada) e características técnicas. O foto-custo base representa o valor de uma UEP neste processo.

<b>POs</b>	<b>FIPO -Fixo</b>		<b>FIPO -Var.</b>		<b>Tempo (Hrs)</b>	<b>Foto Custo (\$) - Fixo</b>		<b>Foto Custo (\$) - Var</b>		<b>Foto Custo (\$) - Total</b>	
PO-044	R\$	15,4	R\$	5,0	0,01	R\$	0,105	R\$	0,034	R\$	0,139
PO-046	R\$	0,9	R\$	1,4	0,01	R\$	0,007	R\$	0,011	R\$	0,018
PO-084	R\$	15,9	R\$	9,2	0,01	R\$	0,098	R\$	0,057	R\$	0,155
PO-086	R\$	15,9	R\$	5,1	0,01	R\$	0,169	R\$	0,054	R\$	0,224
PO-038	R\$	30,4	R\$	11,3	0,01	R\$	0,453	R\$	0,168	R\$	0,622
PO-004	R\$	14,7	R\$	8,8	0,02	R\$	0,269	R\$	0,162	R\$	0,431
PO-076	R\$	16,0	R\$	6,2	0,04	R\$	0,575	R\$	0,222	R\$	0,797
PO-058	R\$	16,0	R\$	11,9	0,02	R\$	0,244	R\$	0,182	R\$	0,426
PO-030	R\$	24,1	R\$	10,5	0,00	R\$	0,016	R\$	0,007	R\$	0,024
PO-052	R\$	11,3	R\$	7,8	0,00	R\$	0,004	R\$	0,003	R\$	0,006
PO-072	R\$	73,4	R\$	22,6	0,00	R\$	0,034	R\$	0,011	R\$	0,045
PO-074	R\$	14,8	R\$	8,9	0,01	R\$	0,091	R\$	0,055	R\$	0,146
						<b>R\$</b>	<b>2,07</b>	<b>R\$</b>	<b>0,97</b>	<b>R\$</b>	<b>3,03</b>

Tabela 8 - Definição do produto-base e cálculo de seu foto-custo

A Tabela 9 apresenta o cálculo dos potenciais produtivos em UEPs dos postos operativos. A análise dos potenciais calculados leva à conclusão de que o processo analisado é, de fato, heterogêneo, pois engloba operações com capacidades de geração de esforços radicalmente distintas, como exemplificado pelos extremos dos POs 046 e 072. Paralelamente a estas definições de processo, a sistemática prevê a determinação dos equivalentes em UEPs das famílias de produtos. Para tanto, foram utilizadas as famílias previamente definidas e consolidadas na fase anterior da metodologia. Para cada uma destas famílias, foram definidos seus roteiros produtivos, com os tempos de passagem por cada PO. Como a empresa conta com um catálogo extenso de itens, houve a necessidade de um trabalho prévio de análise para a composição das famílias.

PO	UEPs/h Fixa	UEPs/h Variável	UEPs/h Total	PO	UEPs/h Fixa	UEPs/h Variável	UEPs/h Total	PO	UEPs/h Fixa	UEPs/h Variável	UEPs/h Total
PO-034	69,89	22,71	92,60	PO-004	66,49	40,02	106,51	PO-060	142,83	43,72	186,55
PO-036	69,77	22,59	92,36	PO-010	65,65	27,08	92,73	PO-062	68,14	36,39	104,53
PO-044	69,77	22,59	92,36	PO-012	65,45	23,54	89,00	PO-070	143,13	52,22	195,35
PO-046	3,93	6,35	10,28	PO-050	80,55	28,00	108,55	PO-072	332,44	102,46	434,90
PO-084	71,99	41,72	113,71	PO-076	72,67	28,13	100,80	PO-040	106,12	32,98	139,11
PO-086	71,85	23,12	94,97	PO-002	69,64	35,60	105,23	PO-078	105,76	32,62	138,39
PO-008	139,60	47,89	187,49	PO-054	69,45	35,41	104,85	PO-016	85,07	25,85	110,91
PO-038	137,73	51,12	188,85	PO-056	69,16	50,85	120,01	PO-048	85,33	26,11	111,44
PO-064	137,67	49,37	187,04	PO-058	72,30	53,99	126,30	PO-090	85,55	27,35	112,90
PO-006	58,03	41,19	99,22	PO-030	109,38	47,64	157,02	PO-074	67,10	40,16	107,27
PO-014	79,85	34,61	114,46	PO-032	151,48	58,52	210,00	PO-082	90,28	32,11	122,39
PO-080	50,22	26,97	77,18	PO-052	51,08	35,12	86,20				

Tabela 9 - Cálculo dos potenciais produtivos em UEPs

A partir dos roteiros e dos potenciais produtivos já calculados, foram determinados os equivalentes, conforme apresentado na Tabela 10, a qual limita-se a mostrar apenas os dados de dez famílias, pela mesma justificativa apresentada na Tabela 2.

	1	7	14	16	17	18	22	23	24	25
	A	SI00	ST22	T	T950	ID	TI45	IP50	TI58	TI95
PO-074	3,5546	-	-	-	-	0,1520	0,0871	-	0,1053	0,1557
PO-006	-	-	-	-	-	1,0628	-	-	-	-
PO-014	-	-	-	-	-	0,1915	-	-	-	-
PO-080	-	-	-	-	-	0,4147	-	-	-	-
PO-008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-038	0,0585	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5803
PO-064	-	-	-	-	-	0,0293	-	-	0,0197	-
PO-050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2084
PO-076	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2604	0,4674
PO-002	-	-	-	0,0766	-	-	-	-	-	-
PO-054	-	-	-	0,0763	-	-	-	-	-	-
PO-056	1,1456	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1318
PO-040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-016	-	-	-	-	0,0808	-	-	-	-	-
PO-048	-	-	-	-	0,0811	-	-	-	-	-
PO-090	-	-	-	-	0,0822	-	-	-	-	-
PO-082	-	-	-	-	-	0,0691	-	-	-	-
PO-030	-	-	0,0193	-	-	-	-	-	-	-
PO-032	-	-	-	-	-	-	-	0,1529	-	-
PO-052	-	0,1657	0,0047	-	-	-	-	-	0,0127	-
PO-060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-070	-	0,0207	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-072	-	0,0559	0,6203	-	-	-	-	-	-	-
PO-034	-	-	-	-	-	-	-	0,0674	-	-
PO-036	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0788	-
PO-044	-	-	-	-	-	0,0694	-	-	0,1266	0,1403
PO-046	-	-	-	-	-	-	-	0,0075	-	-
PO-084	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1680	1,2756
PO-086	-	-	-	-	-	-	-	0,0692	-	-
PO-004	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0951	0,2049
PO-010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-012	-	-	-	-	-	-	-	0,065	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>4,759</b>	<b>0,242</b>	<b>0,644</b>	<b>0,153</b>	<b>0,244</b>	<b>1,989</b>	<b>0,087</b>	<b>0,362</b>	<b>0,867</b>	<b>3,164</b>

Tabela 10 - Equivalentes em UEPs de 10 famílias de produtos

Desta forma, conclui-se a macro-etapa de implantação do método das UEPs. A macro etapa seguinte propõe a construção do modelo matemático para otimização de capacidade produtiva. Este modelo, conforme justificativa já apresentada, baseia-se em programação linear. Neste ponto da sistemática, são definidas as variáveis e os parâmetros matemáticos empregados no modelo, segundo premissas apresentadas no capítulo quatro, e tomando como base os dados levantados na fase anterior da metodologia. O modelo conceitual proposto evidencia seis níveis de capacidade produtiva, e o modelo matemático expressa todos eles.

Inicialmente foram definidos os parâmetros do modelo. Foi considerado um universo de trinta e cinco POs e vinte e cinco famílias de produtos, e todos os recursos trabalham apenas no turno diurno. As variáveis independentes dizem respeito às quantidades físicas produzidas de cada família e à quantidade de horas extras realizadas em cada PO. As variáveis dependentes se referem às seis capacidades já definidas, e as constantes do modelo são explicadas na sequência do capítulo.

Como resultado parcial desta terceira fase da sistemática, obteve-se a parametrização técnica e econômica do modelo de análise de capacidade. Desta forma, a implantação do método das UEPs, conforme exposto aqui, em conjunto com os dados sobre produtos e processos levantados na fase anterior, permitem a definição da modelagem matemática que representa os diferentes níveis de capacidade apresentados pelo processo produtivo. Esta modelagem busca determinar os níveis de capacidade teórica, normal, potencial e disponível do processo e, através de um modelo de programação linear, calcular os *mix* de produção ótimos que representam as capacidades técnica e econômica, dadas restrições de tempo e restrições mercadológicas, e buscando otimizar a quantidade de UEPs produzidas (no caso da capacidade técnica) e a margem de contribuição (no caso da capacidade econômica). De posse desta modelagem, foi possível passar para a próxima fase da sistemática, que busca aplicar o modelo e analisar seus resultados.

Destaca-se, aqui, que o modelo prevê, no nível da capacidade econômica, a possibilidade de utilização de capacidade contingencial se necessário, na forma de realização de horas extras, para ampliar o potencial de ganho econômico do sistema. No entanto, de forma a manter os números comparáveis entre si, na próxima fase são apresentados os resultados sem a possibilidade de realização de horas extras, isto é, seus coeficientes na função objetivo do problema de capacidade econômica são zerados. Assim, é possível manter

a homogeneidade das análises ao longo da aplicação da metodologia. Ao final do capítulo, são tecidas considerações a respeito do uso de horas extras no caso estudado, e seu impacto nos resultados obtidos, como forma de abordar o tema do uso da capacidade contingencial, levantado no referencial teórico deste trabalho.

Esta modelagem foi feita utilizando o suplemento Solver do Excel, segundo o modelo matemático apresentado e as características no caso em questão, e os resultados decorrentes serão apresentados na sequência.

## 5.4. Fase de aplicação e análise

Após a parametrização técnica e econômica do processo produtivo pela implantação do método das UEPs e a modelagem matemática da sua capacidade, a sistemática seguiu para a fase de aplicação do modelo e análise dos seus resultados, que serão apresentadas na sequência.

### 5.4.1. Aplicação do modelo e resumo dos resultados

De início, buscou-se a determinação dos *mix* produtivos ótimos (técnico e econômico), a partir da execução da programação linear, modelada na fase anterior. A formulação e os resultados completos do modelo de programação linear são apresentados no Anexo I desta dissertação. Na sequência, são expostos alguns resultados. O Gráfico 1 ilustra as diferenças nas quantidades físicas ótimas de cada família entre o *mix* técnico e o econômico.

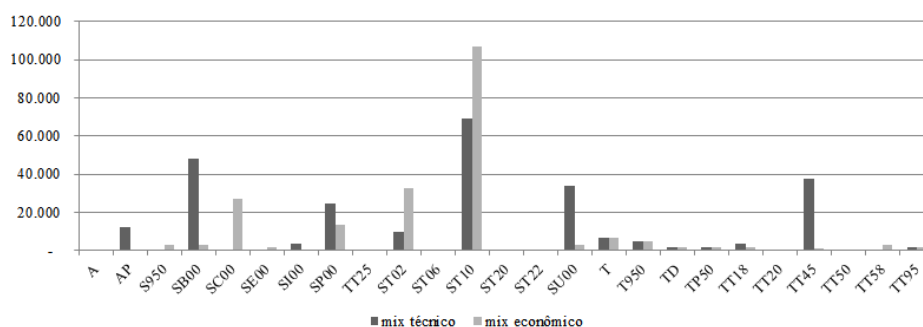


Gráfico 1 - Quantidades ótimas nos *mix* técnico e econômico

A Tabela 11 apresenta uma análise comparativa dos principais resultados obtidos com a execução do modelo de programação linear. As variáveis independentes do modelo, isto é, as quantidades físicas produzidas de cada família, são apresentadas.

Produto	Mix Técnico			Mix Econômico			Horas Extras
	Qtde Produzida	UEPs Produzidas	Margem Obtida (R\$)	Qtde Produzida	UEPs Produzidas	Margem Obtida (R\$)	
A	0	0	R\$ -	649	3.087	R\$ 47.678,45	0
AP	12.086	3.844	R\$ 349.289,22	0	0	R\$ -	0
S950	0	0	R\$ -	2.810	1.518	R\$ 102.828,21	0
SB00	48.228	2.770	R\$ 1.413.065,81	3.311	190	R\$ 97.012,30	0
SC00	0	0	R\$ -	27.393	1.055	R\$ 898.490,40	0
SE00	0	0	R\$ -	1.709	594	R\$ 63.233,00	0
SI00	3.535	856	R\$ 138.203,73	728	176	R\$ 28.464,80	0
SP00	24.441	3.538	R\$ 356.837,87	13.402	1.940	R\$ 195.668,55	0
TT25	0	0	R\$ -	336	1.955	R\$ 13.819,68	0
ST02	9.879	571	R\$ 236.115,91	32.542	1.881	R\$ 777.755,28	0
ST06	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
ST10	69.185	2.482	R\$ 1.971.760,03	106.640	3.826	R\$ 3.039.240,00	0
ST20	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
ST22	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
SU00	34.020	1.069	R\$ 741.636,00	3.046	96	R\$ 66.402,80	0
T	6.804	1.041	R\$ 312.984,00	6.804	1.041	R\$ 312.984,00	0
T950	5.103	1.246	R\$ 219.429,00	4.829	1.179	R\$ 207.647,00	0
TD	1.619	3.219	R\$ 66.041,56	1.619	3.219	R\$ 66.041,56	0
TP50	1.701	615	R\$ 67.189,50	1.701	615	R\$ 67.189,50	0
TT18	3.408	4.093	R\$ 120.314,45	1.499	1.800	R\$ 52.914,70	0
TT20	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
TT45	37.457	3.262	R\$ 1.805.441,93	952	83	R\$ 45.886,40	0
TT50	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
TT58	0	0	R\$ -	3.094	2.681	R\$ 115.406,20	0
TT95	2.015	6.377	R\$ 90.286,65	1.615	5.109	R\$ 72.334,26	0
<b>Total</b>	<b>259.481</b>	<b>34.984</b>	<b>R\$ 7.888.595,66</b>	<b>214.677</b>	<b>32.046</b>	<b>R\$ 6.270.997,10</b>	<b>0</b>

Tabela 11 - Análise comparativa dos resultados do modelo de otimização

Percebe-se que a quantidade física produzida reduz em torno de 13% ao se considerar a capacidade econômica, enquanto a quantidade de UEPs que esta produção representa aumenta em 3%. Isto significa que o *mix* econômico, embora restrito por questões mercadológicas, otimiza o valor econômico da produção da empresa focando nos produtos de maior valor agregado e que consomem os recursos de maior potencial produtivo. Isto pode ser verificado ao se cruzar as informações referentes a quantidades, equivalentes em UEPs e margens de contribuição das famílias de produtos, e ressalta uma vantagem da utilização do método das UEPs para o estudo de capacidade: sua característica de parametrização técnica e econômica do processo produtivo, que permite avaliar também o valor do tempo despendido por cada recurso ou operação produtiva.

A metodologia deste trabalho propõe a resolução de dois problemas distintos de programação linear: um para determinar a capacidade técnica, e o outro para determinar a capacidade econômica. Os resultados das variáveis independentes apresentados na Tabela 11 determinam um valor de 3.733 horas na função objetivo do primeiro problema, e um resultado de R\$ 6.270.997 para o segundo problema.

Com estes dados em mãos, é possível calcular e consolidar todos os níveis de capacidade do modelo. Inicialmente, a Tabela 12 apresenta um resumo do cálculo dos quatro primeiros níveis de capacidade: teórica, normal, potencial e disponível. O tempo de calendário ( $t_c$ ) dos POs é o produto da multiplicação das horas de turno – neste caso, a empresa trabalha apenas no turno diurno, resultando em 189 horas por mês para cada recurso – pela quantidade de recursos disponíveis. É possível notar que existem alguns recursos compartilhados, enquanto outros POs são compostos de mais de um recurso (aqui definido tanto como recurso humano em postos manuais, quanto máquinas e equipamentos em postos automatizados). O tempo disponível ( $t_d$ ) é definido pelo produto do tempo de calendário por um percentual que representa a disponibilidade média de cada PO, calculado com base em dados históricos. O tempo ocioso ( $t_o$ ) representa a diferença entre  $t_c$  e  $t_d$ , e o tempo normal ( $t_n$ ) é obtido pela soma da ociosidade considerada normal ao  $t_d$ .

POs	UEPs/h Fixa	UEPs/h Variável	UEPs/h Total	Recursos	Horas de turno	Tempo de calendário (Tc)	Tempo ocioso anormal	Tempo normal (Tn)	Tempo ocioso normal	Tempo disponível (Td)	Capacidade Teórica	Capacidade Normal	Ociosidade Variável	Capacidade Potencial	Ociosidade Fixa	Capacidade Disponível
PO-074	4,89	2,92	7,81	4,00	189,00	756,00	22,68	733,32	52,92	680,40	5.904,73	5.727,59	154,76	5.749,97	258,57	5.491,40
PO-006	4,22	3,00	7,22	1,40	189,00	264,60	7,94	256,66	18,52	238,14	1.911,51	1.854,16	55,55	1.855,95	78,25	1.777,70
PO-014	5,81	2,52	8,33	0,80	189,00	151,20	4,54	146,66	10,58	136,08	1.260,10	1.222,30	26,67	1.233,43	61,53	1.171,90
PO-080	3,66	1,96	5,62	0,80	189,00	151,20	4,54	146,66	10,58	136,08	849,73	824,24	20,78	828,95	38,70	790,25
PO-008	10,16	3,49	13,65	0,10	189,00	18,90	0,57	18,33	1,32	17,01	258,02	250,28	4,61	253,40	13,45	239,96
PO-038	10,03	3,72	13,75	0,50	189,00	94,50	2,84	91,67	6,62	85,05	1.299,44	1.260,45	24,62	1.274,81	66,34	1.208,48
PO-064	10,02	3,59	13,62	0,40	189,00	75,60	2,27	73,33	5,29	68,04	1.029,58	998,69	19,02	1.010,55	53,05	957,51
PO-050	5,86	2,04	7,90	2,00	189,00	378,00	11,34	366,66	26,46	340,20	2.987,58	2.897,95	53,95	2.933,63	155,18	2.778,45
PO-076	5,29	2,05	7,34	3,00	189,00	567,00	17,01	549,99	39,69	510,30	4.161,30	4.036,46	81,28	4.080,02	210,01	3.870,01
PO-002	5,07	2,59	7,66	0,40	189,00	75,60	2,27	73,33	5,29	68,04	579,26	561,88	13,72	565,54	26,83	538,71
PO-054	5,06	2,58	7,63	0,40	189,00	75,60	2,27	73,33	5,29	68,04	577,18	559,86	13,64	563,54	26,76	536,78
PO-056	5,04	3,70	8,74	0,50	189,00	94,50	2,84	91,67	6,62	85,05	825,73	800,96	24,49	801,24	33,31	767,93
PO-058	5,26	3,93	9,20	0,70	189,00	132,30	3,97	128,33	9,26	119,07	1.216,63	1.180,13	36,41	1.180,22	48,76	1.131,47
PO-040	7,73	2,40	10,13	0,00	189,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PO-078	7,70	2,38	10,08	0,00	189,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PO-016	6,19	1,88	8,08	0,30	189,00	56,70	1,70	55,00	3,97	51,03	457,90	444,16	7,47	450,43	24,58	425,85
PO-048	6,21	1,90	8,11	0,30	189,00	56,70	1,70	55,00	3,97	51,03	460,07	446,27	7,55	452,52	24,66	427,86
PO-090	6,23	1,99	8,22	0,40	189,00	75,60	2,27	73,33	5,29	68,04	621,47	602,83	10,54	610,93	32,96	577,97
PO-082	6,57	2,34	8,91	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	1.684,29	1.633,76	30,94	1.653,35	86,96	1.566,39
PO-030	7,96	3,47	11,43	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	2.160,78	2.095,95	45,89	2.114,89	105,36	2.009,52
PO-032	11,03	4,26	15,29	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	2.889,87	2.803,17	56,37	2.833,49	145,92	2.687,57
PO-052	3,72	2,56	6,28	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	1.186,23	1.150,64	33,83	1.152,40	49,21	1.103,19
PO-060	10,40	3,18	13,58	0,20	189,00	37,80	1,13	36,67	2,65	34,02	513,43	498,03	8,42	505,01	27,52	477,49
PO-062	4,96	2,65	7,61	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	1.438,50	1.395,35	35,05	1.403,45	65,64	1.337,81
PO-070	10,42	3,80	14,22	0,80	189,00	151,20	4,54	146,66	10,58	136,08	2.150,61	2.086,10	40,24	2.110,37	110,30	2.000,07
PO-072	24,21	7,46	31,67	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	5.984,89	5.805,34	98,70	5.886,18	320,24	5.565,94
PO-034	5,09	1,65	6,74	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	1.274,26	1.236,03	21,87	1.252,38	67,33	1.185,06
PO-036	5,08	1,64	6,72	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	1.270,95	1.232,82	21,76	1.249,19	67,21	1.181,98
PO-044	5,08	1,64	6,72	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	1.270,95	1.232,82	21,76	1.249,19	67,21	1.181,98
PO-046	0,29	0,46	0,75	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	141,42	137,18	6,12	135,30	3,78	131,52
PO-084	5,24	3,04	8,28	7,00	189,00	1.323,00	39,69	1.283,31	92,61	1.190,70	10.953,30	10.624,70	281,31	10.671,99	485,42	10.186,57
PO-086	5,23	1,68	6,92	1,00	189,00	189,00	5,67	183,33	13,23	170,10	1.306,97	1.267,76	22,27	1.284,70	69,22	1.215,49
PO-004	4,84	2,91	7,75	0,60	189,00	113,40	3,40	110,00	7,94	102,06	879,41	853,02	23,13	856,28	38,43	817,85
PO-010	4,78	1,97	6,75	0,30	189,00	56,70	1,70	55,00	3,97	51,03	382,81	371,33	7,82	374,99	18,97	356,02
PO-012	4,77	1,71	6,48	0,10	189,00	18,90	0,57	18,33	1,32	17,01	122,47	118,80	2,27	120,20	6,31	113,90
<b>TOTAL</b>											<b>60.011,36</b>	<b>58.211,02</b>	<b>1.312,83</b>	<b>58.698,53</b>	<b>2.887,97</b>	<b>55.810,56</b>

Tabela 12 - Cálculo de capacidades da empresa estudada



Conforme o modelo matemático apresentado, a capacidade teórica se dá pelo produto entre potenciais produtivos e tempos de calendário. A capacidade disponível, por sua vez, é calculada pelo produto entre potenciais produtivos e tempos disponíveis. A diferença entre estas duas capacidades representa a ociosidade do sistema, a qual pode ser dividida nas parcelas fixa e variável, através da multiplicação do tempo ocioso pelos potenciais fixos e variáveis, respectivamente. Importante retomar a ideia de que, ao não utilizar sua capacidade total, a empresa incorre em perdas por ociosidade. Todavia, apenas a parcela fixa dos custos relacionados a esta ociosidade é de fato perdida, dado que a parcela variável não é utilizada caso não haja produção.

Sendo assim, a ociosidade fixa apresentada, de 2.887,97 UEPs, pode ser considerada uma produção potencial, que representa o quanto a mais de esforço o sistema poderia produzir, dada a estrutura fixa existente não utilizada. Conclui-se, assim, pela existência de uma capacidade potencial, cujo conceito faz sentido no contexto apresentado, dado que a utilização do método das UEPs trata da produção em termos de valor econômico, e esta divisão de UEPs entre fixas e variáveis está intrinsecamente ligada à noção de valor.

Nota-se que alguns postos são mais dependentes da estrutura produtiva fixa do que outros, gerando proporcionalmente mais UEPs fixas. Estes postos possuem uma maior proporção de custos de mão-de-obra, os quais são predominantemente fixos, e são as operações mais penalizadas pela não utilização da capacidade total do sistema, gerando um potencial maior de UEPs não utilizadas.

O Gráfico 2 resume o cálculo dos níveis de capacidade produtiva e os gaps de capacidade encontrados. A Tabela 13, por sua vez, detalha estes resultados por PO.

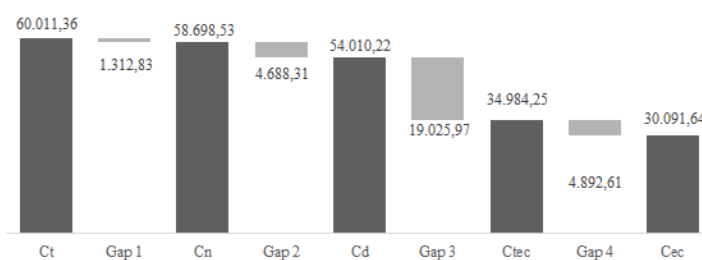


Gráfico 2 - Resumo do cálculo dos níveis de capacidade

Recurso	Ct	gap 1	Cn	gap 2	Cd	gap 3	Ctec	gap 4	Cec	Cp
PO-034	1.274	38	1.236	89	1.147	1.032	115	0	115	1.252
PO-036	1.271	38	1.233	89	1.144	1.049	94	-191	285	1.249
PO-044	1.271	38	1.233	89	1.144	523	621	-209	830	1.249
PO-046	141	4	137	10	127	115	13	0	13	135
PO-084	10.953	329	10.625	767	9.858	5.853	4.005	795	3.210	10.672
PO-086	1.307	39	1.268	91	1.176	1.059	118	0	118	1.285
PO-008	258	8	250	18	232	84	148	67	81	253
PO-038	1.299	39	1.260	91	1.169	0	1.169	195	975	1.275
PO-064	1.030	31	999	72	927	879	47	-61	108	1.011
PO-006	1.912	57	1.854	134	1.720	0	1.720	0	1.720	1.856
PO-014	1.260	38	1.222	88	1.134	824	310	0	310	1.233
PO-080	850	25	824	59	765	93	671	0	671	829
PO-004	879	26	853	62	791	0	791	0	791	856
PO-010	383	11	371	27	345	345	0	0	0	375
PO-012	122	4	119	9	110	0	110	0	110	120
PO-050	2.988	90	2.898	209	2.689	2.269	420	83	336	2.934
PO-076	4.161	125	4.036	291	3.745	1.008	2.737	387	2.350	4.080
PO-002	579	17	562	41	521	0	521	0	521	566
PO-054	577	17	560	40	519	0	519	0	519	564
PO-056	826	25	801	58	743	0	743	0	743	801
PO-058	1.217	36	1.180	85	1.095	8	1.087	874	213	1.180
PO-030	2.161	65	2.096	151	1.945	0	1.945	0	1.945	2.115
PO-032	2.890	87	2.803	202	2.601	2.341	260	0	260	2.833
PO-052	1.186	36	1.151	83	1.068	0	1.068	284	783	1.152
PO-060	513	15	498	36	462	0	462	421	41	505
PO-062	1.439	43	1.395	101	1.295	0	1.295	1.206	89	1.403
PO-070	2.151	65	2.086	151	1.936	0	1.936	0	1.936	2.110
PO-072	5.985	180	5.805	419	5.386	0	5.386	0	5.386	5.886
PO-040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO-078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO-016	458	14	444	32	412	0	412	22	390	450
PO-048	460	14	446	32	414	0	414	22	392	453
PO-090	621	19	603	44	559	140	419	23	397	611
PO-074	5.905	177	5.728	413	5.314	0	5.314	975	4.339	5.750
PO-082	1.684	51	1.634	118	1.516	1.404	112	0	112	1.653
<b>Total</b>	<b>60.011</b>	<b>1.800</b>	<b>58.211</b>	<b>4.201</b>	<b>54.010</b>	<b>19.026</b>	<b>34.984</b>	<b>4.893</b>	<b>30.092</b>	<b>58.699</b>

Tabela 13 - Capacidades produtivas por PO

Na prática, estes números mostram que circunstâncias técnicas referentes ao processo limitam severamente a sua capacidade produtiva, tanto em termos de volume físico quanto em termos de valor agregado, enquanto as circunstâncias econômicas que cercam a empresa representam pouca restrição adicional à questão técnica. No fim das contas, não faz sentido falar em uma capacidade disponível de 54.010,22 UEPs quando, na realidade, restrições técnicas e mercadológicas em associação à estrutura de margens praticadas pela empresa resultam em um valor máximo de 30.091,64 UEPs (capacidade econômica). Qualquer produção acima deste nível mantendo as proporções do *mix* ótimo manterá a margem total prevista, mas não será absorvida pelo mercado. Caso a proporção do *mix* não seja mantida, além de resultar em produção não absorvida pelo mercado, diminuirá a margem total obtida.

Por fim, a Tabela 14 apresenta o resultado do cálculo dos indicadores de desempenho propostos na sistemática para todos os POs individualmente, enquanto o Gráfico 3 mostra o resumo dos índices globais. A obtenção destes índices pelo método pode ser feita de forma localizada, facilitando o diagnóstico de eventuais desvios de produção e permitindo a adoção de medidas corretivas rápidas e eficazes, bem como de forma globalizada. Os índices globais apresentados no Gráfico 3 representam uma média ponderada dos índices individuais da Tabela 12, pelo fato de a parametrização econômica realizada levar em conta não somente os tempos de produção, mas também o valor econômico deste tempo, o que representa uma vantagem da utilização do método das UEPs para este propósito. Adicionalmente, vale ressaltar que a utilização dos índices individuais deve ser feita com ponderação, pois, conforme defendido pela Teoria das Restrições, a utilização dos postos operativos não-gargalos deveria ser orientada pelas restrições do sistema produtivo, não pelo seu próprio potencial produtivo.

PO	IATEC	IAE	IEG	PO	IATEC	IAE	IEG
PO-034	10%	100%	9%	PO-054	100%	100%	90%
PO-036	8%	100%	22%	PO-056	100%	100%	90%
PO-044	54%	134%	65%	PO-058	99%	20%	17%
PO-046	10%	100%	9%	PO-030	100%	100%	90%
PO-084	41%	80%	29%	PO-032	10%	100%	9%
PO-086	10%	100%	9%	PO-052	100%	73%	66%
PO-008	64%	55%	31%	PO-060	100%	9%	8%
PO-038	100%	83%	75%	PO-062	100%	7%	6%
PO-064	5%	100%	11%	PO-070	100%	100%	90%
PO-006	100%	100%	90%	PO-072	100%	100%	90%
PO-014	27%	100%	25%	PO-040	0%	0%	0%
PO-080	88%	100%	79%	PO-078	0%	0%	0%
PO-004	100%	100%	90%	PO-016	100%	95%	85%
PO-010	0%	0%	0%	PO-048	100%	95%	85%
PO-012	100%	100%	90%	PO-090	75%	95%	64%
PO-050	16%	80%	11%	PO-074	100%	82%	73%
PO-076	73%	86%	56%	PO-082	7%	100%	7%
PO-002	100%	100%	90%				

Tabela 14 - Indicadores de desempenho

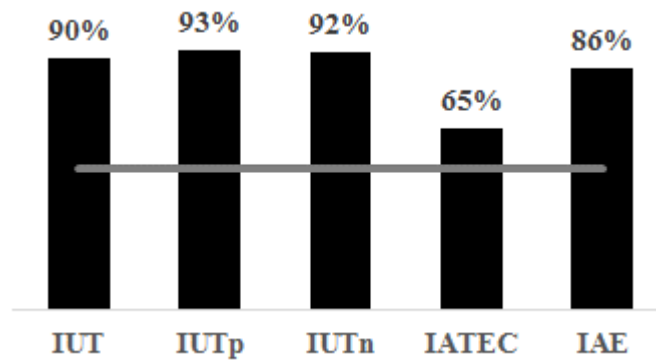


Gráfico 3 - Resumo dos indicadores de desempenho

A Tabela 14 exhibe apenas os indicadores IATEC, IAE e IEG, que são os de maior interesse para a presente análise, enquanto os demais estão consolidados no Gráfico 3. Adicionalmente, para este caso os indicadores IUT, IUTp e IUTn foram construídos de forma homogênea, aplicando-se os respectivos percentuais a todos os POs (90%, 93% e 92%), tendo em vista que a base de dados da empresa não permitiu apurar estes indicadores de forma mais precisa, restando estipular um percentual aceitável com base na experiência das pessoas envolvidas.

#### 5.4.2. Análise e discussão dos resultados

A análise do conjunto dos resultados permite a obtenção de conclusões interessantes. Inicialmente, uma análise individualizada dos produtos mostra que famílias como a SB00 e a SU00 possuem grande representatividade no *mix* técnico, tendo em vista seus roteiros curtos, embora possuam uma representatividade consideravelmente menor no *mix* econômico por conta de sua baixa demanda e baixa margem de contribuição. A parametrização econômica do processo ainda evidencia que estas famílias, além de possuírem tempos de processamento reduzidos, consomem recursos de menor potencial produtivo, ou seja, representam menos UEPs produzidas.

Por outro lado, famílias como a SC00 e a ST10 possuem quantidades representativas no *mix* econômico por conta de suas altas demandas de mercado, ainda que suas margens sejam reduzidas. No entanto, percebe-se que o modelo busca maximizar as quantidades de famílias que possuem característica combinada de maiores margens e equivalentes, embora dentro das respectivas restrições de demanda, confirmando a premissa de que a capacidade econômica deve ser o nível em que o valor econômico da produção da empresa é maximizado, dadas as restrições de mercado.

Adicionalmente, percebe-se que o *mix* econômico da empresa apresenta uma combinação ligeiramente mais heterogênea e menos concentrada de produtos, ou seja, a partir do momento em que aspectos econômicos são considerados, o modelo reconhece que a mera consideração de restrições técnicas não é suficiente para adaptar-se aos limites de demanda do mercado, e pondera a necessidade de substituir itens de baixo esforço produtivo por itens de esforços mais elevados e com maiores margens, no intuito de maximizar o valor total da produção. Como exemplos, citam-se os itens SB00 e SU00, os quais no *mix* técnico possuem altos volumes, mas que no *mix* econômico aparecem com volumes consideravelmente menores, por conta especialmente de suas margens e demandas reduzidas. Por outro lado, itens como o ST02 ganham espaço no *mix* econômico, uma vez que o modelo reconhece seu maior potencial de maximizar o valor econômico da produção.

Uma análise individualizada por recursos com base nos dados apresentados no Anexo I indica que a estrutura produtiva disponível da empresa parece estar superdimensionada para a sua realidade técnica. Analisando por outro lado, a empresa não parece ser capaz de obter uma performance produtiva que justifique a estrutura atualmente existente. Percebe-se um descolamento importante entre as capacidades técnica e disponível, com folgas elevadas nas restrições de tempo de alguns recursos, enquanto outros – a exemplo dos POs 016 e 048 – são claramente gargalos do processo. Este resultado sugere que a empresa deve voltar suas atenções para o desbalanceamento técnico do processo, uma vez que para produzir o *mix* que otimiza o uso do tempo disponível, 17 POs trabalham em sua capacidade máxima, 3 não são utilizados e 9 possuem folgas que superam 50% de seu tempo disponível.

Quanto à capacidade econômica, o modelo indica que o processo está razoavelmente bem ajustado para atender ao perfil de demanda do mercado a margens sustentáveis, tendo em vista que o *gap* 4 representa apenas 14% da capacidade técnica. No entanto, a produção do *mix* econômico deixaria a empresa com uma ociosidade de 2.967 horas, aproximadamente 48% do tempo disponível total. Isto indica que a empresa tem potencial para atender à demanda do mercado, mas não consegue atingir este potencial por conta de gargalos técnicos no processo. Algumas famílias de produtos de maior demanda, como a ST10 e SC00, têm suas demandas totalmente atendidas no *mix* econômico, enquanto outras de demanda menos expressiva não. Enquanto em termos de unidades físicas o *mix* econômico atende a 77% da demanda mensal, em termos de UEPs atende apenas a 47%, tendo em vista que deixa de atingir a demanda de alguns itens de baixo volume, mas com alto

valor agregado. Adicionalmente, percebe-se que a capacidade econômica da empresa proporciona uma utilização homogênea dos POs.

De posse dos resultados da aplicação do modelo de programação linear, outras análises podem ser realizadas, de forma a gerar subsídios para as tomadas de decisão. A primeira delas é a análise de sensibilidade dos resultados, a qual auxilia a compreender como a solução ótima dada pelo modelo mudará mediante variações nos coeficientes de entrada. Esta análise é feita, aqui, através dos índices de custo reduzido e preço sombra. O custo reduzido de uma variável, que se aplica somente a variáveis cujo valor na solução ótima é zero, representa o quanto o seu coeficiente numa função objetivo de maximização deve aumentar para que ela deixe de ser zero. Por sua vez, o preço-sombra de uma variável é o seu valor marginal em relação ao resultado total, isto é, o valor em que o resultado de uma função objetivo de maximização seria aumentado dado o aumento de uma unidade desta variável.

Os resultados da análise de sensibilidade dos dois problemas de programação linear também são apresentados no Anexo I, juntamente com os resultados gerais do modelo. No que diz respeito à análise do custo reduzido, nota-se uma necessidade média elevada de variação nos coeficientes originais dos itens com quantidade zerada para que estes passem a fazer parte do *mix*, o que indica uma baixa sensibilidade do modelo para variações nos roteiros produtivos das famílias.

Quanto à análise do preço-sombra, em especial do problema da capacidade econômica, o modelo indica três recursos em particular como principais gargalos do sistema. Os POs 030, 054 e 012 possuem preços-sombra de R\$ 9.107, R\$ 4.600 e 3.950, respectivamente, o que significa que a margem total da produção seria aumentada nestes montantes, para cada unidade aumentada na restrição de tempo disponível destes recursos. Uma rápida análise dos dados levantados inicialmente mostra que a situação é mais delicada nos últimos dois recursos, os quais possuem tempos disponíveis reduzidos e são utilizados exclusivamente por duas famílias de produtos com margens de contribuição elevadas e baixos volumes. Assim, o modelo de capacidade econômica deixa clara a influência das restrições mercadológicas, e sua relação indissociável com a capacidade produtiva da empresa, identificando os POs 030, 054 e 012 como gargalos econômicos deste processo.

Uma análise compreensiva dos indicadores de desempenho propostos na metodologia e apresentados anteriormente na Tabela 14, em linha com os demais resultados apresentados até aqui, possibilita confirmar o diagnóstico de que a estrutura produtiva da

empresa está superdimensionada para a realidade atual. A análise aprofundada da capacidade econômica da empresa evidencia que é possível atingir 47% da demanda atual – em UEPs - com o nível máximo de retorno econômico, utilizando 86% da capacidade técnica em UEPs e 50% do tempo disponível. Enquanto economicamente a capacidade da empresa é aderente à sua disponibilidade de trabalho, com um nível baixo de perdas por desajustes mercadológicos. Tecnicamente existe um descolamento notável, evidenciado pelo *gap* representado no Gráfico 3, em que a empresa apresenta um ajuste econômico de 86% e um ajuste técnico de apenas 65%.

Individualmente, a contraposição dos índices técnicos e econômicos mostra que os recursos apresentam uma disparidade considerável entre estes ajustes. Alguns POs, como o 034 e o 032, possuem 100% de ajuste econômico, mas apenas 10% de ajuste técnico, o que significa que eles possuem uma contribuição importante na maximização da lucratividade da empresa, sendo parte do roteiro de famílias com alto retorno, mas estão gravemente restritos por questões técnicas. Como consequência, seus índices globais de 9% refletem a importância de se contrapor estes dois aspectos para o melhor desempenho do sistema, e certamente estes a empresa se beneficiaria do aumento do tempo disponível ou de recursos para estes POs, de forma a reduzir a restrição técnica. Por outro lado, POs como o 082 e o 074 caminham na direção oposta, estando 100% ajustados tecnicamente, porém devendo na questão econômica.

A construção dos indicadores é feita a partir da divisão de capacidades medidas em UEPs. Em termos de análise individual dos POs, a utilização da UEP seria análoga à utilização dos tempos disponíveis para a obtenção dos percentuais, uma vez que o método multiplica os tempos disponíveis por valores constantes (os potenciais produtivos) para cada PO. No entanto, a grande contribuição do método é a obtenção de índices globais, que são compostos por médias ponderadas dos tempos produtivos pelos valores econômicos associados a cada PO, e permite uma comparação válida de índices técnicos e econômicos.

Outro ponto importante dentro da lógica de análise e gestão da capacidade diz respeito à avaliação econômica das perdas de capacidade. Durante a etapa de implantação do método, calculou-se o chamado foto-custo do produto base (R\$ 3,03), o qual afirmou-se ser o valor padrão de uma UEP da empresa em questão. Desta forma, é possível utilizar este valor para monetarizar os *gaps* de capacidade encontrados. Esta valorização econômica atua como um outro tipo de indicador para a sistemática proposta, contribuindo para análise final dos

resultados do modelo e auxiliando na gestão da capacidade. A Tabela 15 apresenta um resumo deste cálculo, com a visão global da empresa. Por uma questão de espaço, a tabela completa com os resultados por PO pode ser consultada no Anexo II.

	Ct	gap 1	Cn	gap 2	Cd	gap 3	Ctec	gap 4	Cec
UEPs	60.011	1.800	58.211	4.201	54.010	19.026	34.984	1.042	33.942
Valor (R\$)	R\$ 181.834	R\$ 5.455	R\$ 176.379	R\$ 12.728	R\$ 163.651	R\$ 57.649	R\$ 106.002	R\$ 3.157	R\$ 102.846
%	22%	1%	22%	2%	20%	7%	13%	0%	13%

Tabela 15 - Análise econômica de perdas

Por fim, destaca-se brevemente a possibilidade de expansão da capacidade econômica da empresa através da utilização de capacidade contingencial, na forma de horas extras. O modelo matemático apresentado anteriormente no Quadro 3 prevê esta possibilidade, com as horas extras aumentando o lado direito das restrições de tempo, e o valor do adicional pago por estas horas diminuindo a lucratividade total na função objetivo. O levantamento destes parâmetros permitiu fazer uma simulação do resultado final, considerando capacidade contingencial no modelo de capacidade econômica. A Tabela 16 apresenta brevemente estes resultados, a título de informação adicional.

Percebe-se que a permissão para atuar com horas extras melhora o resultado apresentado anteriormente na Tabela 11, com o total de UEPs da capacidade econômica aumentando em 12% e a margem total obtida aumentando em 6%. Estes resultados mostram que a utilização de capacidade contingencial no caso estudado é vantajosa, no sentido de que o benefício de se realizar horas extras até certo ponto é proporcionalmente menor do que o seu custo adicional, resultado em leves relaxamentos nas restrições de alguns POs chave, o que permitiria a produção de itens de maior valor agregado. Caso fosse feita a mesma análise aprofundada para este caso, constatar-se-ia que os índices de ajuste econômicos de alguns POs ultrapassariam os 100%, tendo em vista que a capacidade econômica do sistema, segundo a Tabela 11, seria superior à técnica.



Produto	Mix Técnico			Mix Econômico			Horas Extras
	Qtde Produzida	UEPs Produzidas	Margem Obtida (R\$)	Qtde Produzida	UEPs Produzidas	Margem Obtida (R\$)	
A	0	0	R\$ -	733	3.486	R\$ 53.844,98	0
AP	12.086	3.844	R\$ 349.289,22	0	0	R\$ -	30,8
S950	0	0	R\$ -	4.282	2.314	R\$ 156.734,32	0
SB00	48.228	2.770	R\$ 1.413.065,81	3.311	190	R\$ 97.012,30	0
SC00	0	0	R\$ -	27.393	1.055	R\$ 898.490,40	0
SE00	0	0	R\$ -	1.709	594	R\$ 63.233,00	7,289154675
SI00	3.535	856	R\$ 138.203,73	728	176	R\$ 28.464,80	0
SP00	24.441	3.538	R\$ 356.837,87	12.271	1.776	R\$ 179.157,07	0
TT25	0	0	R\$ -	336	1.955	R\$ 13.819,68	0
ST02	9.879	571	R\$ 236.115,91	43.061	2.489	R\$ 1.029.156,74	8,8
ST06	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	8,8
ST10	69.185	2.482	R\$ 1.971.760,03	106.640	3.826	R\$ 3.039.240,00	11
ST20	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
ST22	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
SU00	34.020	1.069	R\$ 741.636,00	3.046	96	R\$ 66.402,80	0
T	6.804	1.041	R\$ 312.984,00	7.684	1.175	R\$ 353.464,00	0
T950	5.103	1.246	R\$ 219.429,00	4.829	1.179	R\$ 207.647,00	0
TD	1.619	3.219	R\$ 66.041,56	1.828	3.636	R\$ 74.583,09	0
TP50	1.701	615	R\$ 67.189,50	1.921	695	R\$ 75.879,50	0
TT18	3.408	4.093	R\$ 120.314,45	1.499	1.800	R\$ 52.914,70	22
TT20	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
TT45	37.457	3.262	R\$ 1.805.441,93	952	83	R\$ 45.886,40	0
TT50	0	0	R\$ -	0	0	R\$ -	0
TT58	0	0	R\$ -	3.094	2.681	R\$ 115.406,20	0
TT95	2.015	6.377	R\$ 90.286,65	2.114	6.690	R\$ 94.713,54	17,6
<b>Total</b>	<b>259.481</b>	<b>34.984</b>	<b>R\$ 7.888.595,66</b>	<b>227.431</b>	<b>35.897</b>	<b>R\$ 6.646.050,52</b>	<b>106</b>

Tabela 16 - Resumo dos resultados considerando a utilização de horas extras

### 5.4.3. Proposição de melhorias ao processo

Os diagnósticos realizados em cima dos dados obtidos até aqui, em conjunto com um sistema de controle alicerçado nos indicadores apresentados, propõem-se a auxiliar na gestão da capacidade da empresa. Para tanto, a sistemática propõe que sejam levantadas possíveis ações de melhoria no intuito de otimizar a sua capacidade, as quais podem ser desdobradas posteriormente em planos de ação, além de definir metas para os indicadores de forma a poder controlar o processo e gerir corretamente a implantação das ações levantadas. O Quadro 4 apresenta algumas sugestões de ações para o caso estudado.

- Avaliar a possibilidade de realização de investimentos na ampliação da disponibilidade dos POs 030, 054 e 012. Em especial os dois últimos, os quais compartilham seus recursos com outros POs e possuem percentuais menores da disponibilidade destes recursos. Estes POs são gargalos tanto na capacidade técnica quanto na econômica, e são responsáveis pela fabricação de duas famílias de produtos que estão entre as maiores margens de contribuição do portfólio da empresa. Adicionalmente, ambos apontam para a necessidade de capacidade contingencial, a qual é mais cara. Logo, o impacto econômico de um aumento de capacidade nestes POs é consideravelmente mais elevado do que nos demais, e um investimento na ampliação de sua disponibilidade possui um potencial de retorno maior;
- Avaliar a necessidade de manter tanto tempo disponível no PO-084, que possui folga elevada tanto na capacidade técnica quanto na econômica. Embora seja utilizado por algumas das famílias de maior margem do *mix*, sua folga superior a 50% indica um excesso de recursos, cujo custo poderia ser convertido em aumento de capacidade em outros pontos do processo;
- Avaliar a compra de um novo equipamento a ser utilizado pelos POs 004 e 012. Atualmente eles compartilham de um único recurso e, conforme mencionado anteriormente, o PO-012 é um gargalo importante do processo. Quanto ao PO-004, embora possua um preço-sombra inferior na capacidade econômica, é o principal gargalo na produção do item TT25, o qual é um item estratégico para a empresa, além de possuir a segunda maior margem e o maior equivalente em UEPs. Atualmente, apenas 20% de sua demanda pode ser atendida no *mix* econômico.
- Avaliar, com a área de marketing, a possibilidade de realocação estratégica da família ST22 no mercado, a qual possui uma demanda mensal de mais de 6000 itens (que representam mais de 4000 UEPs), mas não possui participação em nenhum dos dois *mix* ótimos. Seu preço e sua margem são elevados, entretanto a análise de sensibilidade do modelo indica que uma diminuição de 30% na sua margem o faria entrar no *mix* econômico;
- Avaliar a descontinuação da família AP. No *mix* técnico, possui previsão de produção 12.086 itens por conta de seu baixo equivalente em UEPs, entretanto não participa do *mix* econômico devido à sua margem reduzida e baixa demanda de

mercado. Caso não seja um item estratégico, não parece justificar sua presença no portfólio da empresa;

- Focar esforços de marketing na ampliação do mercado para as linhas de produto da área técnica, devido à sua maior contribuição potencial à capacidade econômica.

Quadro 4 - Ações de melhoria sugeridas.

Esta etapa tem por objetivo a realização de um *brainstorming* de ideias relativas a possíveis ações de melhoria que podem ser tomadas com base nas conclusões obtidas com a análise dos dados. A ideia, aqui, é tirar o máximo de proveito dos resultados proporcionados pelo modelo, sugerindo estratégias de ação em linhas gerais, que busquem atuar sobre os pontos de melhoria identificados. Estas estratégias devem, eventualmente, tornar-se planos de ação específicos para cada ponto, cujos resultados podem ser controlados pelos indicadores propostos no trabalho. Sendo assim, é necessária a definição de metas para estes indicadores, de modo a estabelecer um elemento de controle formal, as quais devem ser determinadas em conjunto pelos colaboradores da empresa nos devidos cargos de responsabilidade, em geral gerência e diretoria. A Tabela 16 apresenta as metas definidas para o presente caso em estudo.

<b>PO</b>	<b>IUT</b>	<b>IUT<sub>p</sub></b>	<b>IUT<sub>n</sub></b>	<b>IATEC</b>	<b>IAE</b>	<b>IEG</b>
Global	95%	95%	95%	85%	75%	61%

Tabela 17 - Definição de metas para os indicadores

Dado o contexto da empresa e os resultados obtidos, concluiu-se por uma meta em que o índice de eficiência global represente 61% da capacidade teórica da empresa. Em relação à posição atual da empresa, julga-se que o índice de ajuste técnico apresentado é satisfatório, estando inclusive acima da meta estipulada, porém a empresa necessita tomar ações que traduzam-se em maior aderência do processo produtivo com a sua realidade

econômica e de mercado. Adicionalmente, em termos de metas individuais para os recursos, estipula-se necessário um atingimento mínimo de 70% de ajuste econômico para cada um.

Desta forma, o escopo da fase de aplicação e análise da sistemática proposta está completo, seguindo, em linhas gerais, a lógica de operacionalizar o modelo matemático, realizar uma análise abrangente e aprofundada de seus resultados no contexto da empresa, utilizar os resultados como base para a proposição de melhorias e estabelecer elementos de controle para o processo. Resta apenas a consolidação da sistemática como metodologia, assunto abordado no tópico a seguir.

### **5.5. Fase de consolidação da sistemática**

Esta fase visa estabelecer um elemento de *feedback* e melhoria contínua à própria metodologia proposta no trabalho. A aplicação da sistemática por via do estudo de caso apresentado neste capítulo teve o intuito de validação da metodologia proposta no capítulo anterior, de forma a verificar sua aplicabilidade prática e confirmar as suposições feitas no início do trabalho a respeito da necessidade de se tratar a capacidade produtiva como mais do que uma questão meramente técnica.

No caso específico de estudo, a conjuntura econômica em que a empresa está inserida, paralelamente a questões de ordem interna, estão impulsionando-a ao planejamento de mudanças estratégicas que envolvem, entre outros fatores, a readequação de sua estrutura produtiva. Esta realidade foi devidamente refletida nos resultados apresentados, conforme ações sugeridas no Quadro 4 do tópico anterior, e chama atenção para a necessidade de revisão dos parâmetros do modelo, tão logo estas mudanças sejam efetivadas. A reestruturação do processo produtivo impõe mudanças significativas que impactam tanto na parametrização realizada com o método das UEPs, quanto nos coeficientes e restrições presentes no modelo de programação matemática. Sugere-se, desta forma, que a sistemática como um todo seja revisada periodicamente a cada seis meses. Em termos de ferramentas de apoio, a utilização do solver do software Excel mostrou-se adequado para o escopo do problema modelado aqui, e deve manter-se assim com as mudanças estruturais previstas.

A consolidação definitiva dos resultados, por fim, permite que se faça uma série de considerações conclusivas a respeito da validade da metodologia proposta, bem como

de sua relevância no contexto mais amplo do estudo de capacidade produtiva, discutido neste trabalho. Este é o tema do último capítulo da dissertação, apresentado na sequência.

## 6. CONCLUSÕES

Diante dos desafios apresentados por um cenário econômico de instabilidade global e um ambiente industrial de crescente competitividade e margens reduzidas, as empresas vêm buscando formas diferentes de sobreviver e prosperar frente às restrições impostas pelo mercado. Torna-se, portanto, imperativa a habilidade de harmonizar as necessidades de uma demanda cada vez mais qualificada com a capacidade de atendê-la ao menor custo possível.

Neste contexto, o tema da capacidade de produção, em especial em empresas de manufatura, assume importância considerável. Determinar o nível ótimo de produção para atender à demanda é fundamental para uma administração eficiente, sob pena de perder espaço e confiança do mercado caso este objetivo não seja alcançado. No entanto, mais do que simplesmente discutir a análise e o dimensionamento da capacidade produtiva, é necessário ampliar o foco no sentido da correta gestão da capacidade.

A revisão bibliográfica realizada nesta dissertação aponta para o fato de que a discussão sobre capacidade produtiva e seus conceitos correlatos, no âmbito dos trabalhos de Administração da Produção, tradicionalmente gira em torno de uma conceituação técnica. Entretanto, alguns estudos sugerem duas definições possíveis de capacidade: *(i)* a definição física, que considera questões puramente técnicas e de engenharia, e *(ii)* a definição econômica, que incorpora aspectos de interação ativa da empresa com o ambiente econômico. Este viés acadêmico defende que existe uma relação clara entre a capacidade produtiva e aspectos econômicos e mercadológicos que não deve ser negligenciada, mas sim aprofundada pela literatura. Percebe-se, portanto, uma lacuna de conhecimento, em que o conceito de capacidade econômica não está claramente definido e delimitado.

A presente dissertação teve por objetivo principal a proposição de uma sistemática de apoio à análise e gestão da capacidade produtiva de empresas de manufatura, com foco na conceituação da capacidade econômica. Desta forma, o trabalho se propôs a revisitar a literatura sobre o assunto, propondo um modelo que integrasse os conceitos técnico e econômico, utilizando como ferramentas de apoio um método de custeio para a

parametrização econômica do processo produtivo e a modelagem por programação linear, e validando a proposta através de um estudo de caso.

A discussão sobre o conceito de capacidade econômica e sua aplicação prática tornou necessária a utilização de uma métrica que permitisse parametrizar economicamente os componentes do processo produtivo. Desta forma, optou-se pela utilização do método de custeio das Unidades de Esforço de Produção (UEPs), como uma metodologia de apoio na geração de índices econômicos, mas que não associa-se diretamente à própria definição de capacidade. Partindo dos pressupostos conceituais apresentados anteriormente e incorporados na metodologia deste trabalho, e do estudo de caso apresentado e discutido, é possível enumerar-se diversas conclusões a respeito da validade da sistemática proposta e de sua relevância no contexto dos estudos sobre capacidade.

A capacidade produtiva de uma empresa está claramente relacionada a uma noção de valor. O caráter econômico é indissociável do técnico, como fica claro pelos resultados apresentados neste trabalho. A visão tradicional de capacidade, ou seja, um volume fixo que dimensiona a escala de uma operação, seja em unidades absolutas ou relativas a tempo, não é suficiente e não contempla a problemática da capacidade produtiva na sua plenitude. De forma geral, conforme demonstrado aqui, não faz sentido definir a capacidade de uma operação exclusivamente como um volume de horas disponíveis, ou quilos processáveis, ou peças produzíveis. Estes números servem como balizadores, mas não expressam a complexa realidade que permeia um processo produtivo.

Daí advém a noção de capacidade econômica, que leva em conta não somente as restrições técnicas de fabricação como também as diversas restrições econômicas externas à produção (mercadológicas), como demanda do mercado e preços praticados. Logo, a capacidade econômica visa uma maior aderência da empresa com o seu contexto mercadológico para aproximá-la de sua meta central – a maximização de seu valor econômico.

O modelo conceitual proposto, com seis níveis distintos de capacidade, abrange esta complexidade, de forma a prover o tomador de decisões com uma base sólida de análises e perspectivas. Há de se ressaltar que o nível da informação varia de acordo com o caráter da decisão a ser tomada. Assim, enquanto as capacidades teórica, normal e disponível são boas referências para o planejamento do processo de um ponto de vista estratégico, as capacidades

técnica e econômica convergem para as necessidades de planejamento em nível tático e operacional, conforme definições apresentadas por Martinez-Costa et al. (2014).

Quanto à utilização do método das UEPs como apoio à parametrização técnica e econômica do processo, pode-se afirmar com base nos resultados que o método atende à necessidade apresentada. Dado que a noção de capacidade produtiva está intimamente ligada à noção de valor, o método possibilita expressar a produção – e, por consequência, a capacidade produtiva – em termos de trabalho ou esforço adicionado diretamente ao produto ao longo de sua fabricação. Este esforço traduz-se no valor agregado ao produto, e torna comparáveis todos os níveis de capacidade do modelo utilizando a mesma base de medida.

Da mesma forma, a utilização da programação linear como ferramenta de apoio se mostrou adequada no contexto da sistemática, tendo em vista que apresenta uma solução ótima para o problema de forma satisfatória, e requer uma modelagem matemática relativamente simples. O modelo, entretanto, segue pressupostos de linearidade que podem não representar exatamente a realidade, de forma que seria importante a replicação deste estudo com a utilização de outras ferramentas de modelagem matemática.

Os resultados obtidos evidenciam que a empresa estudada possui uma estrutura produtiva disponível superdimensionada, e uma capacidade técnica pouco aderente a esta estrutura, o que fica claro a partir da análise dos indicadores calculados. No entanto, dado o contexto formado pelo portfólio de produtos ofertados pela empresa em relação à sua estrutura de recursos produtivos e custos operacionais, pode-se dizer que, de um ponto de vista econômico, a empresa possui um ajuste satisfatório, indicando que há potencial a ser explorado para que a empresa venha a atender sua demanda na plenitude. Isto significa dizer que ela consegue otimizar o uso de sua estrutura de tal forma que o *gap* de capacidade por conta de desajustes econômicos seja baixo, dentro das metas estipuladas pela direção, ainda que a capacidade da empresa esteja restrita por questões técnicas.

Destaca-se, aqui, a importância do conceito econômico e da contraposição ao nível técnico. A busca pela otimização da produção com base em restrições puramente técnicas levaria a empresa produzir um *mix* que não estaria de acordo com o mercado e não maximizaria seu valor econômico. Ao considerar-se restrições de ordem econômica/mercadológica, ficou evidente que a capacidade econômica da empresa representa apenas 97% da técnica em termos de UEPs, e o *mix* ótimo pode ser atingido utilizando em torno de 50% do tempo disponível. Em outras, palavras, os resultados indicam que a empresa



necessita agir nas duas pontas. Por um lado, readequar seu portfólio de produtos, eliminando itens que pouco contribuem para a maximização de seu valor econômico e redefinindo estratégias de marketing para reposicionar no mercado outros itens com potencial pouco explorado de geração de valor. Por outro lado, reestruturar o processo produtivo, eliminando ou remanejando recursos que não contribuem para o *mix* ótimo da empresa.

Conclui-se, assim, que o tema tratado neste trabalho é de fato relevante, e a metodologia proposta contribui para esta discussão, e foi devidamente validada pela aplicação em um caso real. Os resultados se apresentam satisfatórios e contribuem para solidificar e apoiar o processo de tomadas de decisão. Ademais, a sistemática está fundamentada em um processo de melhoria contínua, em que os resultados obtidos servem de base para a proposição de ações de melhoria, que por sua vez são controladas pelos indicadores propostos, e geram um *feedback* para a própria sistemática.

Por fim, sugere-se para trabalhos futuros que esta sistemática seja aplicada e validada em outros ambientes produtivos com características distintas do estudado aqui, como, por exemplo, produção em série e com perfis de demanda diferentes. Adicionalmente, conforme já citado, sugere-se visitar a metodologia proposta com a utilização de uma outra ferramenta de apoio para modelagem matemática que não seja a programação linear, para mitigar possíveis distorções causadas pelos pressupostos de linearidade inerentes a esta ferramenta.

## REFERÊNCIAS

ALLORA, V.; GANTZEL, G.L. UP' – Unidade de Produção (UEP' – Unidade de Esforço de Produção), conceitos básicos e aplicação prática. In: Congresso Brasileiro de Custos, 3, Curitiba, Brasil, 1996.

ALLORA, V.; OLIVEIRA, S.E. **Gestão de Custos: metodologia para a melhoria da performance empresarial**. Curitiba: Juruá, 2010.

ALMEIDA, R.P. **Custos de produção e previsão de demanda: uma abordagem voltada ao planejamento e controle da capacidade produtiva**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2014.

ALP, O.; TAN, T. Tactical capacity management under capacity flexibility. **IEE Transactions**, v. 40, p. 221-237, 2008.

ASKIN, R.G.; GOLDBERG, J.B. **Design and analysis of lean production systems**. Wiley, 2002.

BASTOS, R.L. **Aplicação do Método da UEP como base para geração de indicadores de desempenho em uma indústria multiprodutora de instrumentos de medição**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2016.

BELLI, A.P.; ANDRUCHECHEN, J.R.; RICHARTZ, F.; BORGERT, A. Estruturação de um sistema de custeio híbrido em uma empresa prestadora de serviços de colheita florestal. **Custos e Agronegócio Online**, v. 9, p. 174-195, 2013.

BITTENCOURT, S.F. **Sistemática para apoiar o dimensionamento econômico da capacidade de produção de empresas com demanda sazonal: o caso de uma empresa fabricante de máquinas agrícolas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

BISH, E.K.; MURIEL, A.; BILLER, S. Managing flexible capacity in a make-to-order environment. **Management Science**, v.51, p. 167-180, 2005.

BORNIA, A.C. **Análise gerencial de custos em empresas modernas**. Porto Alegre: Bookman, 3ª edição, 2010.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J.; COOPER, M.B. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

CAMBRUZZI, D.; BALEN, F.V.; MOROZINI, J.F. Unidade de esforço de produção (UEP) como método de custeio: implantação de modelo em uma indústria de laticínios. **ABCustos Associação Brasileira de Custos**, v.04, n.01, p.84-103, 2009.

CAMPAGNOLO, R.R.; SOUZA, J.S.; KLIEMANN NETO, F.J. Seria mesmo o *Time-Driven ABC* (TDABC) um método de custeio inovativo? Uma análise comparativa entre o TDABC e o método da unidade de esforço de produção (UEP). In: Congresso Internacional de Costos y Gestión, 11, Patagonia, Argentina, 2009.

- CARVALHO, A.N.; OLIVEIRA, F.; SCAVARDA, L.F. Tactical capacity planning in a real-world ETO industry case: an action research. **International Journal of Production Economics**, v. 167, p. 187-203, 2015.
- CHANG, Y.; HUANG, W. An enhanced model for SDBR in a random reentrant flow shop environment. **International Journal of Production Research**, v. 52, p. 1808-1826, 2014.
- CHEN, C.; MESTRY, S.; DAMODARAN, P.; WANG, C. The capacity planning problem in make-to-order enterprises. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 50, p. 1461-1476, 2009.
- COELLI, T.; GRIFELL-TATJE, E.; PARELMAN, S. Capacity utilisation and profitability: a decomposition of short-run profit efficiency. **International Journal of Production Economics**, v.79, p.261,278, 2002.
- CONFESSOR, K.L.A.; WALTER, F.; FREIRES, F.G.M.; OLIVEIRA, A.M.B; AMORIM, B.P. Aplicação do método das UEPs para a gestão da produção: um estudo de caso. **Tekhne e Logos**, v. 6, p. 37-54, 2015.
- CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2012.
- CORRÊA, H.L.; GIANESI, I.G.N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2008.
- COX, J.F.; BLACKSTONE, J.H.; SCLEIER, J.G. **Managing operations: A focus on excellence**, Great Barrington: North River Press, 2003.
- DEB, A.K. Economic reforms, capacity utilization and productivity growth in Indian manufacturing. **Global Business Review**, v.15, p.719-746, 2014.
- FADANELLI, V.G. **A utilização do método da unidade de esforço de produção como modelo de gestão de custos – o caso de empresa do ramo metalúrgico**. Dissertação de Mestrado Profissional, UFRGS, Rio Grande do Sul, 2007.
- FEIJÓ, C.A. A medida de utilização de capacidade: conceitos e metodologias. **Revista de Economia Contemporânea**, v.10, n.03, p.611-629, 2006.
- FREITAS, M.M.; BORGERT, A.; FLACH, L. Análise do custo médio por um método híbrido do ABC e UEP em uma empresa australiana que opera em modalidade *Home Office*. **Revista Contabilidade Ufba**, v. 10, p. 05-19, 2016.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 2004.
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.
- GOLD, B. **Foundations of productivity analysis**. Pittsburgh: Pittsburgh University Press, 1955.
- GRANDO, A.; TURCO, F. Modelling plant capacity and productivity: conceptual framework in a single-machine case. **Production Planning & Control**, v. 16, p. 309-322, 2005.
- GRANDO, A.; CIGOLINI, R. Modelling plant capacity and productivity: the multi-machine case. **Problems and Perspectives in Management**, v. 5, p. 206-228, 2007.

GREEN JUNIOR, K.W.; SALE, M.L.; INMAN, R.A. Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes and organizational performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, p. 341-356, 2009.

GROOVER, P.M. **Automation, production systems and computer-integrated manufacturing**. 3<sup>a</sup> ed, New Jersey: Pearson – Prentice Hall, 2008.

GUJARTHI, R.S.; OGALE, R.M.; GUPTA, T. Production capacity analysis of a shock absorber assembly line using simulation. **Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference**, v. 2, p. 1213-1217, 2004.

GUNASEKARAN, H.L.; ZAINALI, S.; AGHAPOUR, A.H. The optimization problem of product mix and linear programming applications: A single-case study in tea industry. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, p. 7-18, 2015.

GUPTA, M.C.; BOYD, L.H. Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations Management**, v. 28, p. 991-1012, 2008.

HAGSPIEL, V.; HUISMAN, K.J.M.; KORT, P.M. Volume flexibility and capacity investment under demand uncertainty. **International Journal of Production Economics**, v. 178, p. 95-108, 2016.

HO, J.; FANG, C. Production capacity planning for multiple products under uncertain demands conditions. **International Journal of 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.

HSU, C.; LI, H. An integrated plant capacity and production planning model for high-tech manufacturing firms with economies of scale. **International Journal of Production Economics**, v.118, p. 486-500, 2009.

JACK, E.P.; POWERS, T.L. A review and synthesis of demand management, capacity management and performance in health-care services. **International Journal of Management Reviews**, v.11, n.2, p.149-174, 2009.

JOHANSEN, L. Production functions and the concept of capacity. **Collection Économie Mathématique et Économétrie**, v. 2, p. 46-72, 1968.

JORGENSEN, B.N.; LI, J.; SADKA, G. Capacity utilization, profit margins and stock returns. **Columbia University, Working Paper Series**, 2009.

KARAGIANNIS, R. A system of equations two-stage DEA approach for explaining capacity utilization and technical efficiency. **Annals of Operations Research**, v.227, p.25-43, 2013.

KLEIN, L.R. Some theoretical issues in the measurement of capacity. **Econometrica**, v. 28, p. 272-286, 1960.

KRAJEWSKI, L.J.; RITZMAN, L.P.; MALHOTRA, M.K. **Operational management, processes and value chains**. 8 ed. New Jersey: Pearson – Prentice Hall, 2009.

KREMER, A.W.; BORGERT, A.; RICHARTZ, F. Desenvolvimento de um modelo de custeio híbrido para empresas prestadoras de serviço por encomenda. **Revista Catarinense de Ciência Contábil**, v. 11, p. 57-71, 2012.

KUHN, P.D.; FRANCISCO, A.C.; KOVALESKI, J.L. Aplicação e utilização do método unidade de esforço de produção (UEP) para análise gerencial e como ferramenta para o aumento da competitividade. **Produção Online**, v.11, p- 688-706, 2011.

KUMRU, M. Determining the capacity and it's level of utilization in make-to-order manufacturing: a simple deterministic model for single-machine multiple-product case. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 30, p. 63-69, 2011.

LEE, C. Most productive scale size versus demand fulfillment: a solution to the capacity dilemma. **European Journal of Operational Research**, v. 248, p. 954-962, 2016.

LEE, C.; JOHNSON, A. Proactive data envelopment analysis: effective production and capacity expansion in stochastic environments. **European Journal of Operational Research**, v. 232, p. 537-548, 2014.

LEE, J.H.; CHANG, J.G.; TSAI, C.H. Research on enhancement of TOC simplified Drum-Buffer-Rope system using novel generic procedures. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 3747-3754, 2010.

LEVANT, Y.; DE LA VILLARMOIS, O. From adoption to use of a management control tool: case study evidence of a costing method. **Journal of Applied Accounting Research**, v. 12, p. 234-259, 2011.

LEVANT, Y.; ZIMNOVITCH, H. Contemporary evolutions in costing methods: understanding these trends through the use of equivalence methods in France. **Accounting History**, v. 18, p. 51-75, 2013.

LIMA, G.S.; SOUZA, J.S.; ARAÚJO, R.R.; ETGES, A.P. Estruturação de um sistema de custeio baseado no método da UEP aplicada a uma fábrica em realidade virtual. **Produto & Produção**, v.17, p. 32-50, 2016.

MARTINEZ-COSTA, C.; MAS-MACHUCA, M.; BENEDITO, E.; COROMINAS, A. A review of mathematical programming models for strategic capacity planning in manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 153, p. 66-85, 2014.

MILANESI, S.; SALAZAR, M.C.; CITTADIN, A.; RITTA, C.O. Método de custeio UEP: uma proposta para uma agroindústria avícola. **Revista Catarinense de Ciência Contábil**, v. 11, p. 43-56, 2012.

MOREIRA, D.A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 2008.

MORRISON, C.J. Primal and dual capacity utilization: an applications to productivity measurement in the U.S. automobile industry. **Journal of Business and Economic Statistics**, v. 3; p. 312-324, 1985.

OENNING, V.; NEIS, D.R.; MAZZIONI, S. Apuração e gestão de custos pelo método das unidades de esforço de produção: UEP. **In: Congresso Brasileiro de Custos**, 13, Belo Horizonte, MG, 2006.

OLHAGER, J.; JOHANSON, P. Linking long-term capacity management for manufacturing and service operations. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 29, p. 22-33, 2012.

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

PASCOE, S.; TINGLEY, D. Economic capacity estimation in fisheries: a non-parametric ray approach. **Resource and Energy Economics**, v.28, p.124-138, 2006.

PACHECO, D.A.J.; ANTUNES JÚNIOR, J.A.V.; LACERDA, D.P.; GOLDMAYER, D.B.; GILSA, C.V. Modelo de gerenciamento da capacidade produtiva: integrando teoria das restrições e o índice de rendimento operacional global (IROG). **Revista Produção Online**, v.12, n.3, p.806-826, 2012.

SAHOO, B.K.; TONE, K. Decomposing capacity utilization in data envelopment analysis: an application to banks in India. **European Journal of Operational Research**, v.195, p.575-594, 2009.

SCHROEDER, R. **Operations management**. Nova York: McGraw-Hill, 2008.

SEGERSON, K.; SQUIRES, D. On the measurement of economic capacity utilization for multi-product industries. **Journal of Econometrics**, v. 44, p. 347-361, 1990.

SILVA, T.F.G.; LEITE, M.S.A. A influência da gestão da capacidade na determinação do custo unitário de produção: um estudo de caso em uma empresa de embalagens plásticas flexíveis. **Revista Produção Online**, v.13, n.3, p.915-944, 2013.

SLACK, N.; CAHMBERS, R.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SNEAD, K.; STOTT, D.; GARCIA, A. The causes of misapplied capacity related manufacturing costs and corresponding report implications: a conceptual perspective. **Journal of Accounting Education**, v. 28, p. 85-102, 2010.

SOUZA, F.R.; BORGERT, A.; FERRARI, M.J.; REIS, L.S. Unidade de esforço de produção e equivalência em serviços de telecomunicações. **Contabilometria – Brazilian Journal of Quantitative Methods Applied to Accounting**, v.1, p. 52-68, 2014.

SOUZA, F.B.; BAPTISTA, R.H. Proposta de avanço para o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado aplicado em ambientes de produção sob encomenda. **Revista Gestão & Produção**, v. 17, p. 735-746, 2010.

TAVAGHOF-GIGLOO, D.; MINNER, S.; SILBERMAYR, L. Mixed integer linear programming formulation for flexibility instruments in capacity planning problems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 97, p. 101-110, 2016.

TENHIÄLÄ, A. Contingency theory of capacity planning: The link between process types and planning methods. **Journal of Operations Management**, v. 29, p. 65-77, 2011.

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.

WERNKE, R.; LEMBECK, M. Aplicação do método UEP em uma indústria de descartáveis. **Revista do Conselho Regional de Contabilidade do Rio Grande do Sul**, n.132, p.18-33, 2008.

WERNKE, R.; JUNGES, I.; CLÁUDIO, D.A. Indicadores não financeiros do método UEP aplicáveis à gestão de pequena indústria. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v.04, n.08, p.125-145, 2012.

WERNKE, R.; LEMBECK, M.; JUNGES, I.; MEDEIROS, J.P. Indicadores não financeiros do método UEP aplicáveis à gestão da produção de fábrica de salsichas. In: XXI Congresso Brasileiro de Custos, Natal, 2014.

YAHYA, W.B.; GARBA, M.K.; IGE, S.O.; ADEYOSOYE, A.E. Profit maximization in a product mix company using linear programming. **European Journal of Business and Management**, v. 4, p. 126-132, 2012.

YALÇINSOY, A.; ZINCIRKIRAN, M.; TIFTIK, H. Approach of capacity planning through linear programming technique: a practice in textile enterprise. **International Journal of Innovative Research in Management**, v. 3, p. 16-29, 2014.

YU, Y.; CHEN, X.; ZHANG, F. Dynamic capacity management with general upgrading. **Operations Research**, v. 63, p. 1372-1389, 2015.

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 (19<sup>th</sup>)**, p. 20-22, 2012.

ZONATTO, V.C.S.; SILVA, M.Z.; TOLEDO FILHO, J.R.; DREBES, A.V. **Utilização do método de unidade de esforço de produção (UEP) para determinação de custos de transformação de uma indústria de vidros curvados para refrigeradores comerciais.** Revista Gestão Industrial, v.08, n.01, p. 233-248, 2012.

## ANEXO I – Modelagem matemática por programação linear e resultados

Neste anexo são apresentados os resultados completos do modelo matemático por programação linear proposto no trabalho para o cálculo das capacidades técnica e econômica.

### Capacidade Técnica

As Tabelas 16, 17 e 18 apresentam os resultados da função objetivo, das variáveis de resposta e das restrições definidas para o problema da capacidade técnica, respectivamente, em conjunto com os resultados da análise de sensibilidade (custo reduzido e preço sombra). As variáveis de resposta deste problema consistem nas quantidades ótimas das famílias de produtos. A função objetivo visa maximizar a quantidade de horas totais do sistema e as restrições envolvem os tempos disponíveis dos recursos.

<b>Função Objetivo</b>		
<b>Função</b>	<b>Valor Original</b>	<b>Valor Final</b>
Max. de horas	0	34.984

Tabela 18 - Resultado da função objetivo da capacidade técnica



## Variáveis de Resposta

Característica	Nome	Valor Original	Valor Final	Custo Reduzido	Coefficiente Atual	Varição
Produto	A	0	0	-1,4035	4,7588	
Produto	AP	0	12.086	0,0000	0,3180	0%
Produto	S950	0	0	-0,0198	0,5405	
Produto	SB00	0	48.228	0,0000	0,0574	
Produto	SC00	0	0	-0,0000	0,0385	
Produto	SE00	0	0	-0,0131	0,3477	-4%
Produto	SI00	0	3.535	0,0000	0,2423	0%
Produto	SP00	0	24.441	0,0000	0,1448	0%
Produto	ST00	0	0	-0,0589	5,8175	
Produto	ST02	0	9.879	0,0000	0,0578	
Produto	ST06	0	0	-0,0397	0,7004	
Produto	ST10	0	69.185	0,0000	0,0359	
Produto	ST20	0	0	-0,0003	0,1266	
Produto	ST22	0	0	-0,0224	0,6443	
Produto	SU00	0	34.020	0,0000	0,0314	
Produto	T	0	6.804	0,0000	0,1530	
Produto	T950	0	5.103	0,0000	0,2441	
Produto	TD	0	1.619	0,0000	1,9889	
Produto	TP50	0	1.701	0,0000	0,3618	0%
Produto	TT18	0	3.408	0,0000	1,2008	0%
Produto	TT20	0	0	-0,8068	1,9111	
Produto	TT45	0	37.457	0,0000	0,0871	
Produto	TT50	0	0	-0,5926	1,7092	
Produto	TT58	0	0	-0,2379	0,8665	
Produto	TT95	0	2.015	0,0000	3,1643	0%

Tabela 19 - Variáveis de resposta do problema de capacidade técnica

## Restrições

Característica	Nome	LHS	Tipo	RHS	Resultado	Folga	Preço Sombra
Recurso	PO-074	Quantidade de horas	<= Td	680	680	0	7,81
Recurso	PO-006	Quantidade de horas	<= Td	238	238	0	12,49
Recurso	PO-014	Quantidade de horas	<= Td	136	37	99	0,00
Recurso	PO-080	Quantidade de horas	<= Td	136	119	17	0,00
Recurso	PO-008	Quantidade de horas	<= Td	17	11	6	0,00
Recurso	PO-038	Quantidade de horas	<= Td	85	85	0	20,89
Recurso	PO-064	Quantidade de horas	<= Td	68	3	65	0,00
Recurso	PO-050	Quantidade de horas	<= Td	340	53	287	0,00
Recurso	PO-076	Quantidade de horas	<= Td	510	373	137	0,00
Recurso	PO-002	Quantidade de horas	<= Td	68	68	0	0,00
Recurso	PO-054	Quantidade de horas	<= Td	68	68	0	15,30
Recurso	PO-056	Quantidade de horas	<= Td	85	85	0	19,21
Recurso	PO-058	Quantidade de horas	<= Td	119	118	1	0,00
Recurso	PO-040	Quantidade de horas	<= Td	0	0	0	0,00
Recurso	PO-078	Quantidade de horas	<= Td	0	0	0	0,00
Recurso	PO-016	Quantidade de horas	<= Td	51	51	0	0,00
Recurso	PO-048	Quantidade de horas	<= Td	51	51	0	24,41
Recurso	PO-090	Quantidade de horas	<= Td	68	51	17	0,00
Recurso	PO-082	Quantidade de horas	<= Td	170	13	158	0,00
Recurso	PO-030	Quantidade de horas	<= Td	170	170	0	10,59
Recurso	PO-032	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-052	Quantidade de horas	<= Td	170	170	0	6,15
Recurso	PO-060	Quantidade de horas	<= Td	34	34	0	12,89
Recurso	PO-062	Quantidade de horas	<= Td	170	170	0	7,28
Recurso	PO-070	Quantidade de horas	<= Td	136	136	0	15,07
Recurso	PO-072	Quantidade de horas	<= Td	170	170	0	32,89
Recurso	PO-034	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-036	Quantidade de horas	<= Td	170	14	156	0,00
Recurso	PO-044	Quantidade de horas	<= Td	170	92	78	0,00
Recurso	PO-046	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-084	Quantidade de horas	<= Td	1.191	484	707	0,00
Recurso	PO-086	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-004	Quantidade de horas	<= Td	102	102	0	80,49
Recurso	PO-010	Quantidade de horas	<= Td	51	0	51	0,00
Recurso	PO-012	Quantidade de horas	<= Td	17	17	0	36,18

Tabela 20 - Restrições do problema de capacidade técnica

### Capacidade Econômica

De forma similar, as Tabelas 19, 20 e 21 apresentam os resultados da função objetivo, das variáveis de resposta e das restrições definidas para o problema da capacidade econômica, respectivamente, em conjunto com os resultados da análise de sensibilidade. As variáveis de resposta deste problema consistem nas quantidades ótimas das famílias de produtos e a quantidade de horas extras realizadas por PO. A função objetivo visa maximizar a margem total do sistema e as restrições envolvem os tempos disponíveis dos recursos, as horas extras realizáveis e a demanda de mercado pelos diferentes produtos.

<b>Função Objetivo</b>		
<b>Nome</b>	<b>Valor Original</b>	<b>Valor Final</b>
Max. de horas	R\$ 0	R\$ 6.257.177

Tabela 21 - Resultado da função objetivo da capacidade econômica

## Células Variáveis

Característica	Nome	Valor Original	Valor Final	Custo Reduzido
Produto	A	0	649	0,00
Produto	AP	0	0	-37,76
Produto	S950	0	2.810	0,00
Produto	SB00	0	3.311	0,00
Produto	SC00	0	27.393	0,00
Produto	SE00	0	1.709	0,00
Produto	SI00	0	728	0,00
Produto	SP00	0	13.402	0,00
Produto	ST00	0	0	-79,65
Produto	ST02	0	32.542	0,00
Produto	ST06	0	0	-105,22
Produto	ST10	0	106.640	0,00
Produto	ST20	0	0	-1,89
Produto	ST22	0	0	-13,37
Produto	SU00	0	3.046	0,00
Produto	T	0	6.804	0,00
Produto	T950	0	4.829	0,00
Produto	TD	0	1.619	0,00
Produto	TP50	0	1.701	0,00
Produto	TT18	0	1.499	0,00
Produto	TT20	0	0	-0,48
Produto	TT45	0	952	0,00
Produto	TT50	0	0	-26,35
Produto	TT58	0	3.094	0,00
Produto	TT95	0	1.615	0,00
Recurso	Hora Extra PO-074	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-006	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-014	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-080	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-008	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-038	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-064	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-050	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-076	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-002	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-054	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-056	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-058	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-040	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-078	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-016	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-048	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-090	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-082	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-030	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-032	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-052	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-060	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-062	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-070	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-072	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-034	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-036	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-044	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-046	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-084	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-086	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-004	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-010	0	0	0,00
Recurso	Hora Extra PO-012	0	0	0,00

Tabela 22 - Variáveis de resposta do problema de capacidade econômica

Restrições							
Característica	Nome	LHS	Tipo	RHS	Valor da Célula	Folga	Preço Sombra
Recurso	PO-074	Quantidade de horas	<= Td	680	556	125	0,00
Recurso	PO-006	Quantidade de horas	<= Td	238	238	0	277,32
Produto	PO-014	Quantidade de horas	<= Td	136	37	99	0,00
Recurso	PO-080	Quantidade de horas	<= Td	136	119	17	0,00
Recurso	PO-008	Quantidade de horas	<= Td	17	6	11	0,00
Recurso	PO-038	Quantidade de horas	<= Td	85	71	14	0,00
Recurso	PO-064	Quantidade de horas	<= Td	68	8	60	0,00
Recurso	PO-050	Quantidade de horas	<= Td	340	43	298	0,00
Recurso	PO-076	Quantidade de horas	<= Td	510	320	190	0,00
Recurso	PO-002	Quantidade de horas	<= Td	68	68	0	0,00
Recurso	PO-054	Quantidade de horas	<= Td	68	68	0	4600,00
Recurso	PO-056	Quantidade de horas	<= Td	85	85	0	560,59
Recurso	PO-058	Quantidade de horas	<= Td	119	23	96	0,00
Recurso	PO-040	Quantidade de horas	<= Td	0	0	0	0,00
Recurso	PO-078	Quantidade de horas	<= Td	0	0	0	0,00
Recurso	PO-016	Quantidade de horas	<= Td	51	48	3	0,00
Recurso	PO-048	Quantidade de horas	<= Td	51	48	3	0,00
Recurso	PO-090	Quantidade de horas	<= Td	68	48	20	0,00
Recurso	PO-082	Quantidade de horas	<= Td	170	13	158	0,00
Recurso	PO-030	Quantidade de horas	<= Td	170	170	0	9106,80
Recurso	PO-032	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-052	Quantidade de horas	<= Td	170	125	45	0,00
Recurso	PO-060	Quantidade de horas	<= Td	34	3	31	0,00
Recurso	PO-062	Quantidade de horas	<= Td	170	12	158	0,00
Recurso	PO-070	Quantidade de horas	<= Td	136	136	0	2251,64
Recurso	PO-072	Quantidade de horas	<= Td	170	170	0	2218,98
Recurso	PO-034	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-036	Quantidade de horas	<= Td	170	42	128	0,00
Recurso	PO-044	Quantidade de horas	<= Td	170	123	47	0,00
Recurso	PO-046	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-084	Quantidade de horas	<= Td	1.191	388	803	0,00
Recurso	PO-086	Quantidade de horas	<= Td	170	17	153	0,00
Recurso	PO-004	Quantidade de horas	<= Td	102	102	0	1695,40
Recurso	PO-010	Quantidade de horas	<= Td	51	0	51	0,00
Recurso	PO-012	Quantidade de horas	<= Td	17	17	0	3950,00
Recurso	PO-074	Quantidade de horas	<= Te	88	0	88	0,00
Recurso	PO-006	Quantidade de horas	<= Te	31	0	31	0,00
Recurso	PO-014	Quantidade de horas	<= Te	18	0	18	0,00
Recurso	PO-080	Quantidade de horas	<= Te	18	0	18	0,00
Recurso	PO-008	Quantidade de horas	<= Te	2	0	2	0,00
Recurso	PO-038	Quantidade de horas	<= Te	11	0	11	0,00
Recurso	PO-064	Quantidade de horas	<= Te	9	0	9	0,00
Recurso	PO-050	Quantidade de horas	<= Te	44	0	44	0,00
Recurso	PO-076	Quantidade de horas	<= Te	66	0	66	0,00
Recurso	PO-002	Quantidade de horas	<= Te	9	0	9	0,00
Recurso	PO-054	Quantidade de horas	<= Te	9	0	9	0,00
Recurso	PO-056	Quantidade de horas	<= Te	11	0	11	0,00
Recurso	PO-058	Quantidade de horas	<= Te	15	0	15	0,00
Recurso	PO-040	Quantidade de horas	<= Te	0	0	0	0,00
Recurso	PO-078	Quantidade de horas	<= Te	0	0	0	0,00
Recurso	PO-016	Quantidade de horas	<= Te	7	0	7	0,00
Recurso	PO-048	Quantidade de horas	<= Te	7	0	7	0,00
Recurso	PO-090	Quantidade de horas	<= Te	9	0	9	0,00
Recurso	PO-082	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-030	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-032	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-052	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-060	Quantidade de horas	<= Te	4	0	4	0,00
Recurso	PO-062	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-070	Quantidade de horas	<= Te	18	0	18	0,00
Recurso	PO-072	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-034	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-036	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-044	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-046	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-084	Quantidade de horas	<= Te	154	0	154	0,00
Recurso	PO-086	Quantidade de horas	<= Te	22	0	22	0,00
Recurso	PO-004	Quantidade de horas	<= Te	13	0	13	0,00
Recurso	PO-010	Quantidade de horas	<= Te	7	0	7	0,00
Recurso	PO-012	Quantidade de horas	<= Te	2	0	2	0,00
Produto	A	Quantidade de itens	<= mi	1.522	649	873	0,00
Produto	AP	Quantidade de itens	<= mi	662	0	662	0,00
Produto	S950	Quantidade de itens	<= mi	4.823	2.810	2.013	0,00
Produto	SB00	Quantidade de itens	<= mi	3.311	3.311	0	27,16
Produto	SC00	Quantidade de itens	<= mi	27.393	27.393	0	32,80
Produto	SE00	Quantidade de itens	<= mi	1.709	1.709	0	10,51
Produto	SI00	Quantidade de itens	<= mi	728	728	0	31,91
Produto	SP00	Quantidade de itens	<= mi	15.654	13.402	2.252	0,00
Produto	TT25	Quantidade de itens	<= mi	1.666	0	1.666	0,00
Produto	ST02	Quantidade de itens	<= mi	66.942	32.542	34.400	0,00
Produto	ST06	Quantidade de itens	<= mi	2.637	0	2.637	0,00
Produto	ST10	Quantidade de itens	<= mi	106.640	106.640	0	18,23
Produto	ST20	Quantidade de itens	<= mi	2.653	0	2.653	0,00
Produto	ST22	Quantidade de itens	<= mi	6.253	0	6.253	0,00
Produto	SU00	Quantidade de itens	<= mi	3.046	3.046	0	20,55
Produto	T	Quantidade de itens	<= mi	10.496	6.804	3.692	0,00
Produto	T950	Quantidade de itens	<= mi	4.829	4.829	0	43,00
Produto	TD	Quantidade de itens	<= mi	3.140	1.619	1.521	0,00
Produto	TP50	Quantidade de itens	<= mi	2.222	1.701	521	0,00
Produto	TT18	Quantidade de itens	<= mi	1.499	1.499	0	11,02
Produto	TT20	Quantidade de itens	<= mi	1.371	0	1.371	0,00
Produto	TT45	Quantidade de itens	<= mi	952	952	0	48,20
Produto	TT50	Quantidade de itens	<= mi	1.085	0	1.085	0,00
Produto	TT58	Quantidade de itens	<= mi	3.094	3.094	0	16,52
Produto	TT95	Quantidade de itens	<= mi	3.404	1.615	1.789	0,00

Tabela 23 - Restrições do problema de capacidade econômica

Nas Tabelas 22 e 23 a seguir, são apresentados os resultados consolidados de *mix* produtivos e quantidades de UEPs fabricadas por PO, para os problemas de capacidade técnica e econômica respectivamente.

Familia	A	AP	S950	SB00	SC00	SE00	SI00	SP00	ST00	ST02	ST06	ST10	ST20	ST22	SU00	T	T950	TD	TP50	TT18	TT20	TT45	TT50	TT58	TT95	
Quantidade	733	0	4.282	3.311	27.393	1.709	728	12.271	0	43.061	0	106.640	0	0	3.046	7.684	4.829	1.828	1.921	1.499	0	952	0	3.094	2.114	
UEPs	0	3.844	0	2.770	0	0	856	3.538	0	571	0	2.482	0	0	1.069	1.041	1.246	3.219	615	4.093	0	3.262	0	0	6.377	
PO-074	-	1.328	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	246	-	164	-	3.262	-	-	314	
PO-006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.720	-	-	-	-	-	-	-	
PO-014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	310	-	-	-	-	-	-	-	
PO-080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	671	-	-	-	-	-	-	-	
PO-008	-	-	-	-	-	-	-	148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PO-038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.169	
PO-064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	
PO-050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	420	
PO-076	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.796	-	-	-	-	-	942
PO-002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	521	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	519	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-056	-	743	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-058	-	821	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	266
PO-040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	412	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	414	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-090	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	419	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-030	-	952	-	-	-	-	-	-	-	236	-	757	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260	-	-	-	-	-	-	-
PO-052	-	-	-	-	-	-	586	261	-	32	-	189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	462	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-062	-	-	-	1.295	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-070	-	-	-	-	-	-	73	1.559	-	303	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-072	-	-	-	1.476	-	-	198	1.569	-	-	-	1.537	-	-	607	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	-	-	-	-	-	-	-
PO-036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94	-	-	-	-	-	-
PO-044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-	226	-	-	-	-	-	283
PO-046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-
PO-084	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.434	-	-	-	-	-	2.571
PO-086	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118	-	-	-	-	-	-	-
PO-004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	378	-	-	-	-	-	413
PO-010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 24 - Resultados consolidados do problema de capacidade técnica

Família	A	AP	S950	SB00	SC00	SE00	SI00	SP00	ST00	ST02	ST06	ST10	ST20	ST22	SU00	T	T950	ID	IP50	TI18	TI20	TI45	TI50	TI58	TI95
Quantidade	649	0	2.810	3.311	27.393	1.709	728	13.402	0	32.542	0	106.640	0	0	3.046	6.804	4.829	1.619	1.701	1.499	0	952	0	3.094	1.615
UEPs	3.087	0	1.518	190	1.055	594	176	1.940	0	1.881	0	3.826	0	0	96	1.041	1.179	3.219	615	1.800	0	83	0	2.681	5.109
PO-074	2.306	-	-	-	1.055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	246	-	72	-	83	-	326	251
PO-006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.720	-	-	-	-	-	-	-
PO-014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	310	-	-	-	-	-	-	-
PO-080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	671	-	-	-	-	-	-	-
PO-008	-	-	-	-	-	-	-	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-038	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	937
PO-064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	-	61	-
PO-050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	336
PO-076	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	790	-	-	-	806	755
PO-002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	521	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	519	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-056	743	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	213
PO-040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	390	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	392	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-090	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	397	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-	-	-	-	-	-	-
PO-030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	778	-	1.167	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260	-	-	-	-	-	-
PO-052	-	-	51	-	-	33	121	143	-	105	-	291	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	-
PO-060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-062	-	-	-	89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-070	-	-	-	-	-	68	15	855	-	998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-072	-	-	1.467	101	-	493	41	861	-	-	-	2.369	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	-	-	-	-	-	-
PO-036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	244	-
PO-044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-	99	-	-	-	392	227
PO-046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-
PO-084	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	631	-	-	-	520	2.060
PO-086	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118	-	-	-	-	-	-
PO-004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166	-	-	-	294	331
PO-010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO-012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-

Tabela 25 - Resultados consolidados do problema de capacidade econômica

