

RENATO FRANCO NETO

PROPOSTAS DE MELHORIA OPERACIONAL PARA UMA PLANTA
PETROQUÍMICA

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção de diploma de Engenheiro de
Produção.

São Paulo

2010

RENATO FRANCO NETO

PROPOSTAS DE MELHORIA OPERACIONAL PARA UMA PLANTA
PETROQUÍMICA

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção de diploma de Engenheiro de
Produção.

Orientador:

Prof. Dr. João Amato Neto

São Paulo

2010

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

À minha família e aos meus amigos,
que sempre me apoiam.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família pelo apoio incondicional não só ao longo desses cinco anos, mas em toda minha vida. À minha mãe e ao meu pai, pois reconheço os ensinamentos, a paciência, os incentivos e o carinho. Sou grato ainda por terem acreditado em mim, quando decidi vir para São Paulo. Tudo isso foi fundamental para o meu crescimento pessoal. Às minhas queridas irmãs, por todos os bons exemplos, momentos divertidos e conselhos.

Sou grato também a todos os professores da Escola Politécnica, em especial aos do Departamento de Engenharia de Produção (Professores João Amato, Marco Mesquita, Álvaro Hernandez, Antônio Muscat, entre outros), por todo o conhecimento técnico e experiência transmitidos.

Quero agradecer também aos grandes amigos que fiz durante esses cinco anos, pelos momentos de alegria e pelo apoio nos (inúmeros) momentos de tensão em vésperas de prova ou de entregas de trabalho. Também sou grato a Cris, ao Osni e a todo o pessoal do Xerox, por toda a simpatia, paciência e competência. Tenho certeza de que estes laços durarão por toda a vida.

“Pensar pequeno e pensar grande dá o mesmo trabalho.
Mas pensar grande te liberta dos detalhes insignificantes”

Jorge Paulo Lemann

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo propor melhorias operacionais a uma empresa do ramo petroquímico. Primeiramente, analisou-se o sistema de produção de um dos segmentos da empresa, em que foram encontradas oportunidades de ganhos de eficiência nas etapas de fornecimento de matéria prima e no planejamento da produção. No segmento de suprimento de matéria prima, detectou-se a necessidade de implementar um estoque de segurança para evitar interrupções no processo produtivo. Além disso, foi proposto um modelo de lote econômico de pedido para as encomendas de matéria prima, considerando, ao mesmo tempo, diluição de custos fixos e custos de manutenção de estoque. Com relação ao planejamento da produção, foi proposto um modelo de programa mestre da produção (MPS), de forma a auxiliar o departamento de PCP da empresa em seu processo decisório. Almeja-se uma série de economias e outros benefícios operacionais decorrentes das sugestões apresentadas, que são estimadas ao longo do trabalho.

Palavras- chave: Administração de materiais, Planejamento da produção

ABSTRACT

The present study aims to propose a set of measures that could lead to operational improvements in a petrochemical company. First, the production system of one of its segments was analyzed, and yielded several opportunities of efficiency gains in its supply of feedstock and production planning. With regards to the company's feedstock supply, the study indicated the need of a safety stock to avoid interruptions in the production process due to lack of material. In addition, it was proposed an economic quantity model for the purchase of raw goods, that considers both fixed cost dilution and inventory costs. With regards to production planning, it was proposed a Master Production Schedule, in order to give directions to the company's production planning team. The proposed changes should offer several economic and operational gains, which are estimated throughout this study.

Palavras- chave: Inventory management, Production planning

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desdobramento da cadeia petroquímica (Fonte: Abiquim)	17
Figura 2 - Mapa com os principais polos petroquímicos brasileiros (Fonte: Braskem)	18
Figura 3 - Capacidade produtiva de resinas da Braskem nas Américas (Fonte: Braskem)	19
Figura 4 - Consumo de resinas no Brasil (Fonte: Abiquim)	20
Figura 5 - Vista da planta de Várzea Paulista (Fonte: Chemco)	21
Figura 6 – Principais produtos e suas aplicações (Fonte: Chemco)	21
Figura 7 – Definição de processo (Fonte: Adaptado de Hill e Robinson, 1995)	28
Figura 8 – Hierarquia do planejamento (Fonte: Adaptado de Santoro, 2006)	36
Figura 9 – Planta de formol e CUF (Fonte: Chemco)	47
Figura 10 – Quebra de custos de produção em abril (Fonte: Chemco)	49
Figura 11 – Histórico de tarifas de importação de petroquímicos no Brasil (Fonte: Abiquim)	50
Figura 12 – Comportamento do estoque de metanol em 2010 (Fonte: Chemco)	53
Figura 13 – Composição do custo total do pedido (Fonte: Chemco)	57
Figura 14 – Custo unitário do pedido (Fonte: Chemco)	57
Figura 15 – Custo mensal de armazenagem de grânéis líquidos (Fonte: Ultracargo)	58
Figura 16 – Margem de contribuição anual perdida: formol e CUF (Elaboração do autor)	59
Figura 17 – Utilização de capacidade no reator de metanol (Fonte: Chemco)	61
Figura 18 – Volumes trimestrais de venda da Woodco (Fonte: Woodco)	62
Figura 19 – Índice nacional de atividade em construção civil (Fonte: CNI)	62
Figura 20 – Dinâmica do planejamento estratégico (Fonte: Elaboração do aluno)	63
Figura 21 – Planejamento da produção na Chemco (Fonte: Elaboração do aluno)	64
Figura 22 – Planejamento da produção na Chemco (Elaboração do aluno)	68
Figura 23 – Custo total para diferentes tamanhos de pedido (Elaboração do aluno)	70
Figura 24 – Custo total: manutenção de estoque e pedido (Elaboração do aluno)	71
Figura 25 – Incremento na margem de contribuição gerado pelo MPS (Elaboração do aluno)	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores financeiros (Fonte: Chemco).....	22
Tabela 2 – Capacidade de produção (Fonte: Chemco).....	22
Tabela 3 – Capacidade de produção de formol e CUF (Elaboração do autor).....	48
Tabela 4 – Custos de produção em abril (Fonte: Chemco)	50
Tabela 5 – Histórico de atrasos no fornecimento de metanol (Fonte: Chemco)	54
Tabela 6 – Análise de cenários para custo de vendas perdidas (Elaboração do aluno).....	67
Tabela 7 – Premissas para o cálculo do custo de pedido (Elaboração do aluno)	69
Tabela 8 – Custos de pedido (Fonte: Chemco).....	69
Tabela 9 – Custo de manutenção do estoque a cada vinte dias (Elaboração do aluno).....	71
Tabela 10 – Custos anuais de manutenção e de pedido para estoque cíclico (Elaboração do aluno).....	72
Tabela 11 – Cálculo do custo fixo de produção aos domingos (Elaboração do aluno).....	78
Tabela 12 – Cálculo da margem de contribuição (Elaboração do aluno).....	78
Tabela 13 – Cálculo do custo de manutenção de estoque de produtos acabados (Elaboração do aluno).....	79
Tabela 14 – Capacidade de produção de formol e CUF (Elaboração do aluno)	79
Tabela 15 – Capacidade de estocagem de formol e CUF (Fonte: Chemco).....	80
Tabela 16 – Entradas para o modelo de MPS: validação (Elaboração do aluno).....	80
Tabela 17 – Saída do modelo de MPS: validação (Elaboração do aluno).....	81
Tabela 18 – Validação do modelo de MPS (Elaboração do aluno).....	81
Tabela 19 – Entradas para o modelo de MPS em maio de 2010: situação-teste (Elaboração do aluno).....	82
Tabela 20 – Avaliação da programação da produção realizada em maio de 2010 (Elaboração do aluno).....	83
Tabela 21 – Avaliação da programação da produção realizada em maio de 2010 (Elaboração do aluno).....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abiquim	Associação Brasileira das Indústria Químicas
Ton.	Toneladas
MPS	Master Production Schedule
MRP	Material Requirements Plan
CUF	Concentrado ureia-formol
PVC	Policloreto de vinila

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	O SETOR PETROQUÍMICO.....	15
1.1.1	<i>Setor petroquímico brasileiro</i>	<i>17</i>
1.2	A EMPRESA	20
1.3	O ESTÁGIO.....	23
1.4	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	23
1.5	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	25
1.6	RELEVÂNCIA DO TRABALHO	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	SISTEMA	27
2.2	PROCESSO	28
2.3	ADMINISTRAÇÃO	29
2.4	GESTÃO DE ESTOQUES	30
2.4.1	<i>Funções dos estoques</i>	<i>30</i>
2.4.2	<i>Objetivos da gestão de estoques</i>	<i>31</i>
2.4.3	<i>Custos de estoque e suas compensações</i>	<i>32</i>
2.5	PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	35
2.5.1	<i>Hierarquia do planejamento da produção.....</i>	<i>35</i>
2.5.2	<i>Gestão da demanda.....</i>	<i>37</i>
2.5.3	<i>Modelagem matemática em planejamento da produção</i>	<i>40</i>
2.5.4	<i>Problemas análogos.....</i>	<i>40</i>
2.5.5	<i>Outras considerações.....</i>	<i>42</i>
2.5.6	<i>Programa mestre da produção</i>	<i>43</i>

3	ANÁLISE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	45
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA.....	45
3.2	PRODUTOS	46
3.3	PROCESSO PRODUTIVO.....	47
3.4	ANÁLISE DE RENTABILIDADE	49
3.5	CADEIA PRODUTIVA.....	50
3.6	FORNECIMENTO DE MATÉRIA PRIMA.....	52
3.6.1	<i>Gestão de estoques</i>	<i>52</i>
3.6.2	<i>Custos de estoque</i>	<i>55</i>
3.7	PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE FORMOL E CUF.....	60
3.7.1	<i>Análise e planejamento da demanda</i>	<i>60</i>
3.7.2	<i>Planejamento e programação da produção</i>	<i>63</i>
3.8	DIAGNÓSTICO.....	65
4	PROPOSTAS DE MELHORIA PARA O SISTEMA DE PRODUÇÃO	66
4.1	FORNECIMENTO DE MATÉRIA PRIMA.....	66
4.1.1	<i>Estoque de segurança de metanol</i>	<i>66</i>
4.1.2	<i>Lote econômico de compra para metanol</i>	<i>69</i>
4.2	PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO.....	73
4.2.1	<i>Criação do modelo</i>	<i>73</i>
4.2.2	<i>Premissas</i>	<i>74</i>
4.2.3	<i>Formulação do problema</i>	<i>74</i>
4.2.4	<i>Determinação dos parâmetros do problemas.....</i>	<i>77</i>
4.2.5	<i>Implementação computacional e validação do modelo.....</i>	<i>80</i>
4.2.6	<i>Teste do modelo em uma situação real.....</i>	<i>82</i>
4.2.7	<i>Importância do modelo.....</i>	<i>84</i>
5	CONCLUSÃO	86

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO MPS NO CPLEX.....	90

.

1 INTRODUÇÃO

1.1 O SETOR PETROQUÍMICO

A indústria química é caracterizada por transformar a composição química de seus insumos. Ao longo de sua história, convencionou-se classificar o tipo de indústria química de acordo com a natureza de sua principal matéria prima. Sendo assim, a indústria petroquímica é aquela cuja principal matéria prima é o petróleo, o gás natural e os seus derivados, e que possui como produtos finais resinas plásticas e outros materiais.

O petróleo trata-se de uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, alicíclicos e aromáticos, que também pode conter algum teor de nitrogênio, oxigênio, substâncias de enxofre e íons de metais. Existem diferentes tipos de petróleo, cujas principais características são a composição de hidrocarbonetos e o teor de enxofre. O American Petroleum Institute (API) realizou análises em diferentes amostras de petróleo, e classificou-as de acordo com os critérios mencionados, pela unidade °API (graus de gravidade API). Segundo esta terminologia, o petróleo com gravidade inferior a 20°API é considerado pesado, entre 20°API e 30°API é considerado médio e superior a 30°API é considerado leve. A “leveza” é definida como uma maior concentração de hidrocarbonetos com uma cadeia menor.

Existem registros históricos da utilização de petróleo a partir de 4000 a.C., quando o material brotava de pedras na região do Oriente Médio. Povos como os da Mesopotâmia, Egito, Pérsia e Judéia utilizavam o betume para aquecimento, iluminação e pavimentação de estradas. A produção em escala comercial é datada de 1271, quando Marco Polo viajou pelo norte da Pérsia.

Em 1859, foi iniciada a produção em escala nos Estados Unidos, após a descoberta feita pelo Coronel Edwin Drake, no estado da Pensilvânia. Nesta época, descobriu-se que os produtos da destilação do petróleo substituíam de forma lucrativa o querosene obtido a partir de óleos como de baleia e de carvão.

O processo de destilação fracionada pelo qual o petróleo passa separa os seus diferentes componentes, que podem ser usados em uma enorme gama de atividades. Este processo ocorre em plantas industriais chamadas refinarias, e os principais componentes obtidos a partir do petróleo são gasolina, diesel, querosene, óleo combustível, gás liquefeito

de petróleo (GLP), asfalto e nafta. Tais compostos se combinam em proporções diferentes no petróleo

, dependendo de sua gravidade API. Este composto orgânico tem sido uma das principais fontes de energia e de materiais para a fabricação de bens de consumo.

Embora o gás natural também seja uma mistura de hidrocarbonetos, este possui composição mais simples que o petróleo, geralmente possuindo metano, etano e propano.

Em seus processos, a indústria petroquímica utiliza-se principalmente de compostos como metano, etano e propano, que estão presentes na nafta e no gás natural, sendo estas algumas das principais matérias primas nos sistemas de produção a serem analisados no presente trabalho.

Entre os processos iniciais a que os insumos da indústria petroquímica são submetidos, destaca-se a quebra catalítica dos alcanos em alcenos. Em outras palavras, este processo rompe ligações entre carbono e hidrogênio, dando origem a compostos mais instáveis, que serão utilizados em reações de polimerização.

Para realizar em grande escala o processo de quebra catalítica, são necessários grandes investimentos de capital em reatores conhecidos como *crackers*. Isto faz com que haja um grupo reduzido de empresas capazes de construir tais centros industriais e também é a causa da concentração geográfica apresentada neste tipo de atividade. Esta parte da cadeia produtiva é conhecida como petroquímica de primeira geração.

Uma vez com suas ligações químicas quebradas, os compostos tornam-se instáveis quimicamente, tornando sua estocagem cara e ineficiente. Sendo assim, as fábricas que usam esses materiais como insumos instalam-se em locais próximos aos *crackers*. Elas recebem matéria prima de acordo com o ritmo de produção dos *crackers*, aumentando a concentração geográfica da indústria petroquímica.

Na maioria das vezes, essas fábricas utilizam os compostos vindos dos *crackers* para realizar reações em cadeia (de polimerização), que dão origem a resinas conhecidas como plásticos. Esta parte da cadeia é conhecida como petroquímica de segunda geração.

Uma vez fabricada a resina plástica, esta já se encontra sob uma forma quimicamente estável, e pode ser entregue a diferentes *players* sem exigir qualquer tipo especial de armazenagem. Esses consumidores realizam processos de transformação física do plástico. Esta parte da cadeia é a petroquímica de terceira geração, e inclui praticas como a extrusão e a injeção, que moldam o plástico de acordo com as especificações do produto final a ser feito.

O desdobramento de diferentes insumos ao longo da cadeia petroquímica pode ser visto na figura abaixo.

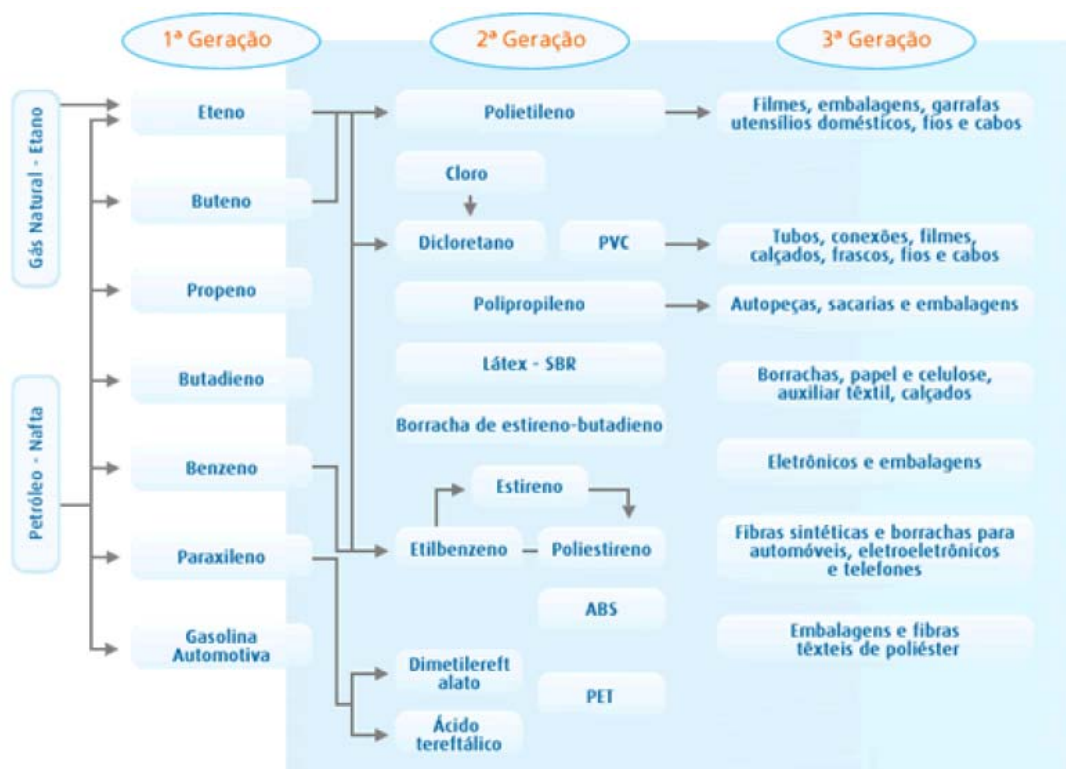


Figura 1 - Desdobramento da cadeia petroquímica (Fonte: Abiquim)

1.1.1 Setor petroquímico brasileiro

Até a década de 1950, o a petroquímica no Brasil era uma atividade incipiente, e o país era apenas um importador de plástico. Com o crescimento do consumo desse material no Brasil, e em meio à atmosfera desenvolvimentista do governo de Juscelino Kubitscheck, iniciou-se o primeiro estímulo a esse setor.

A configuração inicial dessa atividade estava organizada sob um modelo tripartite baseado em grupos de investidores nacionais privados, o governo brasileiro (representado pela Petroquisa, subsidiária da Petrobras) e empresas estrangeiras (que forneciam tecnologia).

O primeiro centro petroquímico brasileiro a ser instalado foi o de São Paulo, conhecido como pólo de Capuava. Em seguida, foram construídos os pólos da Bahia (Camaçari) e do Rio Grande do Sul (Triunfo). Todos eles possuem *crackers* que partem da

nafta para fabricar seus produtos. Em 2005, tiveram início as atividades do pólo do Rio de Janeiro (Duque de Caxias), que utiliza o gás natural como sua matéria prima. Existem outros centros brasileiros onde são fabricados outros produtos petroquímicos, como por exemplo, fábricas de PVC em Alagoas, mas esses locais não possuem a parte de primeira geração.

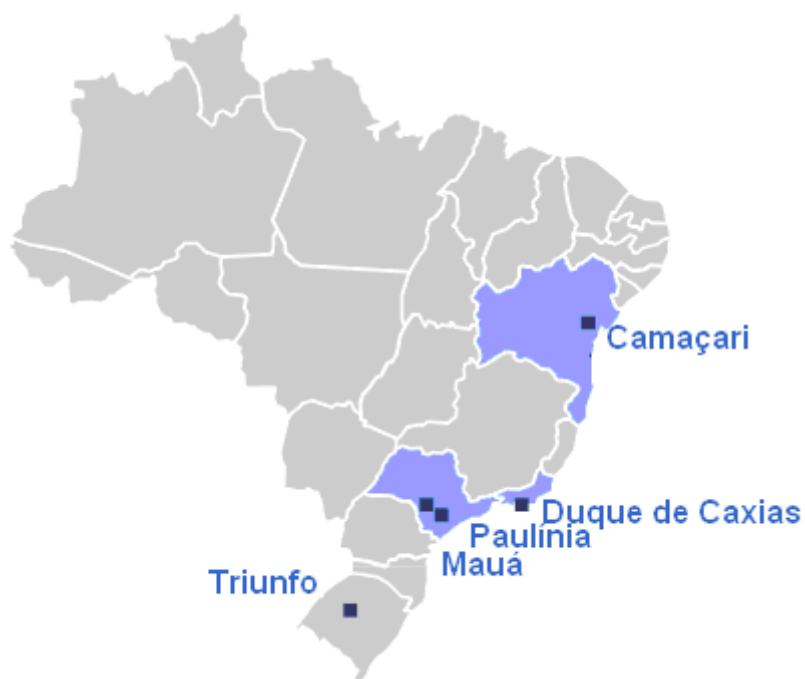


Figura 2 - Mapa com os principais polos petroquímicos brasileiros (Fonte: Braskem)

Quando estabelecidos os polos petroquímicos brasileiros, cada um deles possuía um grupo dominante que era responsável pelo *cracker* ou pelas maiores capacidades do segmento de segunda geração. Entretanto, ao longo da última década, ocorreu um processo de consolidação da indústria petroquímica brasileira, que foi liderado pela Braskem. Esta companhia é controlada pelo grupo baiano Odebrecht, possui a Petrobras como uma de suas principais acionistas, e foi formada inicialmente a partir da fusão de empresas menores que tinham papéis importantes no polo petroquímico de Camaçari.

Após firmar sua posição de liderança no polo da Bahia com a obtenção do controle do *cracker* e de boa parte da capacidade em segunda geração, a empresa passou a adquirir participações no polo de Triunfo, o que culminou com a incorporação deste em 2009. Continuando o processo de consolidação do setor, a Braskem realizou em janeiro de 2010 a aquisição da Quattor Petroquímica, que controlava o polo do Rio de Janeiro e possuía fábricas em São Paulo.

Além de ser o principal *player* petroquímico brasileiro, a Braskem passou a ocupar a liderança nas Américas em termos de capacidade de produção de resinas termoplásticas. Os volumes de capacidade de produção de polímeros da empresa são apresentados na figura abaixo.

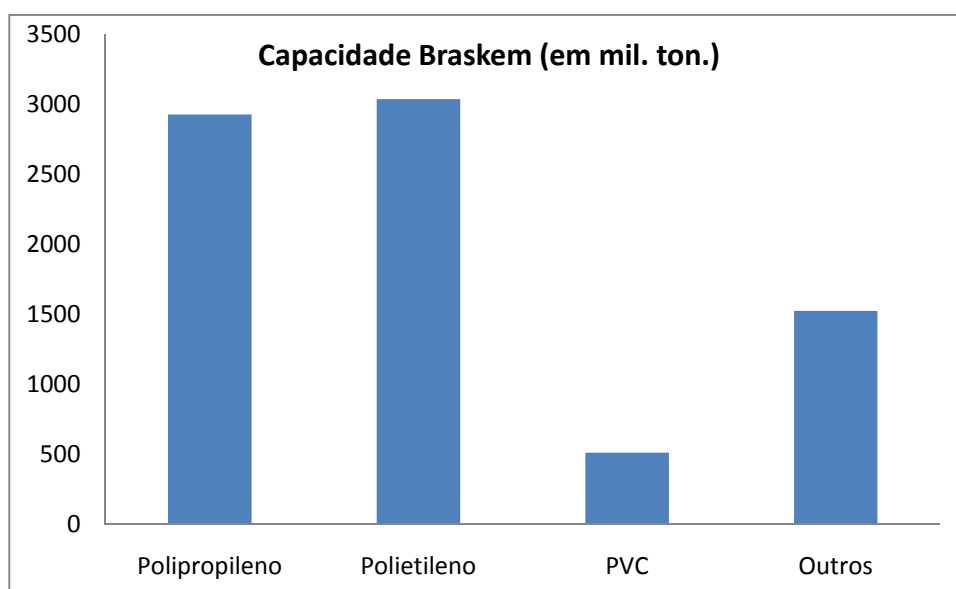


Figura 3 - Capacidade produtiva de resinas da Braskem nas Américas (Fonte: Braskem)

A indústria petroquímica é responsável por produtos que possuem aplicações em diversas atividades, como, por exemplo, embalagens, peças para automóveis, tubulações para construção civil, e tintas. Sendo assim, os volumes de vendas desses produtos são estreitamente relacionados com o andamento da economia doméstica. Com o bom desempenho acumulado da economia brasileira ao longo dos últimos anos, quando também foi possível observar o aumento da renda per capita, a demanda por petroquímicos tem crescido de forma sustentável. A figura abaixo mostra o crescimento da demanda aparente por polietileno, polipropileno, PCP e poliestireno, que apresenta uma taxa média anual de crescimento de 4% na última década.

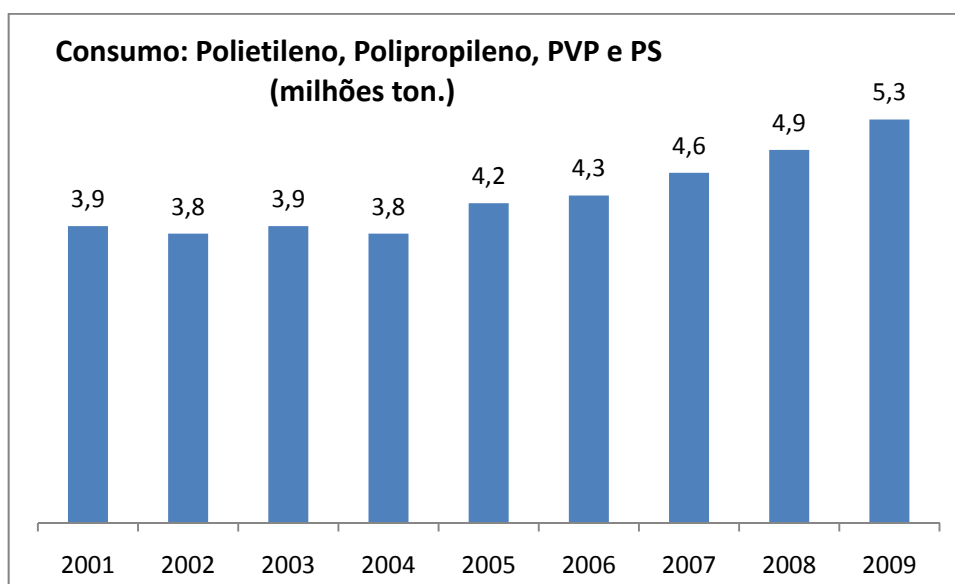


Figura 4 - Consumo de resinas no Brasil (Fonte: Abiquim)

1.2 A EMPRESA

A Chemco¹ é uma empresa que possui atividades nos ramos químico e petroquímico. Segundo seu estatuto social, ela atua na fabricação e industrialização, importação e exportação, armazenagem, distribuição e comercialização de produtos químicos, petroquímicos e seus derivados.

A empresa foi estabelecida em 1894 como um laboratório de manipulação de produtos derivados de extratos vegetais. Em 1909, ela foi transformada em uma empresa limitada, que obteve a primeira fábrica de ácido sulfúrico da América Latina e posteriormente tornou-se a uma sociedade anônima.

No ano de 1969, já sob a razão social atual, houve abertura de capital da empresa, que ainda é listada em bolsa. Em 1986, uma das maiores *holdings* brasileiras assumiu seu controle acionário, mantendo-o até o presente. Em 2002, a Chemco comprou uma empresa

¹ Nome fictício, já que a empresa solicitou confidencialidade para fornecer os dados necessários ao trabalho.

petroquímica localizada em Camaçari (Bahia), como parte de um processo de fortalecimento das indústrias química e petroquímica nacionais.



Figura 5 - Vista da planta de Várzea Paulista (Fonte: Chemco)

A Chemco possui plantas em Várzea Paulista (SP) e Camaçari (BA), e fabrica produtos como ácido sulfúrico e plastificantes. A figura abaixo mostra os principais produtos.

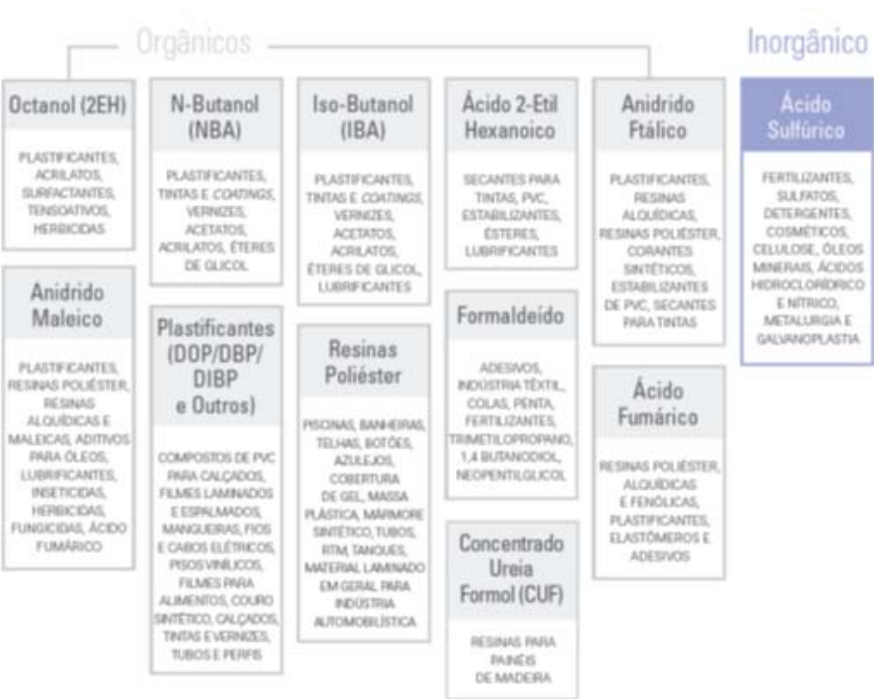


Figura 6 – Principais produtos e suas aplicações (Fonte: Chemco)

A empresa obteve uma receita líquida de R\$878 milhões em 2008, sendo 90% desta vinda do mercado doméstico. Verificando as informações financeiras da Chemco nos últimos anos, percebe-se a sua relação com a economia brasileira, embora a empresa tenha sofrido em 2009 os impactos da crise econômica mundial que se deu ao fim de 2008. Em termos de geração de lucro, a empresa conseguiu um lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização (LAJIDA) de R\$126 milhões em 2008, o que mostra sua relevância no cenário nacional.

Tabela 1 – Indicadores financeiros (Fonte: Chemco)

em milhões de R\$	2006	2007	2008	2009
Receita bruta	897	1083	1105	713
Receita líquida	720	871	878	571
LAJIDA	55	129	126	0
Margem LAJIDA	8%	15%	14%	0%
Lucro líquido	19	71	81	4
Dividendos	5	18	18	1

A empresa possui posição expressiva nos mercados em que atua, possuindo *market share* relevante em produtos como oxo-alcoóis, ácido 2-etil hexanóico, anidridos ftálico e maleico e plastificantes, além de uma capacidade produtiva agregada de 774 mil toneladas anuais, como é mostrado na tabela abaixo.

Tabela 2 – Capacidade de produção (Fonte: Chemco)

Produto	Capacidade Chemco (ton/ano)	Participação na capacidade brasileira
Oxo-álcoois	149000	94%
Ác. 2-Etil Hexanóico	10000	100%
Anidrido Ftálico	70000	53%
Ácido Fumárico	3000	0%
Anidrido Maleico	30000	100%
Plastificantes	140000	55%
Resina de Poliéster	14000	7%
Formaldeído e CUF	68000	8%
Ácido Sulfúrico	260000	4%

O grupo controlador da Chemco, também controla um dos maiores bancos privados brasileiros em termos de ativos totais, e a Woodco, um dos principais fabricantes de painéis

de madeira e de cerâmicas para uso em construção civil. Vale ressaltar que a Woodco é um dos maiores clientes da Chemco.

1.3 O ESTÁGIO

O estágio está sendo realizado na área de análise de ações (*Equity Research*) do banco de investimentos Credit Suisse. O aluno ajuda na elaboração de relatórios contendo recomendações de investimento para certas companhias brasileiras que fazem parte das indústrias de petróleo, gás natural, petroquímicos e distribuição de combustíveis. Entre essas empresas, destacam-se Petrobras, Braskem, os principais *players* nacionais das cadeias de petróleo e de petroquímicos, respectivamente.

O aluno também ajuda na construção de planilhas de avaliação financeiras para essas empresas de forma a retratar sua situação operacional e econômica, servindo como a base quantitativa para as recomendações de investimento.

Além disso, entre as empresas acompanhadas pela área de análise de ações do banco, estão incluídas a *holding* controladora da Chemco, e a Woodco, um dos principais clientes da Chemco.

Portanto, a análise mais aprofundada da situação econômica e financeira da Chemco torna-se pertinente no contexto do estágio, pois oferece a oportunidade para o aluno acompanhar uma parte adicional do setor petroquímico, favorecendo o seu entendimento da cadeia como um todo. Além disso, um conhecimento mais completo da Chemco favorece o entendimento de sua controladora e de um de seus principais clientes (Woodco).

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Ao longo do ano, o aluno realizou visitas a planta de Várzea Paulista da Chemco, onde foi possível observar diversos processos realizados pela empresa. Os departamentos apresentados ao aluno foram compras, planejamento, programação e controle da produção (PCP), contabilidade, finanças e chão de fábrica.

Levando em conta a grande diversidade de produtos fabricados pela Chemco, seria muito complexo, e talvez pouco satisfatório, buscar um problema que incluísse todos os produtos e processos realizados pela empresa.

Por questões de objetividade, optou-se por escolher apenas uma família de produtos da empresa, cujo processo produtivo será conhecido detalhadamente. O grupo de produtos escolhido é aquele formado pelo formol e pelo concentrado ureia formol (CUF), soluções a base de formaldeído.

A primeira razão desta escolha é o fato de os produtos escolhidos possuírem métodos de fabricação similares, que podem ser isolados do restante dos processos da empresa com relativa facilidade. Isto favorece o entendimento do contexto operacional e a identificação de oportunidades de melhoria operacional.

Outro motivo que levou a escolha do formol e do CUF foi o tamanho deste segmento da Chemco com relação aos demais. O segmento que produz de soluções a base de formaldeído possui capacidade produtiva inferior às dos outros produtos, o que, segundo um dos encarregados de produção, se traduz em menores investimentos em ativo fixo e um menor esforço por parte da gestão para tornar este segmento mais eficiente.

Desta forma, foram encontradas algumas oportunidades de melhoria de processos, que formarão o tema do presente trabalho de formatura. A primeira delas ocorre no fornecimento do principal insumo para fabricar formol e CUF: o metanol. A Chemco, que não possui qualquer política formal de estoques em sua divisão de formol e CUF, importa metanol. Porém, como será explicado adiante, existem alguns obstáculos neste processo. Isto prejudica o fornecimento de metanol, trazendo incertezas ao *lead time* de entrega. O atraso no fornecimento de metanol, historicamente, não interrompia a produção de formol e CUF, pois o consumo de matéria prima não era tão grande quando comparado ao volume estocado. Entretanto, o aumento da demanda por formol e CUF nos últimos anos, com exceção do período da crise econômica internacional, fez com que, nas últimas ocorrências de atraso no fornecimento de metanol, o estoque deste material atingisse níveis críticos, tornando-se incapaz de alimentar o reator de metanol. Sendo assim, a planta de formol e CUF ficou parada, em média, quatro dias por causa do atraso na entrega de metanol, deixando de atender seus clientes. Portanto, o primeiro problema identificado na divisão de formol e CUF da Chemco é a necessidade de proteger a empresa de eventuais atrasos no fornecimento de matéria prima.

A segunda oportunidade de melhoria identificada está relacionada à política de compras de metanol. Foi constatado que, além de não haver uma política formal de estoques na divisão de formol e CUF, a Chemco não estima a quantidade adequada de metanol a ser comprada periodicamente, nem a frequência em que se deve comprá-lo. Portanto, pode haver oportunidade de redução de custos de aquisição de matéria prima e de manutenção de estoques, melhorando a eficiência operacional da divisão de formol e CUF.

Além dos potenciais ganhos de eficiência identificados no fornecimento de matéria prima, foi encontrada uma oportunidade de melhoria na fase de planejamento e programação da produção na unidade de formol e CUF da Chemco. Primeiramente, constatou-se que o crescimento da demanda por formol e CUF relaciona-se com o aumento da atividade no setor de construção civil, já que a maior aplicação destes produtos se dá na fabricação de painéis de madeira (para pisos, armários e outros utensílios domésticos). Assim, a maior demanda pelos produtos estudados tem se traduzido em maiores taxas de utilização de capacidade no reator de metanol. Isto trouxe mais dinamismo e complexidade para a tarefa de planejamento e programação da produção de formol e CUF, que carece de recursos sofisticados devido ao menor esforço de gestão oferecido pela Chemco a esta divisão. Como será visto adiante, a programação da produção de formol e CUF é feita em blocos semanais e é baseada somente na experiência dos encarregados de PCP. Portanto, a oportunidade de melhoria operacional identificada foi a de construir um modelo de programação da produção para maximizar o lucro operacional da divisão de formol e CUF, respeitando as restrições operacionais e comerciais desta. Este modelo serviria para guiar as decisões a serem tomadas pela equipe de PCP.

1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO

Uma vez apontadas as oportunidades de melhoria na divisão de formol e CUF da Chemco, é importante estabelecer as metas que este trabalho de formatura visa atingir. O primeiro objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica que contenha conceitos e ferramentas pertinentes e necessários para a busca de melhorias operacionais para a Chemco. Além disso, é importante apresentar uma visão clara e sistêmica da divisão de formol e CUF da Chemco, possibilitando o entendimento de seus processos.

Em seguida, o trabalho visa propor uma política de estoques adequada para a divisão estudada, que considera, ao mesmo tempo, custos de obtenção, manutenção e de vendas perdidas de metanol. Desta forma, deve ser analisada a possibilidade de se instituir um estoque de segurança para proteger a Chemco de incertezas no *lead time* de entrega de metanol. O melhor gerenciamento de estoques também deverá propor uma metodologia para estimar qual é o lote de compra de metanol mais adequado à realidade vivida pela fábrica. Sendo assim, os estoques de metanol da Chemco poderão ser, simultaneamente, mais econômicos e com um nível de serviço mais elevado.

Por último, o trabalho visa fortalecer a tomada de decisão no processo de programação da produção de formol e CUF, dando fundamentação econômica para as escolhas a serem feitas pela equipe de PCP. Isto deve ser feito através de um modelo de planejamento da produção que leve em conta os aspectos operacionais e comerciais da divisão de formol e CUF da Chemco.

1.6 RELEVÂNCIA DO TRABALHO

As visitas e entrevistas à planta da Chemco deixaram claro que a unidade de formol e CUF é a divisão da empresa que mais carecia de métodos e foco por parte da gestão, devido ao seu menor tamanho com relação aos outros segmentos.

A relevância do presente trabalho, portanto, se dá na medida em que se busca fortalecer as práticas operacionais da divisão de formol e CUF da Chemco, utilizando-se práticas industriais consagradas, vindas da Engenharia de Produção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção do trabalho apresenta os principais conceitos e ferramentas para entender a situação operacional do segmento de formol e CUF da Elekeiroz. As explicações a seguir serão úteis para formular os problemas dessa divisão da empresa e para buscar métodos e modelos que solucionem os problemas.

Inicialmente, serão explicados conceitos gerais de sistema, processo e administração. Em seguida, outras ferramentas serão apresentadas, como planejamento da produção, modelagem matemática de problemas, gestão de demanda e gestão de estoques.

2.1 SISTEMA

Para compreender como funciona o sistema produtivo, faz-se necessário definir o que é um sistema e quais são suas características. “Sistema é um conjunto de partes coordenadas para realizar um conjunto de finalidades” (Churchman, 1972). Nesta definição, cinco considerações devem ser feitas, segundo Churchman (1972):

- Os objetivos totais devem ser medidas de rendimento do sistema inteiro. Deve-se investigar se tais objetivos representam somente finalidades declaradas ou se são reais, isto é, se a organização de fato os busca.
- O ambiente do sistema, geralmente fora de seus limites. Este elemento impõe coações ao sistema, sem que este possa realizar alguma coisa a respeito. A demanda por um produto exemplifica uma ação do ambiente.
- Os recursos do sistema, que são encontrados dentro deste e que são utilizados para desempenhar tarefas. Recursos são mensurados em unidades monetárias, horas-homem ou em quantidade de equipamentos. Quanto à utilização dos recursos, o autor enfatiza que, ao invés de focar-se em índices de rendimento dos recursos, deve-se também investigar as oportunidades perdidas e as possibilidades que nunca foram realizadas com os recursos do sistema.
- Os componentes do sistema (subsistemas), divisões do sistema que recebem e executam ações específicas utilizando os recursos.

- A administração do sistema trata da criação de planos para este, considerando objetivos totais, ambiente, utilização de recursos e componentes. Ela determina as finalidades dos componentes, procede à alocação de recursos e controla o rendimento do sistema.

2.2 PROCESSO

Dentro do contexto do sistema produtivo, outro conceito importante é o de processo, sendo esta uma das principais ações realizadas por componentes do sistema.

Segundo Harrington (1993), um processo é definido como qualquer atividade que possua entrada, seguida de uma etapa de agregação de valor, e, por último, uma saída para o cliente, podendo este ser interno ou externo. Esta explicação pode ser exemplificada por uma siderúrgica, que ao receber minério de ferro, realiza tratamento neste material, agregando valor e gerando aço que é entregue ao cliente. O foco no cliente também merece destaque, já que, segundo essa abordagem, entende-se que as expectativas do cliente moldam as atividades que serão realizadas no processo.

Para Hill e Robinson (1995), um processo é a transformação de entradas em saídas em que se utilizam recursos e controles sobre insumos. Há inúmeros tipos de entrada em um processo, incluindo pessoas, informações e materiais, e o processo pode ser físico ou abstrato. Os recursos e controles presentes nesta definição moldam o processo. Os primeiros são ferramentas que não se transformam durante a atividade, podendo ser exemplificados por trabalhadores e equipamentos. Os controles podem ser detalhes técnicos fornecidos pelo cliente, métodos de execução praticados pela empresa ou indicadores de desempenho.

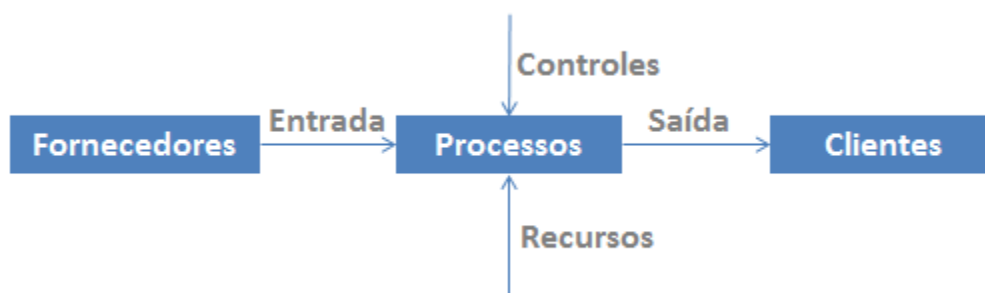


Figura 7 – Definição de processo (Fonte: Adaptado de Hill e Robinson, 1995)

A definição proposta por Salerno (1999) enxerga processos como a cooperação de atividades distintas com o intuito de se atingir uma meta final, sendo esta direcionada ao cliente. Ela introduz um caráter sistêmico aos processos, evidenciando a interação entre as partes envolvidas na execução do procedimento.

2.3 ADMINISTRAÇÃO

Uma vez que no contexto deste trabalho de formatura busca-se melhorar o planejamento das atividades do sistema e a utilização de seus recursos, também julga-se pertinente definir administração.

Segundo Fayol (1976), o conjunto das operações de toda empresa pode ser dividido em operações técnicas (produção, fabricação, transformação), comerciais (compras, vendas), financeiras (procura e gestão de capital), de segurança (proteção de bens e pessoas), de contabilidade (inventários, demonstrativos) e administrativas.

De forma resumida, Fayol (1976) resume o ato de administrar como um conjunto de atividades que inclui planejar, organizar, comandar, coordenar e controlar. Ao longo de sua obra, Fayol (1990) define cada atividade, como mostrado a seguir:

- Planejar é avaliar o futuro e traçar um programa de ação. Este programa é, ao mesmo tempo, o resultado visado, a linha de conduta a seguir, as etapas a vencer e os meios a se empregar. Será visto adiante que o planejamento da produção pode ser feito em diferentes etapas.
- Organizar uma empresa é dotá-la de tudo que é útil a seu funcionamento, como matéria prima, equipamento, capital e pessoal. Este conjunto pode ser dividido em um organismo material e outro social.
- Comandar é fazer com que os recursos da empresa funcionem. Esta missão se reparte entre diversos chefes, e deve possuir como meta tirar o maior proveito possível dos agentes que compõem suas unidades.
- Coordenar é estabelecer a harmonia entre todos os atos de uma empresa, de maneira a facilitar seu funcionamento, dando aos organismos material e social as proporções

convenientes, de modo que eles possam desempenhar seus papéis de forma segura e econômica.

- Controlar é verificar se tudo ocorre de acordo com o programa adotado, as ordens dadas e os princípios admitidos, de forma a apontar falhas, repará-las e evitar sua repetição. O controle pode se dar em todo tipo de operação que ocorre na empresa.

Dessa forma, percebe-se que a administração é uma tarefa complexa e que em seu domínio são realizadas algumas funções vitais para o funcionamento do sistema.

2.4 GESTÃO DE ESTOQUES

Neste tópico serão apresentados conceitos e ferramentas a respeito de estoques consideradas relevantes para o entendimento do sistema produtivo em questão. Esses itens serão úteis para a formulação de soluções ao primeiro problema proposto (relacionado ao estoque de matéria prima).

2.4.1 *Funções dos estoques*

Para praticar adequadamente o gerenciamento de estoques, é preciso entender qual é a utilidade destes. De acordo com Hax e Candea (1983), os estoques podem ser classificados pelas seguintes funções:

Estoque em processo – Materiais que ainda não passaram por todo o processo produtivo. Sua existência se dá porque a produção e o transporte não ocorrem instantaneamente. Por isso, durante a produção ou transporte, o material fica estocado.

Estoque cíclico – Em muitos setores da economia realiza-se a produção em lotes devido às economias de escala proporcionadas (tanto pelo custo unitário do material como pela economia no transporte) ou a imposições tecnológicas. Como exemplo, algumas empresas do ramo químico, como a Chemco, não conseguem realizar processos abaixo de um tamanho mínimo porque a quantidade a ser produzida não justifica os custos fixos incorridos como de energia, catalisadores e mão de obra. O comportamento deste tipo de estoque é

cíclico: ele apresenta um pico no momento da entrega do lote, declinando até ser atingido certo nível, quando é requisitado um novo lote, e atingindo um novo pico quando o novo lote é entregue. Este perfil na evolução temporal do estoque cíclico é conhecido como “dente de serra”.

Estoque de segurança – São estoques mantidos para que a empresa esteja preparada para incertezas tanto na demanda quanto no lead time de entrega. Estima-se a demanda por produtos por meio de previsões, que sempre apresentam margem de erro, e caso não sejam consideradas tais fontes de incerteza, pode haver falta de produtos caso a demanda efetiva ultrapasse a demanda prevista. O estoque de segurança considera este tipo de variação e funciona como uma reserva para os casos em que a demanda apresenta grande desvio para cima ou que o *lead time* de chegada do material é maior que o esperado.

Estoques por outras razões – Estoques podem ser mantidos por razões de especulação, quando a empresa acredita que vai haver alterações nos preços do material. Um uso alternativo de estoques é para separar etapas da produção, de forma que, se uma etapa de produção falhar, as operações subsequentes não são interrompidas.

2.4.2 *Objetivos da gestão de estoques*

O gerenciamento de estoques busca o equilíbrio entre a disponibilidade do produto, também conhecida como nível de serviço, e os custos de fornecimento incorridos para garantir um determinado nível de serviço (Ballou, 2004).

Segundo Ballou (2004), a principal meta da gestão de estoques é garantir que os produtos consigam atender a demanda efetiva a tempo e em quantidade adequada. A avaliação deste objetivo é feita pelo nível de serviço, que muitas vezes é interpretado como a probabilidade de um produto estar disponível para os clientes. Na prática, o nível de serviço é mensurado como a porcentagem da demanda que é atendida pela produção do período e pelo estoque disponível.

Os custos envolvidos no gerenciamento de estoques devem ser considerados para o cálculo da quantidade a ser solicitada em cada encomenda. Ballou (2004) classifica tais custos em três categorias, que serão descritas conceitualmente a seguir:

Custo de obtenção – Relaciona-se com a aquisição de mercadorias para realimentar os estoques, e inclui custos como o de realização do pedido, set-up de máquinas e transporte.

Custo de manutenção – Decorre da armazenagem de material por um período de tempo, são proporcionais à quantidade média mantida em estoque e inclui diferentes espécies de custo:

- Custo de espaço – Quando utilizado armazém próprio, os custos incorridos são de mão de obra, energia elétrica, depreciação de ativo fixo, entre outros. Quando se terceiriza a armazenagem, são cobradas taxas proporcionais ao espaço ocupado.
- Custo de capital – Custo de oportunidade com relação aos recursos empatado em estoques. Landeros e Lyth (1989) apontam que custos de capital podem representar mais de 80% do custo de estoque. Pode-se utilizar como aproximações para o custo de oportunidade a taxa de juros básica (Selic) ou a taxa de atratividade da empresa, que é o retorno médio que a empresa espera ganhar de um novo investimento.
- Custo de serviços e de riscos – Os serviços de estoque incluem custos com seguro e impostos, enquanto os riscos de estoque causam custos como de furtos, obsolescência ou deterioração dos produtos estocados.

Custo de falta – Ocorre quando a demanda efetiva supera a quantidade disponível, isto é, a quantidade produzida no período mais o estoque. A insuficiência de produtos provoca atrasos, vendas perdidas e insatisfação do cliente:

- Custo de atraso – Pode ser entendido pelo que poderia ser feito com o dinheiro decorrente da venda durante o período do atraso, ou seja, um custo de oportunidade.
- Custo de vendas perdidas – É a receita que deixa de ser gerada devido à não entrega do produto e à desistência do cliente, quando este decide obter o produto de outro fornecedor.

2.4.3 Custos de estoque e suas compensações

Esta seção tem como objetivo entender como se calcula os diferentes custos relacionados a estoques. Também se busca calcular as compensações que ocorrem entre os diversos custos de estoques.

A primeira compensação se dá entre os custos de manutenção de estoque e os custos de falta de estoque. Isto leva à necessidade de se determinar uma quantidade de estoque de segurança a ser mantida para minimizar a soma desses custos.

Segundo Arrow, Karlin e Scarf (1958), o custo de manutenção de estoque é proporcional ao aumento da quantidade armazenada de acordo com a equação:

$$CTe = Ce * E/2 \quad (1)$$

Onde:

CTe: Custo total de manutenção de estoque

Ce: Custo de manutenção unitário de estoque

E: Quantidade de estoque de segurança a ser mantida

Todavia, pode-se analisar os componentes do Ce, como mostrado abaixo:

$$Ce = Ca + Cc + Cs \quad (2)$$

Onde:

Ca: Custo de armazenagem, igual ao custo de aluguel pela área ocupada pelo estoque

Cc: Custo de capital empatado (custo de oportunidade do capital empatado no estoque)

Cs: Outros custos de estoque (impostos, serviços e outros custos por unidade de estoque)

Considerou-se a demanda constante ao longo do tempo, portanto, o estoque médio no período é $E/2$.

Com relação aos custos de falta de estoque, serão considerados o custo de vendas perdidas e o de insatisfação do cliente. Nesse caso, a venda perdida se dá quando a demanda é maior que o estoque no período. Arrow, Karlin e Scarf (1958) propõem uma equação da seguinte forma:

$$Cp = Pr * P(D > E) * D \quad (3)$$

Onde:

Cp: Custo de vendas perdidas

Pr: Preço do produto

D: Demanda pelo produto no período

$P(D > E)$: Probabilidade de a demanda no período ser maior que o estoque do período

Percebe-se na equação (3) que um maior estoque reduz a probabilidade de a demanda ser maior que o estoque, representada por $P(D > E)$, e, por isso, Cp. Portanto, o custo total que deve ser calibrado possui a fórmula consolidada, e busca-se E que minimize o custo total:

$$CT = CTe + Cp \quad (4)$$

ou

$$CT = (Ca + Cc + Cs) * E/2 + Pr * P(D > E) * D \quad (5)$$

A importância da compensação entre custo de manutenção de estoque e o custo de vendas perdidas e de insatisfação do cliente depende da variação da demanda. Quanto menor a variação, menor será o risco de não atendimento da mesma. Caso a demanda fosse determinística, não haveria sequer a necessidade do estoque de segurança.

A segunda compensação que deve ocorrer se dá entre o custo de manutenção e o custo de obtenção, em que se deve encontrar o número de unidades a ser pedida para minimizar os custos envolvidos. Desta vez, o estoque E nas equações é o cíclico.

Considerando-se mais uma vez que a demanda é constante ao longo do período, Silver et al. (1998) expressa o custo de manutenção do estoque como:

$$CTe = Ce * Q/2 \quad (6)$$

Onde:

CTe: Custo total de manutenção do estoque

Ce: Custo de manutenção unitário de estoque

Q: Quantidade por pedido

O custo de obtenção é calculado pela seguinte fórmula:

$$Co = Cpe * D/Q \quad (7)$$

Onde:

Co: Custo de obtenção

D: Demanda no período, usada para definir o número de pedidos do período

Cpe: Custo de um pedido

Sendo assim, o custo total é:

$$CT = CTe + Co \quad (8), \text{ ou}$$

$$CT = Ce * Q/2 + Cpe * D/Q \quad (9)$$

A quantidade Qp adequada é conhecida como lote econômico de compra, e possui larga aplicação na indústria. Segundo Slack et. al (1997), o lote econômico Qp pode ser calculado a partir da equação genérica (9) através de cálculo diferencial. Deve-se obter a primeira derivada do custo total com relação à quantidade pedida, para encontrar a taxa de variação dos custos totais, e igualá-la a zero. Por último, basta isolar Q para encontrar Qp.

$$\frac{dCT}{dQ} = \frac{Ce}{2} - \frac{Cp * D}{Q^2} \quad (10)$$

$$\frac{Ce}{2} - \frac{Cp * D}{Q^2} = 0 \quad (11)$$

$$Qp = \sqrt{\frac{2 * Cp * D}{Ce}} \quad (12)$$

Slack et al. (1997) ressaltam que não há grande sensibilidade no custo total com relação a pequenas variações ao redor da quantidade ótima Qp , o que se torna conveniente, já que é difícil estimar os parâmetros da equação com grande precisão.

2.5 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Conforme definido por Fayol (1976), planejar é avaliar as condições futuras e estabelecer um programa de ação. Isto é possível porque há um intervalo de tempo entre a tomada de uma decisão durante o planejamento e a concretização desta.

O planejamento da produção é uma tarefa contínua e que é exercida em diversos níveis ao longo da estrutura de uma empresa, e é o tema relacionado a um dos problemas identificados neste trabalho.

2.5.1 Hierarquia do planejamento da produção

Segundo Arnold (2007), o planejamento da produção pode ser feito em diversos níveis, cujas principais diferenças estão relacionadas ao grau de detalhamento do plano de ação, ao horizonte de tempo no qual as decisões serão válidas e ao período de revisão.

Em outras palavras, conforme o planejamento vai descendo a estrutura organizacional da empresa, ele ganha cada vez mais detalhes, tem seu prazo de validade reduzido e é revista com maior frequência. O planejamento de nível estratégico, situado no topo da empresa, é o mais abrangente, enquanto a execução da produção é o nível mais restrito de todos, conforme se observa na figura abaixo.

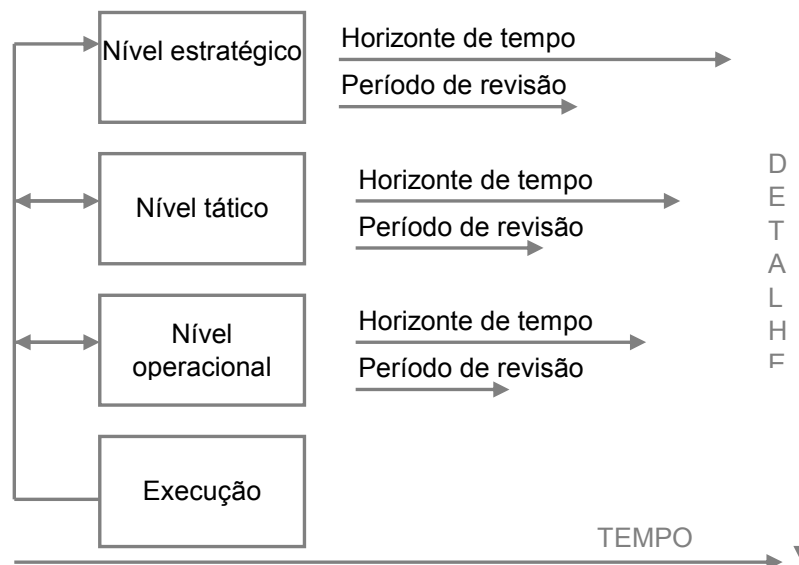


Figura 8 – Hierarquia do planejamento (Fonte: Adaptado de Santoro, 2006)

Percebe-se, portanto, que ao ser tomada uma decisão sobre a produção em certo nível de planejamento, ela torna-se uma restrição ao que pode ser decidido no nível inferior, de forma que o alinhamento vertical entre cada nível de decisões é mantido.

Slack et al. (1997) diferenciam as atividades de planejamento da produção de acordo com o horizonte de tempo em que as decisões tomadas serão efetivas, caracterizando três horizontes de planejamento:

- Longo prazo, no qual a previsão da demanda por produtos e a determinação de recursos são realizadas de forma agregada, e os objetivos são estabelecidos sob a perspectiva financeira.
- Médio prazo, em que a previsão de demanda é feita de forma parcialmente desagregada, ou seja, já separando produtos em famílias. Além disso, os recursos e contingências são estimados de forma mais precisa e os objetivos são estabelecidos de forma financeira e operacional.
- Curto prazo, em que a previsão de demanda é separada por produto, os recursos são obtidos precisamente e os objetivos operacionais são específicos.

Para que o planejamento da produção seja feito eficientemente, devem ser considerados todos os seus níveis. O grau de detalhe e horizonte de tempo deles devem ser adequados às suas posições na hierarquia de planejamento. É necessário garantir a coerência entre a decisão tomada em um nível de planejamento e o que foi feito no nível inferior.

2.5.2 *Gestão da demanda*

A demanda pode ser definida como a disposição de clientes ao consumo de certos produtos e serviços. Segundo Corrêa et. al (1997), a gestão de demanda pode ser dividida em cinco atividades, cada uma definida abaixo:

Previsão – Uso de ferramentas para antecipar, com certa precisão, o potencial de demanda futura. Requer uma base de dados históricos de vendas, bem como registros de eventos externos (concorrência) e internos (promoções) que expliquem o comportamento dos volumes no passado. Além disso, utilizam-se modelos matemáticos de previsão.

Comunicação com o mercado – Função adicional da equipe de vendas que muitas vezes não é realizada, que consiste na obtenção de informações de clientes de forma contínua e permanente.

Influência sobre a demanda – Ações que podem ser exercidas pelo departamento de vendas para induzir o comportamento dos consumidores, como, por exemplo, negociações com cliente, campanhas publicitárias e alteração do mix de vendas. Pode ser útil para redução de sazonalidade.

Promessa de prazo – Um dos artifícios utilizados pela empresa para garantir a confiabilidade de seu produto, que afeta diretamente o nível de serviço oferecido ao cliente.

Priorização e alocação de demanda – Atividade realizada nos casos em que a empresa não consegue atender toda a demanda no período adequado. Consiste em decidir quais clientes serão atendidos de forma completa ou parcial.

Segundo Arnold (2007), as previsões devem ser feitas em diversos níveis, de acordo com o nível de planejamento considerado. Sendo assim, elas possuem diferentes níveis de detalhe e de horizonte de tempo. Para o planejamento estratégico, a demanda deve ser prevista de maneira agregada e antecipada o suficiente para permitir que a empresa realize as mudanças necessárias em sua capacidade, e a previsão é revista a cada ano. No nível tático, a previsão de demanda é feita em famílias de produtos e são revistas, em média, a cada trimestre. Em um MPS, as previsões são realizadas por item, e sua revisão é semanal.

O comportamento da demanda pode possuir diferentes atributos que influenciam a previsão e as técnicas utilizadas nessa atividade (Arnold, 2007). Segundo Arnold (2007), um dos atributos é o padrão da demanda, que pode apresentar:

- Tendência – Aumento ou diminuição em prazos mais longos, geralmente por motivos estruturais. O crescente consumo de gasolina no século passado pode ser um exemplo disso, já que o número cada vez maior de veículos no mercado gerou a necessidade cada vez maior deste combustível.
- Sazonalidade – Variações relacionadas, geralmente, à época do ano, podendo ser resultado do clima, do período de férias ou de uma data específica.
- Variação aleatória – Ocorre pelos mais diversos fatores. Existem métodos para mensurar esta variação.
- Ciclicidade – Variações de longo prazo influenciadas pelo ritmo da economia.

A demanda por um produto pode ser classificada como independente ou dependente. Um produto tem demanda independente quando ela não está relacionada à demanda de nenhum outro produto. Somente este tipo de demanda precisa ser prevista, já que a demanda dependente é uma função de outra demanda independente.

Arnold (2007) considera três grandes grupos de técnicas de previsão de demanda:

- Técnicas qualitativas – Projeções baseadas em discernimento e intuição, geralmente usadas para prever demandas agregadas e de longo prazo. Podem ser feitas por meio de pesquisas de mercado, analogia histórica com algum produto similar ou por meio da construção de um consenso entre especialistas.
- Técnicas extrínsecas – Apresenta as estimativas baseadas em indicadores externos que se relacionam com os produtos de uma empresa. As relações entre os indicadores e a demanda por produtos pode ser verificada por técnicas estatísticas como a regressão linear simples e múltipla. O principal desafio na execução desta técnica é encontrar um indicador que, ao mesmo tempo, possua correlação e antecipe a demanda.
- Técnicas intrínsecas – São métodos quantitativos de previsão de demanda que utilizam dados históricos, assumindo que no futuro a demanda terá comportamento parecido com o do passado. São as técnicas mais utilizadas para previsão de curto prazo.

Por possuírem utilização em larga escala e uma grande variedade, as técnicas intrínsecas serão explicadas em maior detalhe. Uma primeira abordagem é prever que a demanda futura será exatamente igual à demanda do passado. Para um produto sem sazonalidade, a demanda de um mês é igual à demanda do mês anterior. Caso haja sazonalidade, a melhor estimativa seria a demanda do mesmo mês no ano anterior.

As médias são muito utilizadas, já que em geral as demandas futuras oscilam em torno de uma média. A média utilizada pode ser estática (usa todos os elementos da amostra), ou móvel (inclui um número limitado de observações mais recentes).

Quando há uma maior influência da demanda do último mês para a previsão, pode-se utilizar a suavização exponencial, que considera a previsão do próximo mês como uma média ponderada entre a última previsão e a demanda do último mês. Podem-se adicionar fatores quantitativos para representar tendências (função linear) e sazonalidade (índice sazonal).

Toda previsão de demanda apresenta desvios com relação ao que efetivamente é consumido pelos clientes, e os estoques devem amortecer o impacto dos erros ao longo da cadeia produtiva. Entretanto, é importante acompanhar essas variações de forma a reduzi-las, garantindo que a operação ocorra eficientemente. Define-se o desvio, ou erro, como a diferença entre a demanda prevista e a realizada.

$$E = \text{Demanda realizada} - \text{Demanda prevista}$$

A utilização de termos percentuais para expressar o erro evita interpretações ou enganos dimensionais, e só ocorre quando as vendas são realizadas. Este cálculo pode ser feito em todos os níveis de planejamento.

Além disso, existem dois indicadores para o erro, sendo o primeiro a média dos erros percentuais, em que desvios percentuais positivos e negativos em geral anulam-se, distorcendo o resultado. Entretanto, este indicador indica se há viés de alta ou de baixa nas projeções de demanda. A fórmula do erro percentual médio é mostrada abaixo:

$$\text{Erro percentual médio} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 100 * \frac{\text{Demanda real}_i - \text{Demanda prevista}_i}{\text{Demanda real}_i}$$

O segundo indicador é o erro médio absoluto, em que os módulos dos desvios são utilizados, de forma a cancelar o efeito de compensação entre valores positivos e negativos. Sua fórmula é expressa a seguir:

$$\text{Erro médio absoluto} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 100 * \left| \frac{\text{Demanda real}_i - \text{Demanda prevista}_i}{\text{Demanda real}_i} \right|$$

Podem-se utilizar esses indicadores em diferentes etapas do planejamento da produção, de forma a avaliar efetividade das decisões de produção e de gestão de estoques.

2.5.3 Modelagem matemática em planejamento da produção

Como um dos problemas identificados na empresa é relacionado ao planejamento de produção, devem-se buscar ferramentas para resolvê-lo. Este problema encontra-se no campo da pesquisa operacional.

Segundo Winston (2004), a pesquisa operacional é uma abordagem científica para problemas de tomada de decisão, procurando a melhor forma de desenhar e operar um sistema, normalmente sujeita a condições que requerem a alocação de recursos escassos.

De acordo com Winston (2004), existem alguns elementos básicos que compõem um modelo de pesquisa operacional:

- Variáveis de decisão – Itens que são controláveis e que influenciam o desempenho do sistema analisado. São os valores obtidos a partir da resolução do modelo matemático.
- Parâmetros – Dados de entrada do problema, cujos valores já são conhecidos;
- Função objetivo – Expressão matemática que representa a meta a ser atingida pelo sistema. Normalmente é maximizada ou minimizada.
- Restrições – Condições de contorno do problema, fornecendo intervalos de valores que podem ser assumidos pelas variáveis de decisão. As restrições representam a escassez de recursos.
- Domínio das variáveis – Conjuntos de números que devem conter as variáveis de decisão. Pode ser o conjunto dos números, reais, inteiros, entre outros.

2.5.4 Problemas análogos

Dentro da pesquisa operacional, o problema de planejamento de produção a ser modelado e resolvido trata-se de um problema de *scheduling*, que possui vasta literatura. Um problema análogo ao encontrado na fábrica, chamado problema do forno (*baking problem*) é descrito a seguir.

O problema de um forno (*baking problem*) consiste na ordenação de tarefas a serem executadas, em um dado período, por um forno que possui uma capacidade limite e um tempo de processamento. Uma vez que o forno esteja em processo, não pode haver retirada ou

adição de material até o fim da tarefa. Caso a tarefa exceda a capacidade do forno, ela pode ser quebrada em sub-tarefas. Existe uma data de chegada e de entrega para cada tarefa, e a ordenação deve minimizar o atraso total.

Sule (1997) propõe a seguinte formulação para o problema de um forno:

Índices:

- $i = 1, \dots, N$ Tarefas a serem ordenadas
 $t = 1, \dots, T$ Número total de dias disponíveis para fazer a ordenação

Variáveis:

- X_{it} Estado da tarefa i no período t . 1 se processando, 0 se estiver inativa
 A_{it} Atraso da tarefa i se ela começar a ser processada no período t
 y_t Variável artificial binária usada para garantir continuidade da operação
 $Z_{1,g}, Z_{2,g}$ Variáveis artificiais binárias que garantem tempo B de processamento

Parâmetros:

- D_i Data limite de entrega para a tarefa i a partir do presente
 J_i Instante em que a tarefa i chega
 C Capacidade do forno
 B Período em que o forno processa as tarefas

Função objetivo:

$$\text{Minimizar } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N A_{it} * X_{it}$$

A função objetivo calcula o atraso total gerado por uma ordenação, e deve ser minimizada. O atraso para a tarefa i que é iniciada no período t pode ser calculado da seguinte forma:

$$A_{it} = t + B - D_i$$

Restrições:

$$(1) \sum_{t=J_i}^T X_{it} = 1, \text{ para } i = 1, \dots, N$$

$$(2) \sum_{i=1}^N X_{it} + C * y_t \leq C, \text{ para } t = 1, \dots, T$$

$$(3) \sum_{t=g}^{t+B} y_t - B * Z_{1,g} - (B - 1) * Z_{2,g} = 0, \text{ para } g = 1, \dots, T$$

$$(4) Z_{1,g} + Z_{2,g} = 1$$

A restrição (1) garante que cada tarefa será executada apenas uma vez, e depois da data de chegada J_i . Em seguida, a restrição (2) faz com que no máximo C tarefas sejam processadas, respeitando a capacidade do forno. As restrições (3) e (4) garantem a continuidade do processamento, ou seja, elas deixam um espaço de B períodos entre dois processamentos diferentes.

Domínio:

$$X_{it} \in Z$$

$$A_{it} \in Z$$

$$y_t \in \{0,1\}$$

Existem diversas semelhanças entre o problema do forno e o encontrado na planta de formol e CUF. A primeira delas diz respeito à capacidade de processamento do recurso gargalo, já que o reator só consegue processar uma certa quantidade de metanol por dia.

Além disso, a divisão de produtos estudada também está sujeita a penalizações por atraso, embora não seja proporcional ao período de atraso. Uma outra semelhança se dá na continuidade do processamento, já que não pode haver interrupções durante o processamento de metanol na planta. O fato de o processamento de metanol durar um dia simplifica o equacionamento da restrição de continuidade, como será visto adiante.

2.5.5 Outras considerações

Além de utilizar a penalização por atraso, como no problema descrito acima, existem outros fatores que podem ser incluídos na função objetivo de um problema de planejamento. De acordo com Santoro (2006), diferentes custos podem ser relevantes na construção de um modelo genérico de planejamento da produção, entre eles:

- Estoque – Ocupa espaço físico, exige manuseio e cuidado, e faz a empresa incorrer em um custo de oportunidade do capital empatado. Este custo será explicado adiante em maiores detalhes.
- Atraso e vendas perdidas – Relacionam-se com o não atendimento dos pedidos do cliente e podem traduzir-se em perda de receitas futuras, pois reduzem a percepção de nível de serviço da empresa pelo cliente.
- Admissão de funcionários – Traz custos de recrutar, contratar e treinar.
- Demissão de funcionários – Gera encargos trabalhistas e desgasta a imagem da empresa diante do mercado e de outros possíveis funcionários.
- Horas-extra – Geram desembolsos devido ao uso excedente de mão de obra com relação à carga horária normal.
- Subcontratação – Diz respeito à terceirização de tarefas e ao seu controle.
- Ociosidade – Representa o custo de oportunidade dos recursos gastos em equipamentos e mão de obra que estão subutilizados.

2.5.6 Programa mestre da produção

Segundo Arnold (2007), o programa mestre da produção, ou MPS (*Master Production Schedule*) é a etapa do planejamento que forma a base de comunicação entre as áreas de vendas e de produção. Estão entre as principais atribuições do MPS:

- Formar o elo entre o planejamento da produção e o que a produção de fato realizará.
- Fornecer a base de cálculo para capacidade e recursos necessários.
- Orientar o material requirements plan (MRP) e os níveis de produção diários.

Enquanto o planejamento acima do MPS lida com produtos agregados, o MPS separa as quantidades a serem produzidas em produtos finais. Entretanto, o MPS continua seguindo o que foi estabelecido na etapa anterior de planejamento, ou seja, respeita as restrições impostas nos níveis superiores de planejamento.

Para desenvolver o MPS, é necessário fornecer o plano de produção, a demanda prevista para itens individuais, encomendas reais recebidas, níveis de estoques de produtos acabados e restrições de capacidade dos equipamentos.

3 ANÁLISE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Nesta seção, busca-se explicar o funcionamento do sistema de produção da Chemco, identificando seus elementos mais importantes e identificando oportunidades de melhoria operacional, tendo em vista os conceitos tratados no capítulo anterior. Além disso, será feito um diagnóstico do sistema, que resumirá as oportunidades de melhoria encontradas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

Seguindo a abordagem proposta por Churchman (1972), o sistema de produção de formol e CUF possui como objetivo garantir o suprimento de produtos para os clientes do modo mais eficiente possível, visando a maximizar seu lucro operacional.

O ambiente em que a divisão estudada está inserida é delimitado por: fornecedores internacionais de metanol e nacionais de ureia, porto em que o metanol é recebido, registrado e liberado pelas autoridades competentes, armazéns e transportadores terceirizados para matéria prima e mercado consumidor.

Os principais recursos deste segmento da empresa são: tanques de estocagem de metanol, armazém para recipientes de ureia, um reator para processamento de metanol, colunas de água em que os produtos são fabricados e tanques de armazenagem de produto acabado. Cerca de 40 funcionários de chão de fábrica são alocados para esta divisão, e as áreas de compras, PCP e vendas são compartilhadas com outros segmentos da empresa.

Os componentes, ou subsistemas que executam as principais funções da divisão de formol e CUF são a armazenagem de matéria prima, o processamento no reator, a mistura na coluna de água e a entrega aos clientes feitas nos tanques de armazenagem de produto final.

A administração do sistema pode ser dividida em uma parte estratégica, que fica sob a responsabilidade da diretoria da Chemco e uma parte tática-operacional, que é exercida pelas divisões de compras, PCP, vendas e chão de fábrica.

3.2 PRODUTOS

O foco do trabalho foi direcionado a soluções a base de formaldeído: formol e concentrado ureia-formol (CUF). Ambos os produtos são líquidos translúcidos e incolores, que apresentam odor irritante e são corrosivos.

A estocagem desses compostos é feita em tanques de aço inoxidável ou de fibra. Quando a concentração mássica de formaldeído é mais alta, por exemplo, 44% e 50%, a estocagem é feita a uma temperatura de 60° C para minimizar a formação de paraformol (precipitado branco), que não possui as mesmas aplicações das soluções e dificulta o transporte do produto.

Sendo assim, os tanques que armazenam estas soluções devem possuir sistema de aquecimento com água termostatzada e isolamento térmico, além de agitadores nos tanques.

Os produtos dessa divisão da Chemco são segmentados da seguinte forma, com as porcentagens representando concentrações mássicas de matéria prima:

- Formol 37% estabilizado, que possui uma pequena parte de agente estabilizante para inibir a formação de paraformol (precipitado branco).
- Formol 37% inibido, que possui uma pequena parcela de metanol para inibir a formação de paraformol.
- Formol 44%, que é estabilizado a quente (60° C) para evitar a formação de paraformol.
- Formol 50%, que é estabilizado a quente (60° C) para evitar a formação de paraformol.
- CUF 71%, que contém entre 50% e 51% de formol, entre 20% e 21% de ureia, sendo o restante da mistura água.

De acordo com o manual dos produtos da empresa, o formol é usado em uma série de aplicações, sendo as principais resinas uréicas, (transformando-o em CUF), melamínicas e fenólicas, adesivos, fertilizantes, auxiliar nas indústrias têxtil, de couro, borracha e cimento, agentes bactericidas e desinfetantes. Já o CUF é utilizado exclusivamente na fabricação de resinas uréicas.

Em termos de volume, as resinas uréicas são o principal produto feito com o formol e CUF da empresa. Elas fazem parte do processo de produção de painéis de madeira, que são usados para a obtenção de pisos de madeira e de móveis, produtos largamente presentes em domicílios. Portanto, a demanda por formol e CUF está muito relacionada ao setor de construção civil.

3.3 PROCESSO PRODUTIVO

A fabricação de formol e CUF pela Chemco ocorre na planta de Várzea Paulista, normalmente de segunda a sábado. Segundo um dos encarregados da produção, por questões estratégicas para realizar economias de custo fixo, as máquinas, normalmente, não operam aos domingos.

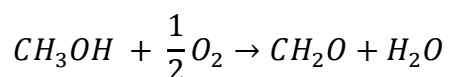
Ressalta-se que, para facilitar a análise do sistema de produção deste estudo, a produção, os estoques de produto acabado e as vendas serão convertidos nos seus equivalentes em toneladas de metanol.

As principais etapas que formam o processo de fabricação do formol e do CUF são a oxidação parcial do metanol e a absorção do formaldeído em colunas de água.



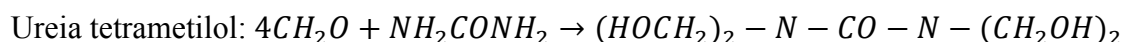
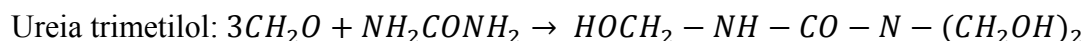
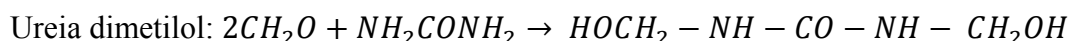
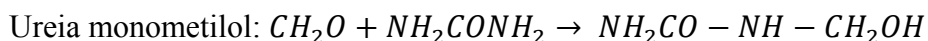
Figura 9 – Planta de formol e CUF (Fonte: Chemco)

Durante a fase de oxidação, o metanol que é trazido dos tanques de armazenagem para o misturador é vaporizado e mistura-se com o ar. Em seguida, ele é levado a um reator catalítico multitubular, onde sofre oxidação parcial a uma temperatura acima de 300° C, obtendo-se o formol em estado gasoso. O catalisador utilizado é a base de óxidos de molibdênio e ferro, encontra-se no interior do reator. A reação que ocorre é representada pela seguinte equação química:



A etapa de absorção ocorre quando a corrente gasosa contendo formol é direcionada para uma das duas colunas existentes na planta. A coluna T1 absorve o formol gasoso em presença de água, depositando na sua parte inferior o formol, que fica com a concentração mássica desejada (37%, 44%, 50%) pelo operador da coluna. A coluna T2 absorve o formol em solução aquosa de ureia, previamente preparada com a concentração adequada, e na base da coluna T2 deposita-se o CUF com a concentração mássica de 71%. A coluna T1 pode, na prática, operar com concentração de até 55 % de formol, enquanto que a coluna T2, com concentração de até 80% de formol mais ureia.

Enquanto a composição química do formol permanece inalterada no momento da absorção, ocorre a formação de alguns compostos químicos na coluna em que o CUF é absorvido, de acordo com as equações químicas abaixo:



Segundo um dos encarregados de produção, por questões de custos de *set-up* e de outras especificações técnicas, como a necessidade de limpar alguns equipamentos para retirar resíduos de ureia, a empresa fabrica apenas um tipo de produto em um dia: formol ou CUF.

Para medir a capacidade de produção, analisou-se a capacidade de expedição de produtos pelo reator de metanol. Esta foi convertida em toneladas de metanol equivalente, e é calculada na tabela abaixo. Além disso, caso ocorra produção em um dia, a quantidade mínima a ser expedida é 40 toneladas de formol ou CUF, o que equivale a aproximadamente 20 toneladas de metanol processado.

Tabela 3 – Capacidade de produção de formol e CUF (Elaboração do autor)

Índice		Comentário
Capacidade de expedição (ton/ano)	68.000	Baseado no relatório anual da empresa
Dias de produção (dias/ano)	312	52 semanas, de segunda a sábado
Capacidade de expedição (ton/dia)	218	-
Ton. de metanol por ton. expedida	0,495	Índice de conversão da empresa
Capac. Máx. de processamento de metanol (ton/dia)	108	-
Mínima expedição em um dia (ton/ dia)	40	Estimativa da empresa
Capac. Mín. de processamento de metanol (ton/dia)	20	

3.4 ANÁLISE DE RENTABILIDADE

Como um dos objetivos da divisão de formol e CUF é maximizar a rentabilidade do sistema, é necessário entender o que move as receitas e os custos deste segmento da Chemco.

Os principais custos presentes na divisão estudada relacionam-se com a compra de matéria prima. Para o formol, a única matéria prima é o metanol, enquanto para fazer o CUF a empresa utiliza metanol e ureia. Outros custos variáveis incluem a energia elétrica consumida para vaporizar o metanol e as demais atividades envolvidas no processo de fabricação.

Além disso, como a reação de oxidação parcial do metanol libera calor, parte da energia gerada é utilizada para aquecer mais metanol. A empresa, dessa forma, contabiliza o que se deixa de gastar com energia elétrica como um crédito. Entretanto, este valor possui certa volatilidade, dependendo de fatores como a quantidade de catalisador presente no reator. Isto foge do escopo do estudo, e, portanto, este crédito não será considerado neste trabalho.

A divisão possui custos fixos diretos, que se relacionam, por exemplo, com mão de obra, e indiretos, como custos de *set-up*, limpeza do reator e dos tubos, e depreciação.

A figura abaixo mostra a quebra dos custos em porcentagem para formol e CUF, enquanto a tabela mostra os custos totais e por tonelada de metanol consumido durante o mês de abril. Este foi último mês que a empresa forneceu informações financeiras ao aluno.

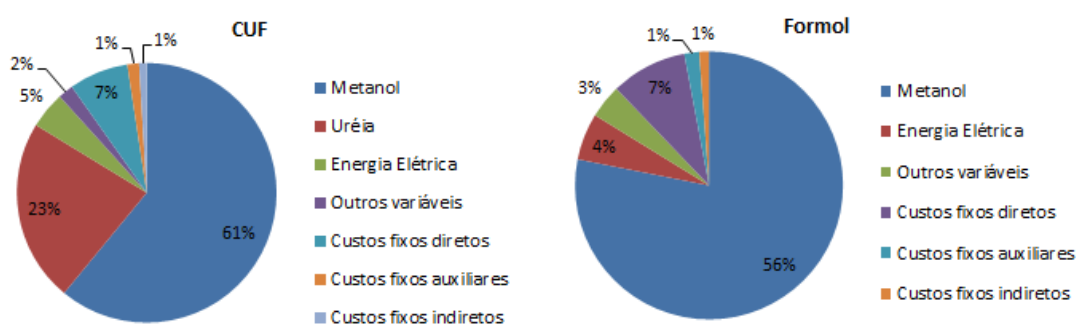


Figura 10 – Quebra de custos de produção em abril (Fonte: Chemco)

Tabela 4 – Custos de produção em abril (Fonte: Chemco)

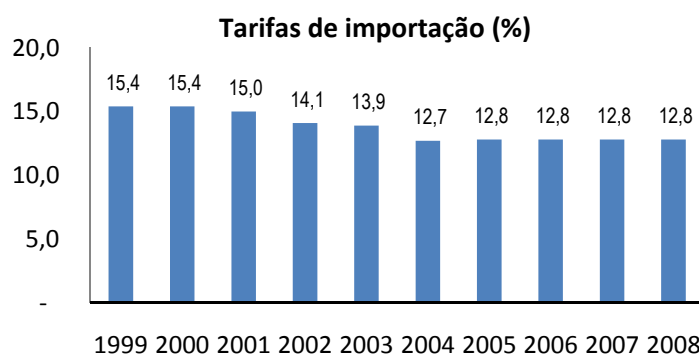
	CUF				Formol		
	Total (R\$)	%	unit. (R\$)		Total (R\$)	%	unit. (R\$)
Metanol	810.682	61%	771		748.523	56%	771
Uréia	302.832	23%	288		-	-	-
Energia Elétrica	60.639	5%	58		54.262	4%	56
Outros variáveis	25.406	2%	24		38.865	3%	40
Custos fixos diretos	98.357	7%	94		88.010	7%	91
Custos fixos auxiliares	19.229	1%	18		17.206	1%	18
Custos fixos indiretos	12.568	1%	12		11.247	1%	12
Total	1.329.712	100%	1265		958.113	72%	987

A formação de preços de CUF e formol é função da demanda doméstica e dos preços destes produtos nos mercados internacionais. Embora os preços de venda exercidos pela Chemco variem de acordo com o cliente, por questões de escala e outros aspectos da negociação, estimou-se, simplificada, a receita média por tipo de produto.

De acordo com demonstrativos financeiros da empresa, a margem bruta histórica gerada por estes produtos é de, na média, 20% para o CUF e 16% para o formol. No mês de abril, portanto, estima-se que a receita líquida obtida por tonelada de metanol processado foi de R\$1.581 (CUF) e de R\$1.175 (formol). Tais valores serão utilizados no presente estudo.

3.5 CADEIA PRODUTIVA

A cadeia produtiva da unidade estudada inicia-se com a obtenção do metanol e da ureia, principais insumos utilizados na fabricação dos produtos. A companhia adquire metanol por meio de importações, recebendo-o no porto de Paranaguá, localizado no estado do Paraná.

**Figura 11 – Histórico de tarifas de importação de petroquímicos no Brasil (Fonte: Abiquim)**

O processo de importação de produtos químicos e petroquímicos no Brasil normalmente exige pagamento de impostos equivalentes, em média, a 13% do valor dos produtos. Entretanto, segundo um dos encarregados de compras entrevistados, a companhia usufrui de benefícios fiscais, tornando-se isenta do pagamento de tais tributos.

Esse alívio fiscal ocorre porque a companhia possui fábrica no polo petroquímico de Camaçari, o que lhe garante certas vantagens tributárias. A empresa decidiu, portanto, utilizar tal benefício para se isentar do pagamento de impostos de importação de metanol.

A Chemco recebe um lote de 1.500 toneladas de metanol a cada vinte dias, que chegam por navio ao porto de Paranaguá. Os processos aduaneiros para o reconhecimento do benefício fiscal e posterior liberação do produto costumam durar poucas horas.

Entretanto, pelo fato de o benefício fiscal ter sido originado em outro estado, pode haver desvios com relação ao tempo que a mercadoria passa no processo alfandegário. Quando ocorrem atrasos, há uma demora de, em média, quatro dias para o material ser liberado. Isto ocorre devido a burocracias, erros de documentação e outras causas, prejudicando o fornecimento de matéria prima.

Uma vez permitida a circulação da mercadoria, ela é armazenada em um tanque com capacidade máxima de armazenamento de 1.700 metros cúbicos (equivalente a 2.150 toneladas de metanol) localizado no município de Paranaguá. De acordo com as ordens de produção em Várzea Paulista, o metanol é transportado para a fábrica por carretas com 150 toneladas de capacidade. Uma vez na planta de Várzea Paulista, o metanol é estocado em um tanque com capacidade de armazenar 700 toneladas de metanol.

A ureia, matéria prima para a fabricação de CUF, é obtida de fornecedores domésticos, também localizados no estado do Paraná. O suprimento deste material ocorre de forma mais suave do que o de metanol, já que existem fornecedores substitutos em um curto espaço de tempo. A ureia também é levada a Várzea Paulista por meio de carretas, sendo mantida em *big bags*, ou seja, em sacos plásticos, que são depositados em um galpão antes de o composto ser misturado com água para produzir CUF.

Quando estão disponíveis na planta de Várzea Paulista, o metanol e a ureia são consumidos para fabricação de formol e CUF, seguindo o plano de produção estabelecido pelo departamento de PCP. Uma vez fabricados, os produtos são armazenados em tanques, ficando a espera de caminhões de clientes e de empresas de transporte. A Chemco não transporta seus produtos aos clientes, mas se responsabiliza por erros nas suas especificações.

Assim, a cadeia produtiva pode ser dividida em dois grandes blocos: fornecimento de metanol e produção de formol e CUF. Cada um desses blocos será analisado a seguir.

3.6 FORNECIMENTO DE MATÉRIA PRIMA

Neste item, será explicada a dinâmica do fornecimento de metanol, principal matéria prima para a fabricação de formol e CUF, bem como os custos envolvidos com a obtenção e armazenagem deste material. O fornecimento de ureia não será analisado, já que este ocorre de forma mais controlada.

3.6.1 *Gestão de estoques*

Atualmente, a divisão de formol e CUF da Chemco não possui qualquer política formal para o gerenciamento de seus estoques de matéria prima ou de produtos acabados. De acordo com um dos encarregados de PCP, a diretoria orienta a unidade produtiva, de forma geral, a manter estoques reduzidos, para minimizar o volume de capital empatado.

Esta orientação só muda quando a diretoria acredita que haverá tendência de aumento de preços dos produtos da empresa, de modo que os estoques de produto acabado sejam formados e acumulados a preços mais baixos, para serem vendidos a preços superiores, maximizando o lucro bruto da empresa. Entretanto, por possuir baixa ocorrência, esse comportamento do estoque não será estudado.

Dessa forma, na maior parte do tempo, a divisão estudada está sujeita à política de manutenção de estoques reduzidos. A figura abaixo mostra o comportamento semanal dos estoques de metanol da Chemco durante os primeiros meses de 2010.

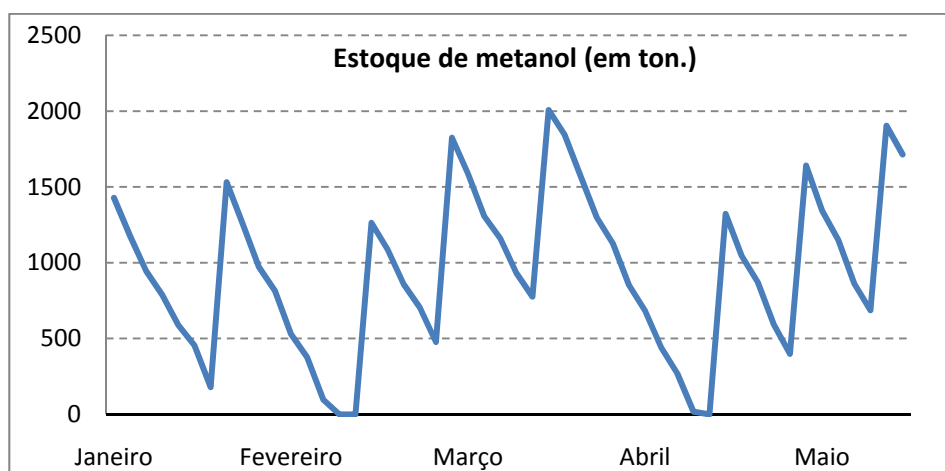


Figura 12 – Comportamento do estoque de metanol em 2010 (Fonte: Chemco)

Especificamente com relação ao estoque de metanol, serão conhecidos aspectos como a quantidade armazenada, o tamanho atual do lote de pedido e a estimativa do consumo médio feita pela empresa.

A armazenagem de metanol é feita em dois locais: em um tanque capaz de armazenar 2.150 toneladas de metanol no município de Paranaguá, pertencente a uma empresa prestadora de serviço de armazenagem de grânéis líquidos, e em um tanque com capacidade de guardar 700 toneladas de metanol localizado na planta de Várzea Paulista.

O transporte de um local ao outro é feito por carretas com capacidade de 150 toneladas e dura cerca de nove horas, sem muita variação. Assim, como o volume e tempo de estoque em trânsito são reduzidos, não serão vistos em detalhe.

A primeira observação crítica relacionada a gestão de estoques de metanol foi que a prática de minimizar o capital empatado em estoques de metanol entra em conflito com a manutenção do nível de serviço da empresa.

Graças à política de baixos níveis de estoque, a companhia não constitui um estoque de segurança de metanol. Este se faria necessário para proteger a empresa de potenciais faltas de matéria prima devido a um lead time maior que o esperado ou de variações da demanda efetiva com relação ao que foi previsto. Constatou-se que, no caso da Chemco, a incerteza ocorre predominantemente no *lead time* de entrega da matéria prima, e não na demanda.

Observando as práticas da empresa, também foi possível entender a estimativa da empresa do consumo médio de metanol. A empresa produz formol e CUF, na maioria das vezes, de segunda a sábado, e são encomendadas 1.500 toneladas de metanol a cada vinte dias

corridos. Portanto, a taxa implícita de consumo diário de metanol é de 75 toneladas por dia corrido, ou 82 toneladas por dia de produção (segunda a sábado).

A respeito do *lead time* de entrega de metanol, de acordo com o encarregado de compras, ocorrem dezoito recebimentos de lotes anuais (um a cada vinte dias corridos), e os registros da empresa indicam que há uma média histórica de quatro ocorrências de atraso por ano. Cada atraso dura, em média, três dias. A tabela abaixo mostra o histórico de atrasos no fornecimento de metanol e o quanto o *lead time* efetivo excedeu o esperado. Além disso, dos dezenove atrasos verificados no histórico, houve demora superior a quatro dias em apenas um, indicando que apenas 5% dos atrasos é superior a quatro dias.

Tabela 5 – Histórico de atrasos no fornecimento de metanol (Fonte: Chemco)

Semestre	Ocorrências de atraso	Número de dias médio de atraso
2006 / 1	3	4,0
2006 / 2	2	3,0
2007 / 1	1	1,0
2007 / 2	2	4,0
2008 / 1	2	4,0
2008 / 2	3	4,0
2009 / 1	2	1,0
2009 / 2	2	4,0
2010 / 1	2	3,0
Média	4,3	3,0

Em anos anteriores, os atrasos no fornecimento de metanol não eram capazes de interromper a produção, pois sempre houve uma “folga” entre a quantidade de metanol importada e o quanto era consumido de fato pelo reator.

Entretanto, de acordo com um dos encarregados de PCP, a produção teve de ser interrompida nos atrasos que ocorreram em 2008, no segundo semestre de 2009 e no primeiro semestre de 2010. Estes foram períodos em que a demanda efetiva por formol e CUF gerou uma taxa de consumo próxima de 82 toneladas por dia de produção, implícita no lote de encomenda de 1.500 toneladas a cada vinte dias. Como será visto no item análise da demanda, os volumes de venda de formol e CUF estão em ascendência, indicando que, no atual contexto da companhia, a produção será interrompida caso novos atrasos na entrega de metanol ocorram e a empresa mantenha a atual política de estoques.

Durante as vezes em que a produção de formol e CUF foi interrompida por falta de matéria prima, deixou-se de processar, em média, 240 toneladas de matéria prima (três dias de produção), que poderiam ser transformada em produtos. A utilização de um estoque de

segurança em nível adequado ajudaria a melhor balancear *trade-off* entre o custo de vendas perdidas e o custo de manutenção de estoques.

Além da possibilidade de aumentar a disponibilidade de metanol, foi identificada uma oportunidade de redução de custos no procedimento de aquisição de matéria prima. De acordo com um dos encarregados de compras da companhia, o tamanho do lote de encomenda de metanol e a periodicidade de sua chegada são estabelecidos por meio de contrato, e podem ser ajustados semestralmente.

Consultando informações do fornecedor, foi constatado que este pode embarcar as mercadorias com diferentes periodicidades. Isto ocorre porque ele possui acesso a diversos navios de transportadores internacionais e porque o tamanho do lote é relativamente pequeno, se comparado a lotes de outros materiais a granel, sendo fácil “encaixar” a encomenda em qualquer navio com tancagem disponível.

Também foi evidenciado pelo encarregado de compras que, embora o pedido de 1.500 toneladas a cada vinte dias implique em uma estimativa de consumo de metanol de 82 toneladas por dia de produção, equivalente ao que tem sido consumido atualmente pelo reator, não existe um procedimento realizado pela empresa que indique que este é o melhor lote de encomenda possível.

Sendo assim, de acordo com o que foi visto na revisão bibliográfica, deve ser feita uma compensação entre os custos de pedido e o custo de manutenção do estoque cíclico médio, para assim avaliar qual é, de fato, o lote econômico de pedido para o metanol da Chemco.

A partir da avaliação do estoque de segurança e do cálculo do lote econômico de pedido, serão estimadas as oportunidades de redução de custos e outras melhorias.

3.6.2 Custos de estoque

É fundamental conhecer os custos de obtenção, de manutenção e de falta de metanol, para identificar quais propostas de melhoria são mais relevantes para a empresa. Sendo assim, neste item serão analisados diferentes custos relacionados ao metanol, de acordo com o que foi visto na revisão bibliográfica e com informações fornecidas pela companhia e obtidas em outras fontes de mercado.

Custo de obtenção:

A Chemco recebe metanol importado por navios vindos de países europeus, em lotes de 1.500 toneladas. Esta seção explica como se comportam os custos de obtenção de metanol.

Baseado em informações da empresa, o valor médio de uma tonelada de metanol que constava em seu balanço patrimonial em abril de 2010 era de R\$771. Sabendo-se este custo é CIF (*Cost, insurance and freight*), ou seja, que ele inclui o valor da mercadoria acrescido de frete, seguro e comissão de vendas, e que em cada pedido são encomendadas 1.500 toneladas de metanol, é possível calcular o custo total do pedido (C_p).

$$C_p = R\$771/\text{tonelada} * 1.500 \text{ toneladas} = R\$1,157 \text{ milhão}$$

O encarregado de compras indicou que, para cada pedido, são pagos aproximadamente R\$10.000 em comissões de vendas, e que o custo de frete e seguros totaliza R\$60.000. Convertendo o custo de frete e seguros em dólares por tonelada, usando a taxa de câmbio de R\$1,60 por US\$, isto é equivalente a US\$25/tonelada.

De acordo com a Bloomberg, banco de dados de preços de mercado, o frete Brasil – Holanda (Porto de Tubarão – Porto de Roterdã) pago por empresas do setor de minério de ferro como a Vale encontra-se em US\$15/tonelada. Embora a diferença entre os fretes seja elevada (cerca de 67%), ela pode ser justificada pela maior escala dos embarques de minério, sendo isto capaz de diluir custos fixos.

Utilizando as informações acima, consegue-se isolar o custo FOB (Freight on board) do metanol subtraindo do custo total do pedido os custos fixos de comissões, frete e seguro:

$$\text{Custo FOB por tonelada} = \frac{1.156.500 - 10.000 - 60.000}{1500} = R\$724$$

Portanto, o custo total de um pedido pode ser dividido em uma parcela fixa, de R\$70.000 e uma parcela variável, de R\$724/tonelada. Esta composição pode ser vista na figura abaixo.

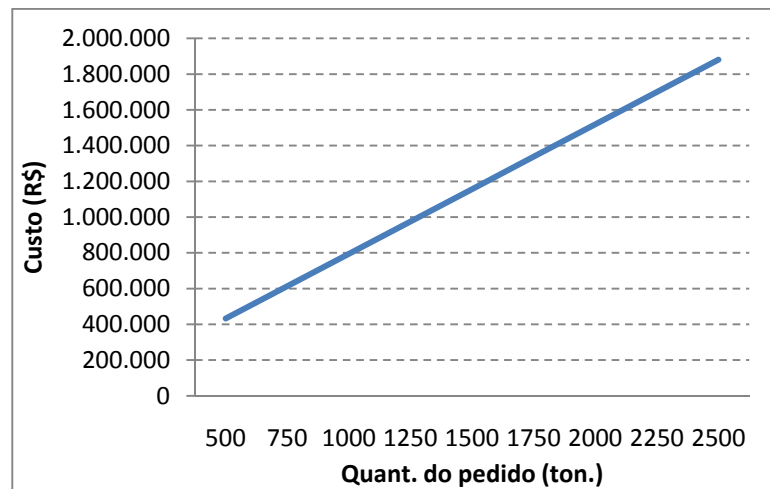


Figura 13 – Composição do custo total do pedido (Fonte: Chemco)

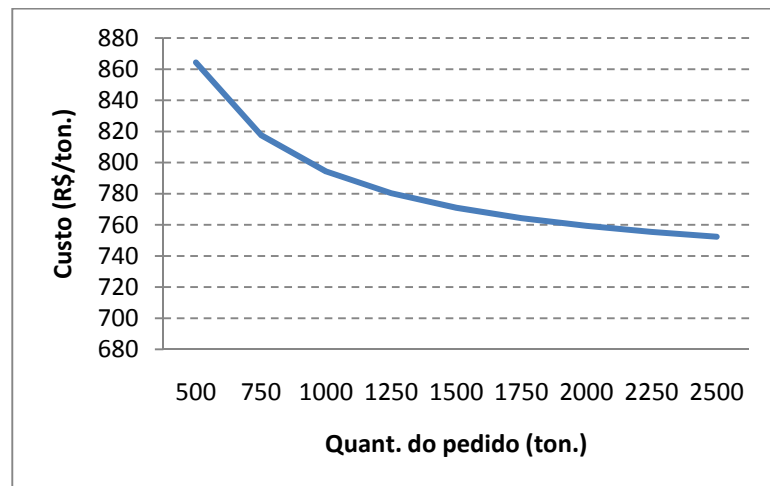


Figura 14 – Custo unitário do pedido (Fonte: Chemco)

Observa-se que quanto maior a quantidade pedida, menor o custo por unidade, já que os custos fixos são diluídos. Outro ponto a ser ressaltado é que, para uma mesma demanda e diferentes quantias em um pedido, há um número de pedidos diferentes para cada período. Por exemplo, para uma mesma demanda de 1.500 toneladas a cada vinte dias, devem ser feitos aproximadamente três pedidos de 500 toneladas e dois pedidos de 750 toneladas.

Custo de manutenção:

Os custos de manutenção de estoque, como explicado na revisão bibliográfica, são diretamente proporcionais à quantidade mantida em estoque. Ele inclui custos de capital empatado nos estoques, de espaço físico e de serviços e riscos.

Segundo um dos gerentes de contabilidade, os custos capital empatado e de serviços, como seguro, são proporcionais ao tamanho do estoque e ao seu valor monetário por tonelada.

Para o cálculo do custo de capital empatado, a empresa utiliza um custo de oportunidade de 12,00% ao ano, um pouco acima da taxa de juros atual do país, de 10,75% ao ano. Além disso, a empresa estima que a taxa do seguro seja de 5,00% ao ano, que é relativamente expressiva, devido ao metanol ser um composto inflamável e que passa por três locais diferentes antes de ser usado nos processos industriais da empresa (porto, tanque em Paranaguá e tanque em Várzea Paulista).

Outro componente do custo de manutenção de estoque de metanol é o custo de ocupação de espaço físico, produto entre o volume ocupado e uma receita por unidade de volume. De acordo com o encarregado de PCP, a Chemco aluga um tanque com capacidade de armazenar 2.150 toneladas de metanol. De acordo com o último contrato entre a empresa e a prestadora de serviço de armazenagem, o valor pago por tonelada de metanol armazenado é de R\$60/mês. Além disso, há um valor fixo de aluguel do tanque, de R\$5.000 por mês.

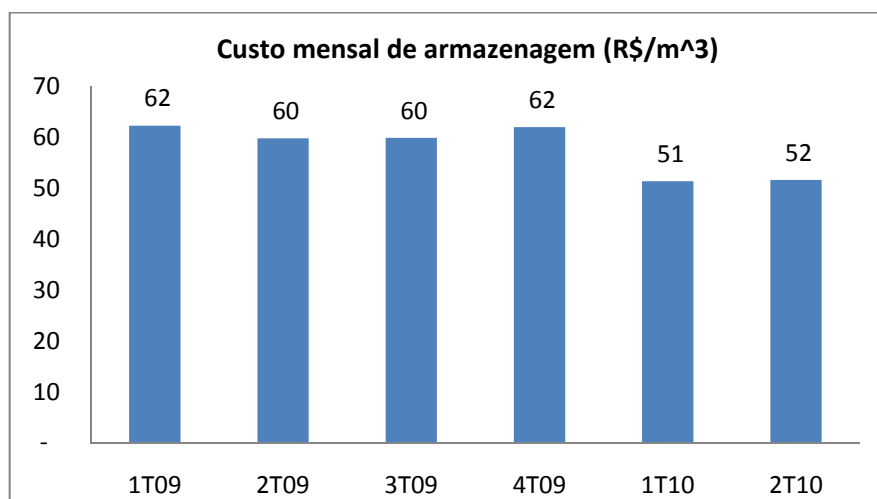


Figura 15 – Custo mensal de armazenagem de grânéis líquidos (Fonte: Ultracargo)

Este número é razoável se comparado a preços de mercado, pois, fazendo-se um *benchmark* com a empresa Ultracargo (líder nacional em armazenagem de grânéis líquidos), a receita média por metro cúbico em um mês é de R\$52, como visto acima.

No estado em que é armazenado, o metanol possui uma densidade de 790 quilogramas por metro cúbico, logo uma tonelada de metanol ocupa 1,266 metros cúbicos. Assumindo uma demanda constante ao longo do tempo, o estoque médio de metanol é de 750 toneladas, ocupando, em média, 950 metros cúbicos. Para um período de vinte dias, que é o intervalo atual entre o recebimento de dois lotes, a empresa incorre em um custo variável de

armazenagem de R\$38 mil, que deve ser acrescido de R\$3.750, que é o custo fixo de aluguel, proporcional a vinte dias.

Custo de vendas perdidas:

Toda vez que a empresa deixa de vender atender a demanda por seus produtos, ela incorre em um custo de vendas perdidas. Embora não haja um desembolso concreto para este custo, a perda que ocorre é bastante intuitiva, já que se a empresa sempre possuísse produtos disponíveis, seu lucro seria maior. No contexto da divisão de formol e CUF da Elekeiroz, isto já ocorreu em algumas ocasiões em que a empresa não possuía matéria prima disponível e deixou de vender seus produtos.

Este custo pode ser aproximado pelo produto entre a quantidade de vendas não atendidas para cada produto e o lucro de cada produto. A medida de lucro para este estudo será a margem de contribuição, que é igual à diferença entre a receita de vendas e os custos variáveis de produção. Baseando-se nas receitas e custos apresentados em item anterior, chegou-se às margens de contribuição por tonelada de metanol processada de R\$441 para o CUF e de R\$307 para o formol.

De acordo com o que foi mostrado em item anterior, ao longo dos dezoito recebimentos anuais de metanol, costumam ocorrer quatro atrasos, de, em média, três dias. Sendo assim, assumindo a taxa de consumo de metanol estimada pela empresa de 82 toneladas de metanol por dia de produção, deixam de ser processadas por ano 1.115 toneladas de metanol.

Assumindo-se que o *mix* de produção é dividido em 52% CUF e 48% formol, a margem de contribuição que deixa de ser gerada por ano é de, em média, R\$420.000. Esta é uma estimativa média do custo de vendas perdidas ocasionadas pela falta de disponibilidade de matéria prima, e está representada abaixo.

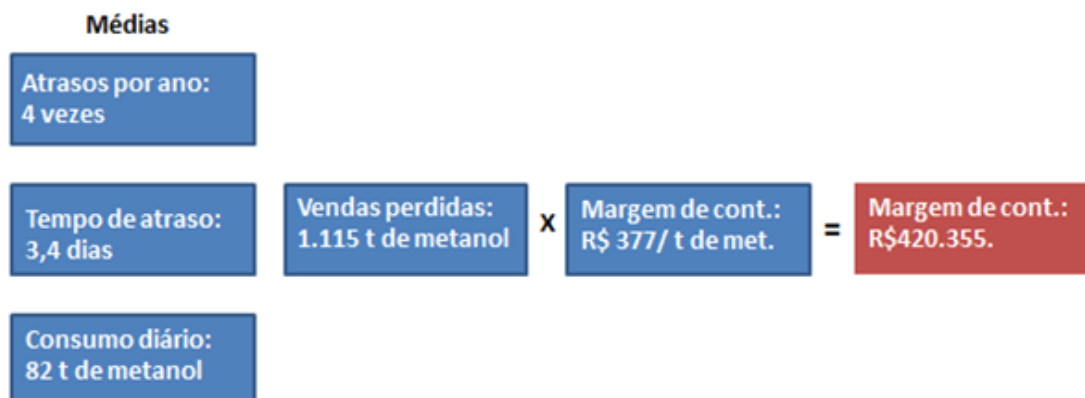


Figura 16 – Margem de contribuição anual perdida: formol e CUF (Elaboração do autor)

3.7 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE FORMOL E CUF

O segundo bloco identificado na cadeia de produção é delimitado pelos estoques de matéria prima da planta de Várzea Paulista e pela retirada de formol e CUF no armazém de produtos acabados. Neste item, serão explicados a análise da demanda e o planejamento da produção para o formol e para o CUF. As informações da empresa contidas neste item foram obtidas através de entrevistas com funcionários de áreas como compras, PCP e vendas.

3.7.1 *Análise e planejamento da demanda*

Atualmente, o planejamento da demanda na divisão de formol e CUF é dividido em duas etapas. A primeira é realizada em conjunto com o planejamento estratégico da empresa, que é feito anualmente, possui horizonte de três anos, e será explicado no próximo item. Para manter a simplicidade, durante o nível de planejamento estratégico, a empresa divide os produtos em duas famílias: formol com concentração 50% em massa e CUF. Não há necessidade de segmentar os diferentes tipos de formol, pois a principal diferença entre eles é a diluição em água.

A etapa inicial de previsão ocorre em reuniões anuais entre diversos departamentos e considera aspectos subjetivos, como opinião da diretoria e do departamento de vendas, e o histórico de vendas fornecido pelo PCP. De acordo com um encarregado deste departamento, o único tratamento dos dados é o cálculo de médias estáticas e móveis, usando-as informalmente para embasar algumas decisões.

O planejamento da demanda é complementado por uma segunda etapa, de reuniões mensais que buscam refinar a previsão dos volumes que serão vendidos nos meses seguintes. O time de vendas, com informações atualizadas das encomendas e dos pedidos em potencial dos clientes, fornece um *input* mais recente (e, por isso, mais preciso) para o time de PCP, que ajusta a quantidade a ser produzida. Nesta fase, a demanda semanal é estimada.

Quanto à dinâmica de entrega do produto, foi informado ao aluno por um dos encarregados de vendas que, ao negociar as encomendas de produtos com seus clientes, a empresa inicialmente define a semana em que a entrega será feita, e estabelece a data exata de

entrega no mês anterior à semana combinada. Esta é uma prática da empresa, e será respeitada na modelagem do problema. Os produtos acabados são armazenados em tanques, e são buscados pelos clientes ou por empresas terceirizadas.

A divisão de formol e CUF da Chemco atende cerca de doze clientes e possui relacionamento estável e de longo prazo com boa parte deles. O mais importante desses clientes, em termos de volumes e por possuir o mesmo controlador, é a Woodco.

Considerando perfil da clientela, percebe-se que há um incentivo para os clientes fornecerem estimativas razoáveis de seu consumo futuro, já que eles desejam garantir o próprio fornecimento de matéria prima. Os registros históricos da Chemco confirmam isso, pois não foram encontrados grandes desvios entre a demanda prevista e a realizada. Portanto, pode-se classificar o comportamento da demanda é como estável e com certa previsibilidade.

Foi informado ao aluno que, embora exista sazonalidade para a demanda de alguns clientes, quando se observa o volume agregado de vendas, há uma compensação entre os pedidos de diferentes clientes. Desta forma, não se considera sazonalidade para os volumes consolidados de formol e CUF.

Através de entrevistas com encarregados de vendas e de PCP, constatou-se o aumento da demanda por formol e CUF. Desde o início de 2009, quando os impactos da crise econômica internacional foram sentidos com maior intensidade na economia brasileira, tem-se notado uma tendência de crescimento nos volumes de formol e CUF da Chemco. Esta tendência fez com que a empresa superasse seus volumes de venda pré-crise em 2010.

O principal indicador do crescimento da demanda por formol e CUF dentro da empresa é o nível de utilização de capacidade de seu reator de metanol. Sua média histórica nos últimos quatro anos foi de 70%, enquanto a taxa média em 2010 está em torno de 78%.

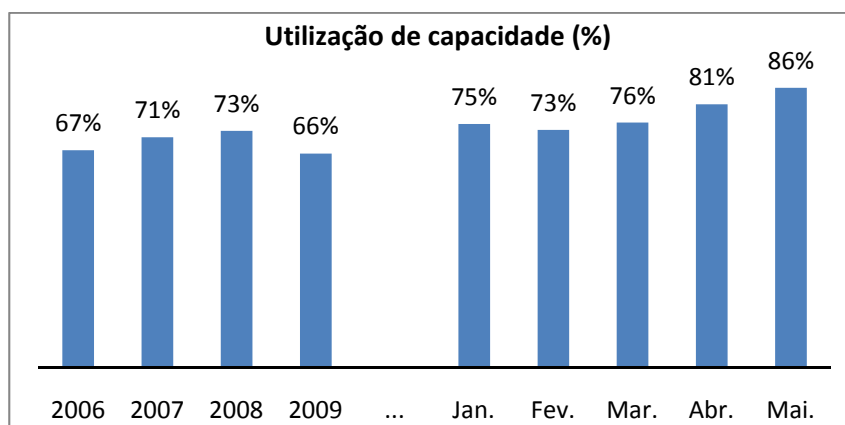


Figura 17 – Utilização de capacidade no reator de metanol (Fonte: Chemco)

Em maio de 2010, o índice atingiu 86%, o que, embora ainda abaixo da capacidade do reator, já causou um pequeno não atendimento da demanda, devido à sobrecarga na capacidade da divisão em gerenciar todas as entregas de produtos no tempo adequado. A figura acima mostra a utilização de capacidade histórica e durante os meses do ano de 2010.

Existem outros indicadores, externos à empresa, que confirmam a tendência de crescimento da demanda por formol e CUF. O primeiro deles é o volume vendido pela divisão de madeira da Woodco, que fornece painéis de madeira para fazer pisos e móveis e que utiliza formol e CUF como matérias primas.

Esta companhia é um dos principais clientes da Chemco, e desde o primeiro trimestre de 2009 tem apresentado crescimento expressivo em suas vendas, como mostrado abaixo.

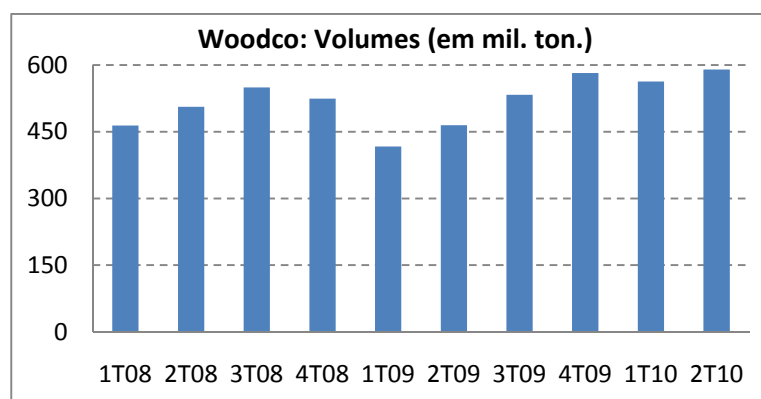


Figura 18 – Volumes trimestrais de venda da Woodco (Fonte: Woodco)

Outro indicador da demanda por formol e CUF é o índice que mede a atividade no setor de construção civil, calculado mensalmente pela Confederação Nacional da Indústria (CNI). Quando este indicador encontra-se acima de 50, houve expansão da atividade do setor de construção civil. A figura abaixo mostra a série deste índice.

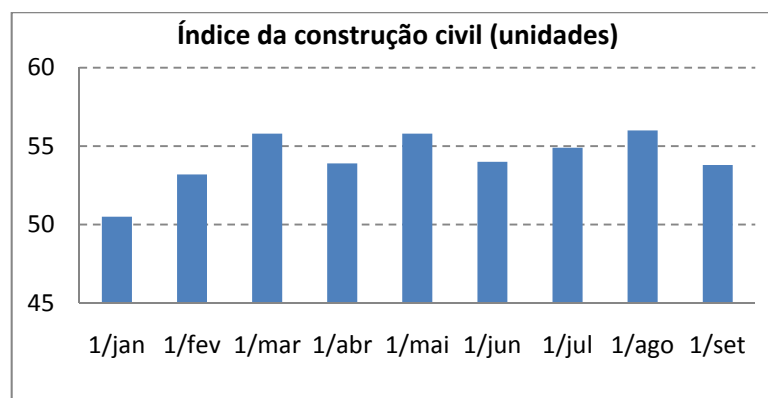


Figura 19 – Índice nacional de atividade em construção civil (Fonte: CNI)

3.7.2 Planejamento e programação da produção

O planejamento da produção na Chemco possui os mesmos níveis que a etapa de previsão de demanda. Em primeiro lugar, é feito o planejamento estratégico para cada unidade da empresa, que possui horizonte de três anos. Ele é realizado anualmente, e conta com a participação de diversos departamentos, como gerência, compras, PCP e vendas. Além disso, nele é feito o orçamento dos próximos doze meses, e são incluídas estimativas de investimentos, custos de produção, capacidade e, como já explicado, demanda.

Dentro do horizonte trienal do planejamento estratégico, o primeiro ano é fragmentado em meses, o segundo em semestres e o terceiro ano é analisado de forma agregada. Sendo assim, o nível de detalhe para os doze meses seguintes é maior, embora os outros intervalos observados também sejam importantes para definir a estratégia da divisão de formol e CUF. O planejamento estratégico é registrado em planilhas do Microsoft Excel, e a manutenção deste arquivo fica sob a responsabilidade do departamento de PCP. A figura abaixo mostra a dinâmica do planejamento estratégico.

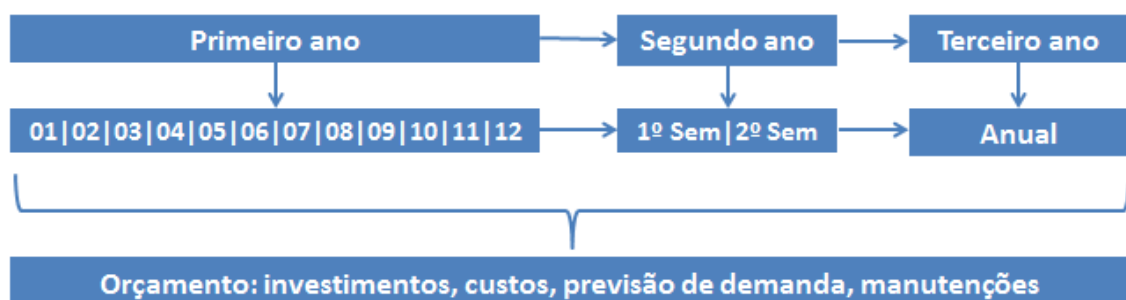


Figura 20 – Dinâmica do planejamento estratégico (Fonte: Elaboração do aluno)

Assim como na previsão de demanda, há mais uma etapa no planejamento da produção, chamado de nível tático, cuja frequência é mensal. Neste plano tático, uma vez que a demanda para os meses seguintes é ajustada com auxílio do time de vendas, o departamento de PCP estabelece os níveis de produção semanais para os próximos meses, de forma a atender a demanda atualizada. O PCP também verifica as necessidades de matéria prima para fabricação dos produtos, comunicando-as para o departamento de compras.

A Chemco utiliza dois sistemas para realizar o planejamento tático da produção. O primeiro deles é um software fornecido pela empresa Datasul, uma ferramenta que auxilia no

gerenciamento de materiais e no acompanhamento diário do consumo de matéria prima, e da produção, saída e estoque de produto acabado. O outro sistema utilizado é um conjunto de planilhas do Microsoft Excel que detalha a demanda dos próximos meses em semanas, dizendo as semanas em que cada encomenda deve estar disponível. Esta organização por semanas está em linha com a dinâmica de entrega de produtos descrita anteriormente.

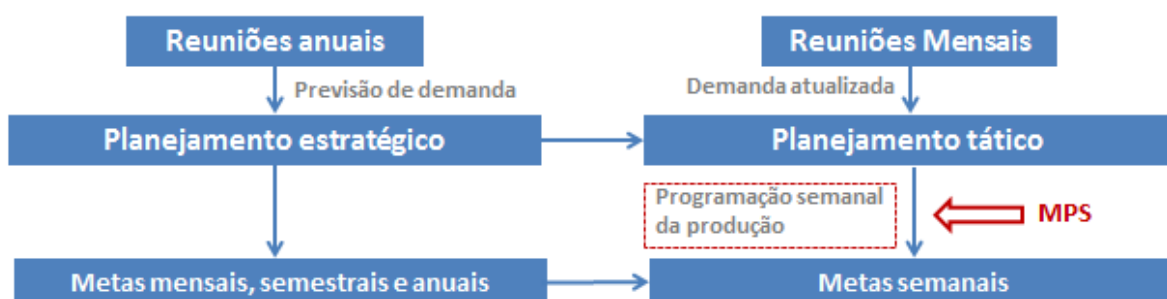


Figura 21 – Planejamento da produção na Chemco (Fonte: Elaboração do aluno)

É importante ressaltar que a programação da produção, feita para atingir as metas semanais definidas durante a reunião mensal, é realizada pelo time de PCP, baseando-se somente na experiência e conhecimento dos funcionários. Não há qualquer ferramenta que os auxilie a tomar decisões de quanto produzir de cada produto. Embora, historicamente, isto não tenha causado problemas, o crescimento da demanda por formol e CUF, impulsionado pelo setor de construção civil, torna o planejamento da produção cada vez mais dinâmico e complexo. Em maio, quando a taxa de utilização do reator de metanol atingiu seu máximo histórico de 86%, já houve alguma confusão sobre quais ordens priorizar.

Sendo assim, o processo de tomada de decisão sobre o quanto produzir poderia ser beneficiado pela criação de um programa mestre da produção, que deve considerar a demanda pelos produtos, os objetivos e as restrições operacionais e comerciais do sistema de produção.

3.8 DIAGNÓSTICO

Analisando os fatores apresentados acima, é possível identificar algumas oportunidades de melhoria no sistema de produção de formol e concentrado ureia-formol da Chemco, tanto no bloco de fornecimento de matéria prima quanto no bloco de produção.

Com relação ao fornecimento de metanol, os principais aspectos que podem ser melhorados relacionam-se com a gestão de estoques. O primeiro deles é a necessidade de se manter um estoque de segurança de metanol para garantir a disponibilidade da matéria prima quando houver atrasos na sua chegada. Esta reserva deve levar em conta os custos de manutenção de estoque. A outra oportunidade de melhoria relaciona-se com o pedido do produto. Deve ser feita uma análise de qual é o lote de compra econômico de metanol para a Chemco, considerando as diferentes alternativas disponíveis.

A oportunidade de melhoria identificada no bloco de produção se dá no momento em que o PCP deve definir as metas de produção semanal de cada produto. A melhoria deve ser feita a partir da construção de um modelo de programa mestre da produção (MPS) que auxilie a empresa a tomar melhores decisões com relação a quanto produzir, estocar e vender de formol e CUF a cada semana, levando em conta suas restrições operacionais, para maximizar o lucro desta divisão.

4 PROPOSTAS DE MELHORIA PARA O SISTEMA DE PRODUÇÃO

Após realizar o diagnóstico do sistema de produção no item anterior, cada proposta de melhoria será descrita e analisada. Além disso, nesta parte do trabalho serão mensurados os benefícios potenciais de cada mudança e a viabilidade destas. Por último as propostas de melhoria serão validadas e apresentadas aos funcionários da empresa.

Para facilitar o entendimento de cada proposta de melhoria, a divisão do sistema de produção em dois blocos principais estabelecida no capítulo anterior será mantida. Portanto, primeiramente serão tratadas as questões relacionadas ao fornecimento de matéria prima, e, em seguida, o foco passará a ser no planejamento da produção.

4.1 FORNECIMENTO DE MATÉRIA PRIMA

Duas oportunidades de melhoria no fornecimento de matéria prima foram apresentadas no capítulo anterior: utilização de um estoque de segurança de metanol e o cálculo do lote econômico de pedido para este material, e serão explicadas a seguir.

4.1.1 *Estoque de segurança de metanol*

A primeira oportunidade identificada para melhorar a utilização dos recursos da divisão de formol e CUF da Chemco é a introdução de um estoque de segurança para o metanol. Esta reserva de matéria prima tem como objetivo evitar interrupções no processo produtivo, caso ocorram atrasos na liberação do metanol importado ou caso a demanda supere as estimativas da empresa. Desta forma, almeja-se reduzir os custos de vendas perdidas.

O estoque de segurança é uma reserva de matéria prima a ser mantida, em adição ao que a empresa encomenda periodicamente, e a quantidade desta reserva deve ser proporcional

ao nível de serviço visado pela empresa. Sendo assim, a Chemco incorrerá em custos extras de armazenagem, de capital empatado e outros serviços, proporcionais à quantidade mantida.

Conforme foi verificado em um capítulo anterior, ocorrem, em média, quatro atrasos por ano na liberação do metanol na alfândega. A duração média desses atrasos é de três dias, e, de acordo com os dados históricos fornecidos pela empresa, dos dezenove atrasos que ocorreram desde 2006 até o primeiro semestre de 2010, somente um foi superior a quatro dias. Portanto, 95% dos atrasos são menores ou iguais a quatro dias.

Caso a empresa queira continuar produzindo em 95% dos casos em que há atrasos na liberação do metanol, ela deve manter um estoque de segurança igual a quatro dias de consumo. Considerando a taxa atual de consumo diário de metanol da empresa, isto equivale a aproximadamente 330 toneladas de metanol.

A tabela abaixo calcula o custo de vendas perdidas em diferentes cenários, considerando o consumo diário de 82 toneladas de metanol e um atraso médio de três dias. Utilizando a média de quatro ocorrências de atraso por ano, a divisão de formol e CUF deixaria de gerar anualmente R\$412 mil em margem de contribuição.

Tabela 6 – Análise de cenários para custo de vendas perdidas (Elaboração do aluno)

Cenários		1	2	3	4	5
Atrasos por ano	vezes	-	1	2	3	4
Atraso médio	dias	3	3	3	3	3
Consumo médio diário de metanol	toneladas	82	82	82	82	82
Vendas perdidas (eq. metanol)	toneladas	-	246	492	738	984
Margem de contribuição média (eq. metanol)	R\$/t	420	420	420	420	420
Vendas perdidas (margem de contribuição)	R\$	-	103.320	206.640	309.960	413.280

A diminuição dos custos de vendas perdidas graças à reserva de matéria prima é parcialmente compensada por maiores custos de manutenção do estoque de segurança. Estes, portanto, devem ser calculados.

Conforme já mencionado, se a empresa desejar manter um nível de serviço de 95% na ocorrência de atrasos no fornecimento de metanol, será considerado um estoque de segurança de quatro dias de consumo de metanol, equivalente a 330 toneladas. Para simplificar a abordagem, assumiu-se que metade deste estoque seria mantida tanto no mesmo tanque utilizado pela Chemco em Paranaguá, e a outra metade na planta de Várzea Paulista.

Como serão utilizados dois locais para guardar o estoque, o custo de armazenagem de cada local deve ser calculado. Conforme já explicado, para o tanque utilizado em Paranaguá, o custo marginal de armazenagem é de R\$60 por tonelada de metanol ao mês. Para o tanque

próprio, em Várzea Paulista, este custo é de R\$5 por tonelada ao mês. Ele é calculado como a depreciação anual do tanque de Várzea Paulista, de R\$42.000, dividido pelo número de meses do ano e pela sua capacidade máxima de estocagem de 700 toneladas de metanol. O custo total de capital empatado e de serviços é de 17,00% ao ano.

Desta forma, a empresa incorrerá em um custo de manutenção de estoque de segurança de R\$142 mil por ano. Utilizando os cenários acima, a ocorrência de dois atrasos por ano, de, em média, três dias, já justifica a manutenção de um estoque de segurança. Se for utilizada a média de quatro atrasos por ano, a economia anual atinge aproximadamente R\$270.000, já que se evitam custos de vendas perdidas de R\$413.000. A figura abaixo mostra a compensação entre os custos.

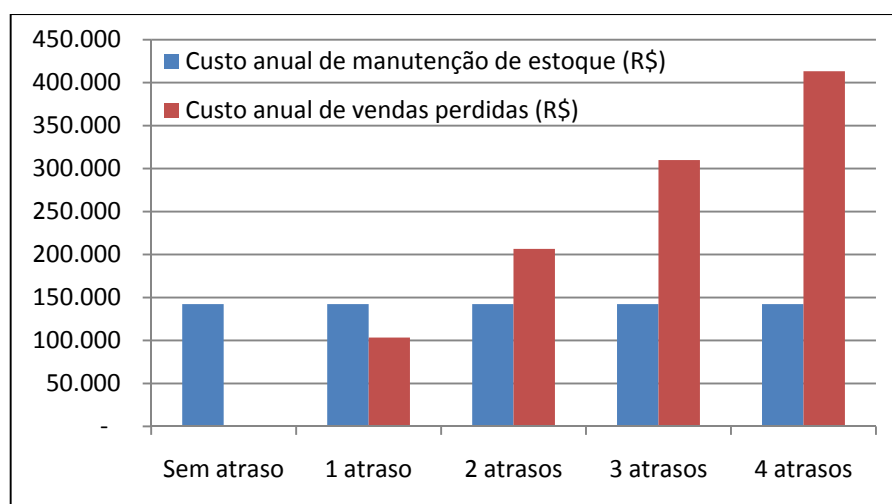


Figura 22 – Planejamento da produção na Chemco (Elaboração do aluno)

Ao se sugerir o estoque de segurança de metanol para a gerência e o departamento de PCP, primeiramente foram apresentadas as estimativas de vendas perdidas, depois as estimativas de custos de manutenção de estoques. Houve razoável aceitação para esta prática, já que bastam dois atrasos no fornecimento para haver compensação de custos. Além disso, a empresa acredita que a divisão de formol e CUF está vivendo uma nova fase, de maior demanda, e que os custos gerados por interrupções no fornecimento de matéria prima são superiores aos custos de manter uma reserva de estoques.

Quanto à implementação desta medida, ela é relativamente simples, pois no atual contexto da Chemco, existe espaço físico disponível para a quantidade extra de metanol a ser reservada.

4.1.2 Lote econômico de compra para metanol

A segunda oportunidade identificada relaciona-se com o tamanho do lote de metanol importado pela Chemco, pois constatou-se que na divisão de formol e CUF não se utiliza qualquer metodologia para estimar o seu lote econômico de encomenda. Seguindo o que foi visto na revisão bibliográfica, deve-se fazer uma compensação entre o custo total de pedido e o custo de manutenção para diferentes tamanhos de estoque cíclico médio.

Conforme a descrição do capítulo anterior, foi constatado que o custo de pedido é composto de uma parcela fixa, correspondente ao frete e às comissões de vendas, e de uma parcela variável, que é igual ao produto da quantidade encomendada pelo preço de metanol FOB (*freight on board*). Assim, para uma mesma demanda, o maior lote de encomenda ocasionaria uma maior diluição de custos fixos, resultando em um custo de pedido total menor. As premissas utilizadas nos cálculos de custo de pedido estão apresentadas abaixo.

Tabela 7 – Premissas para o cálculo do custo de pedido (Elaboração do aluno)

Premissas		
Taxa de câmbio	US\$/R\$	1,6
Quantidade por pedido	ton	1.500
Frete por tonelada	US\$/ton	25
Comissões por pedido	R\$	10.000
Demanda a cada 20 dias (constante)	ton	1.500
Taxa de juros	% a.a.	12
Outros custos de manutenção	% a.a.	5

Com o auxílio da área de compras, verificaram-se os possíveis tamanhos do lote. Os custos fixos de frete e comissões para esses lotes não mudam. A tabela a seguir mostra o custo de pedido de metanol para os possíveis tamanhos de lote de encomenda, enquanto o gráfico abaixo mostra a curva de custo de obtenção de metanol resultante.

Tabela 8 – Custos de pedido (Fonte: Chemco)

Qte. (t)	Custo por Pedido (R\$)	Pedidos a cada 20 dias	Custo total de pedidos (R\$)	Custo unit. por pedido (R\$/t)
500	432.167	3,0	1.296.500	864
750	613.250	2,0	1.226.500	818
1000	794.333	1,5	1.191.500	794
1250	975.417	1,2	1.170.500	780
1500	1.156.500	1,0	1.156.500	771
1750	1.337.583	0,9	1.146.500	764
2000	1.518.667	0,8	1.139.000	759
2250	1.699.750	0,7	1.133.167	755
2500	1.880.833	0,6	1.128.500	752

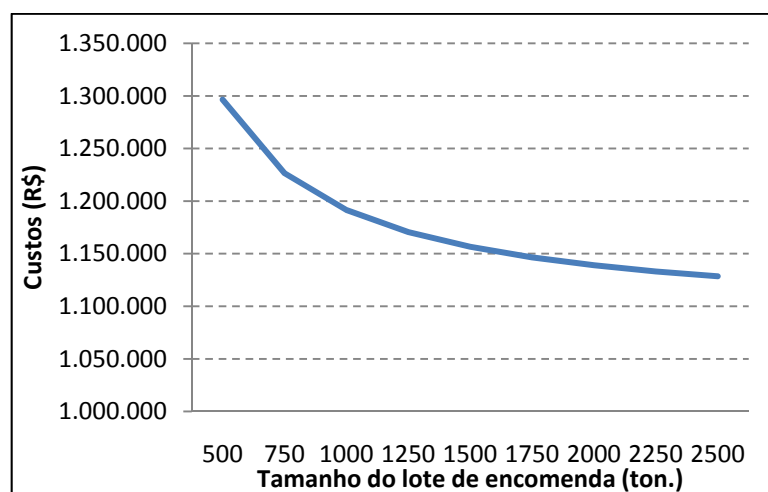


Figura 23 – Custo total para diferentes tamanhos de pedido (Elaboração do aluno)

Para completar a compensação entre custo de pedido e custo de manutenção, estes devem ser analisados para estoques cíclicos de diferentes tamanhos. Conforme já explicado, o custo de variável armazenagem é de R\$60 por tonelada ao mês, enquanto o custo fixo de aluguel do tanque em Paranaguá é de R\$5.000 ao mês. Os custos de capital empatado e de serviços, incluindo seguro, totalizam 17% ao ano do valor do estoque.

Para avaliar diferentes tamanhos de lote, que geram níveis de estoques distintos, é necessário entender como funciona o aluguel de tanques em Paranaguá. Estes são estabelecidos por contratos de médio prazo (dois a três anos), e no momento em que o contrato é estabelecido, negociam-se uma parcela fixa e outra variável para o aluguel do tanque, que são reajustadas pela inflação. Quando o contrato é renovado ou modificado, negociam-se novamente as parcelas fixa e variável do aluguel, de forma que o preço cobrado reflita a dinâmica de mercado no momento da negociação.

Segundo um dos encarregados de PCP, a Chemco atualmente aluga um tanque capaz de armazenar 2.150 toneladas de metanol, em um contrato que foi renovado pela última vez no início de 2009. Neste período, a perspectiva econômica não era otimista, ou seja, a tarifa variável de R\$60 reais por tonelada ao mês e a parcela fixa de R\$5.000 refletem um cenário de demanda mais moderada.

Caso houvesse uma mudança no tamanho do lote de encomenda que resultasse em um estoque máximo superior a 2.150 toneladas de metanol em Paranaguá, o contrato de aluguel de tanque da empresa teria de ser modificado. Estima-se que haveria um ajuste de 15% na parcela variável, atingindo aproximadamente R\$70 por tonelada ao mês, e a parcela fixa iria para R\$10.000 ao mês. A tabela abaixo apresenta o cálculo detalhado dos custos de

manutenção para os tamanhos de estoque cíclicos em diferentes tamanhos de lote de pedido, para um período de vinte dias.

Tabela 9 – Custo de manutenção do estoque a cada vinte dias (Elaboração do aluno)

Qte. (t)	Estoque médio (t)	Valor contábil (R\$/t)	Manut. + Serviços (R\$)	Custo de armazém (R\$)	Custo total (R\$)
500	250	864	2.709	13.333	16.043
750	375	818	3.845	18.333	22.178
1000	500	794	4.980	23.333	28.313
1250	625	780	6.115	28.333	34.448
1500	750	771	7.250	33.333	40.584
1750	875	764	8.386	38.333	46.719
2000	1000	759	9.521	43.333	52.854
2250	1125	755	10.656	59.167	69.823
2500	1250	752	11.791	65.000	76.791

Portanto, para os lotes de encomenda a partir de 2.250 toneladas, o custo variável de armazenagem de estoque passa a ser R\$70 por tonelada ao mês, enquanto o custo fixo atinge R\$10.000. A curva de custo total resultante, em um período de vinte dias pode ser vista a seguir.

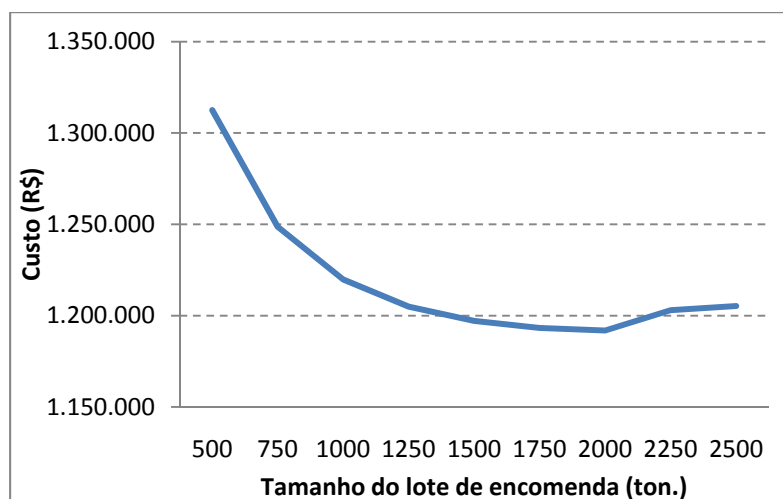


Figura 24 – Custo total: manutenção de estoque e pedido (Elaboração do aluno)

A mudança no preço mensal de armazenagem de matéria prima quando o estoque é superior a 2.150 toneladas de metanol gera uma descontinuidade na função custo total impedindo que a equação do lote econômico seja utilizada em todo o intervalo considerado. Embora a fórmula pudesse ser utilizada em dois intervalos diferentes, de 500 a 2.000 toneladas e de 2.250 a 2.500 toneladas, percebeu-se que a mesma solução poderia ser obtida graficamente.

Por este método, o menor custo total é obtido com o pedido de 2.000 toneladas de metanol a cada 27 dias. Atualmente, os custos totais anuais de manutenção e de pedidos da empresa são de R\$20.817.000. Com o lote econômico sugerido, o custo total passa a ser R\$20.502.000, gerando uma economia anual de R\$315.000.

Embora a economia gerada não seja expressiva se comparada à receita de toda a empresa, ela é representativa quando se considera a divisão de formol e CUF, e equivale ao dobro dos custos de armazenagem observados para o estoque de segurança de metanol sugerido na proposta anterior.

Vale ressaltar que esta mudança não implica em qualquer adição aos custos da empresa, e que o esforço de gestão necessário para gerar esta mudança é relativamente reduzido.

Tabela 10 – Custos anuais de manutenção e de pedido para estoque cíclico (Elaboração do aluno)

Q (t)	Número de pedidos	Custo total anual (R\$)
500	54,0	23.337.000
750	36,0	22.077.000
1000	27,0	21.447.000
1250	21,6	21.069.000
1500	18,0	20.817.000
1750	15,4	20.637.000
2000	13,5	20.502.000
2250	12,0	20.397.000
2500	10,8	20.313.000
	Economia (R\$)	315.000

Quando esta proposta foi sugerida à empresa, houve uma boa aceitação do cálculo do lote econômico de pedido, e os próprios funcionários enfatizaram que a adoção de um novo lote de pedido é uma tarefa simples.

4.2 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Conforme explicado no capítulo anterior, a oportunidade de melhoria no bloco do planejamento de produção se dá no momento em que o departamento de PCP deve definir as metas de produção semanais de cada produto. Portanto, sugere-se construir um modelo de programa mestre da produção que auxilie o PCP na tomada de decisão para determinar quais volumes de produção, vendas e estoques maximizam o lucro da divisão de formol e CUF e respeitam as restrições operacionais e comerciais desta.

A construção do modelo matemático de planejamento da produção baseou-se, inicialmente, no problema de *scheduling* apresentado na revisão bibliográfica, assim como nos aspectos do sistema de produção apresentados no capítulo anterior. Também foram levados em conta custos a serem considerados em um problema de planejamento da produção, que foram apresentados por Santoro (2006).

Uma vez concebida a formulação deste modelo, esta foi adaptada a um software de otimização e testada para que fosse comprovada a adequação do modelo.

Em seguida, o modelo foi testado diante de uma situação real ocorrida em maio de 2010, sendo comparadas a solução proposta pelo modelo e a decisão tomada pela equipe de PCP.

4.2.1 Criação do modelo

O modelo de planejamento da produção a ser criado é feito nos moldes de um problema de *scheduling*, em que deve-se ordenar tarefas a serem executadas. Neste caso, deve-se decidir a quantidade de dois produtos (formol e CUF) que deve ser feita, vendida e estocada semanalmente, em um período de quatro semanas.

Esta escolha deve maximizar o lucro operacional da divisão de formol e CUF da empresa, que será definido posteriormente. Além disso, as quantidades a serem feitas, vendidas e estocadas devem respeitar as restrições operacionais e comerciais do sistema de produção, tais como capacidade de produção, estoque de produto acabado e demanda.

4.2.2 *Premissas*

As seguintes premissas foram adotadas para construir o modelo de planejamento da produção.

- 1) As quantidades consideradas serão todas convertidas em toneladas de metanol equivalente. Desta forma, a quantidade produzida será o metanol processado, e a quantidade vendida e estocada será o metanol presente nas diferentes soluções de formol e de CUF.
- 2) Tendo em vista as propostas de melhoria do primeiro problema, o fornecimento de metanol será considerado adequado e suficiente para os níveis de produção, não havendo necessidade de modelar o estoque de matéria prima.
- 3) Serão considerados apenas dois tipos de produto: CUF e formol, já que as diferentes concentrações de formol podem ser obtidas alterando a quantidade de água da solução.
- 4) Somente um dos tipos de produto, formol ou CUF, pode ser produzido em um dia, devido a questões de set-up do reator e das colunas de água, e pela necessidade de limpeza de algumas instalações.
- 5) Por se tratar de um processo químico, existe uma quantidade mínima e máxima de processamento de metanol em um dado dia.
- 6) Para atender a demanda, o modelo inclui a possibilidade de produção aos domingos, adicionando os custos fixos de produzir neste dia. Atualmente produção aos domingos dificilmente é feita na Chemco.
- 7) O horizonte do planejamento é de quatro semanas, equivalentes a um mês. Porém, caso necessário, o número de semanas considerado pode ser maior.

4.2.3 *Formulação do problema*

Neste item, serão expostas todas as variáveis do problema, bem como todos os parâmetros necessários para sua construção. Além disso, a função objetivo e todas as equações de restrição serão indicadas e explicadas.

Índices:

- $i = 1, \dots, P$ Tipos de produto a serem considerados (dois)
 $j = 1, \dots, S$ Semanas em que o planejamento da produção será feito (quatro)

Variáveis de decisão:

- P_{ij} Quantidade do produto i a ser produzida na semana j (ton. de metanol)
 X_{ij} Número de dias de produção para o produto i na semana j (dias)
 S_j Variável de produção no domingo da semana j (1 = sim, 0 = não)
 V_{ij} Quantidade do produto i a ser vendida na semana j (ton. de metanol)
 E_{ij} Quant. do produto i estocada no início da semana j (ton. de metanol)

Variáveis auxiliares:

- $L_{ij} = \min(0, D_{ij} - V_{ij})$ Quantidade de i que não foi vendida na semana j (t de metanol)

Parâmetros:

- D_{ij} Demanda pelo produto i na semana j (ton. de metanol)
 CFD Custo fixo incorrido ao se produzir em um domingo (R\$)
 Mg_i Margem de contribuição do produto i (R\$/ton. de metanol)
 CE_i Custo de estoque do produto i durante um mês (R\$/ton. de metanol)
 Q_{min} Q. mínima de metanol a ser processada em um dia (ton. de metanol)
 Q_{max} Q. máxima de metanol a ser processada em um dia (ton. de metanol)
 E_{min_i} Capacidade mínima de estocagem do produto i (ton. de metanol)
 E_{max_i} Capacidade máxima de estocagem do produto i (ton. de metanol)

Função objetivo:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^S Mg_i * V_{ij} - \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^S Mg_i * L_{ij} - \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^S \frac{CE_i * E_{ij}}{S} - \sum_{j=1}^S CFD * S_j$$

A função objetivo a ser maximizada calcula a margem de contribuição total gerada pelas vendas, subtraindo o custo de vendas perdidas, que é igual ao produto margem de contribuição unitária pelo volume que se deixou de vender (demanda subtraída pelas vendas

realizadas). Também são subtraídos os custos de estoque médio, e, caso haja produção aos domingos, subtraem-se os custos fixos de produção.

Restrições:

- Dias de produção

$$(1) \sum_{i=1}^P X_{ij} \leq 7, \text{ para } j = 1, \dots, S$$

A restrição (1) impõe que a soma dos dias de produção para cada produto i seja menor ou igual a sete dias, em toda semana j .

- Quantidade produzida (mínimo e máximo)

$$(2.1) P_{ij} \geq Q_{\min} * X_{ij}, \text{ para } j = 1, \dots, S \text{ e para } i = 1, \dots, P$$

$$(2.2) P_{ij} \leq Q_{\max} * X_{ij}, \text{ para } j = 1, \dots, S \text{ e para } i = 1, \dots, P$$

A restrição (2.1) impõe que a quantidade mínima a ser feita do produto i durante a semana j é o produto entre a quantidade mínima de metanol processada por dia pelo número de dias de produção do produto i na semana j . A restrição (2.2) funciona de forma semelhante, limitando a quantidade máxima do produto i a ser feita em na semana j ao produto entre o número de dias de produção do produto i na semana j e a quantidade máxima de metanol processada por dia.

- Produção aos domingos

$$(3) \sum_{i=1}^P X_{ij} \leq 6 + S_j, \text{ para } j = 1, \dots, S$$

A restrição (3) indica que, se, em uma semana j , a soma dos dias de produção de todos os produtos i for superior a seis dias, haverá produção no domingo da semana j .

- Continuidade de estoque

$$(4) E_{ij+1} = E_{ij} + P_{ij} - V_{ij}, \text{ para } i = 1, \dots, P \text{ e } j = 1, \dots, S$$

A restrição (4) impõe que o estoque do produto i no início da semana $j+1$ é igual ao estoque de produto i do início da semana j , mais a quantidade produzida do produto i na semana j , menos as vendas do produto i na semana j .

- Capacidade de estoque

$$(5.1) E_{ij} \leq E_{\max_i}, \text{ para } i = 1, \dots, P \text{ e } j = 1, \dots, S$$

$$(5.2) E_{ij} \geq E_{\min_i}, \text{ para } i = 1, \dots, P \text{ e } j = 1, \dots, S$$

As restrições (5.1) e (5.2) impõem as quantidades máxima e mínima de estoque de qualquer produto i .

- Vendas

$$(6.1) V_{ij} \leq D_{ji}, \text{ para } i = 1, \dots, P \text{ e } j = 1, \dots, S$$

$$(6.2) V_{ij} \leq P_{ij} + E_{ij}, \text{ para } i = 1, \dots, P \text{ e } j = 1, \dots, S$$

As restrições (6.1) e (6.2) impõem que a quantidade de produto i vendida na semana j deve ser limitada à demanda pelo produto i na semana j e à quantidade disponível do produto i na semana j , que é a soma do estoque do produto i disponível no início da semana j com a quantidade produzida do produto i na semana j .

Domínio:

$$X_{ij} \in \mathbb{Z}^+$$

$$S_j \in \{0,1\}$$

$$P_{ij} \in \mathbb{R}^+$$

$$V_{ij} \in \mathbb{R}^+$$

$$E_{ij} \in \mathbb{R}^+$$

4.2.4 Determinação dos parâmetros do problemas

O próximo passo para construir o modelo de planejamento é o cálculo de todos os parâmetros necessários para representar o problema. Buscaram-se as informações a partir dos encarregados de PCP e pela produção. Cada parâmetro será mostrado, ou calculado, a seguir.

- 1) A demanda semanal por produtos D_{ij} é obtida por meio das reuniões mensais do planejamento de produção. A equipe de vendas estima a demanda semanal baseada nas informações mais recentes da necessidade de cada cliente.

- 2) Para produzir aos domingos, assumiu-se que a empresa incorre em custos fixos adicionais. Para a divisão de formol e CUF, pode-se afirmar que os custos fixos são proporcionais ao número de dias de produção. Sendo assim, para considerar um dia extra de produção, deve-se adicionar o custo fixo diário. Além disso, segundo o departamento de produção, os custo fixo de produção aos domingos seria 5% superior ao custo fixo diário, pois a empresa paga horas extras. Os cálculos do custo fixo diário durante o mês de abril e do custo de produção assumido aos domingos são apresentado abaixo.

Tabela 11 – Cálculo do custo fixo de produção aos domingos (Elaboração do aluno)

	CUF	Formol	Total
	R\$		
Custos fixos diretos	98.357	88.010	186.367
Custos fixos auxiliares	19.229	17.206	36.435
Custos fixos indiretos	12.568	11.247	23.814
Total	130.153	116.463	246.616
<i>Dias de produção</i>	<i>15</i>	<i>13</i>	<i>28</i>
Custo fixo diário	8.677	8.959	8.808
<i>Prêmio por horas extras</i>			<i>5%</i>
Custo fixo aos domingos			9.248

- 3) A margem de contribuição por produto é a diferença entre a receita por produto e seus custos variáveis de produção. No contexto do trabalho, esta será calculada em reais por tonelada de metanol contida no produto. Baseando-se nas últimas informações financeiras disponíveis, do mês de abril, para o CUF, estimou-se uma margem de contribuição de R\$440 por tonelada de metanol, e para o formol, R\$308 por tonelada de metanol. Considerou-se o custo de vendas perdidas igual à margem de contribuição, já que ele representa o que a empresa deixou de ganhar.

Tabela 12 – Cálculo da margem de contribuição (Elaboração do aluno)

	CUF				Formol		
	Total (R\$)	%	unit. (R\$)		Total (R\$)	%	unit. (R\$)
Receita líquida	1.662.140	100%	1581		1.140.611	100%	1175
Custo variável: Metanol	- 810.682	-49%	-771		- 748.523	-66%	-771
Custo variável: Ureia	- 302.832	-18%	-288		0	0%	0
Custo variável: Energia Elétrica	- 60.639	-4%	-58		- 54.262	-5%	-56
Custo variável: Outros	- 25.406	-2%	-24		- 38.865	-3%	-40
Margem de Contribuição	462.581	28%	440		298.961	26%	308
toneladas de metanol	1.051				971		

- 4) Como os produtos finais são armazenados em tanques da própria empresa, o custo mensal de estoque de cada produto e por tonelada de metanol equivalente é calculado a seguir. O custo unitário mensal de armazenagem é igual ao valor anual de depreciação dos tanques de produto final, dividido pelo número de meses do ano e pela capacidade máxima de armazenagem dos produtos (R\$5), e depois convertido para reais por tonelada de metanol equivalente. Já os custos de capital empatado e de serviços totalizam 17,00% ao ano, como no caso do metanol. Os cálculos são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 13 – Cálculo do custo de manutenção de estoque de produtos acabados (Elaboração do aluno)

Custos mensais (R\$/t de metanol)	Formol	CUF
<i>Depreciação dos tanques</i>	2,9	2,6
Armazenagem	2,9	2,6
<i>Valor dos produtos</i>	1.581	1.175
Capital empatado	15	11
Serviços	6	5
Total	24,4	18,5

- 5) Quando a empresa opta por produzir formol ou CUF, por este processo ser químico, exigindo a ativação do reator e o uso de uma coluna de água, existe uma quantidade mínima a ser produzida. Esta quantidade, em termos de metanol equivalente, é de 20 toneladas. Existe também uma quantidade máxima de metanol que pode ser processada em um dia, que é de 108 toneladas. Os cálculos, apresentados no capítulo anterior, podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 14 – Capacidade de produção de formol e CUF (Elaboração do aluno)

Índice		Comentário
Capacidade de expedição (ton/ano)	68.000	Baseado no relatório anual da empresa
Dias de produção (dias/ano)	312	52 semanas, de segunda a sábado
Capacidade de expedição (ton/dia)	218	-
Ton. de metanol por ton. expedida	0,495	Índice de conversão da empresa
Capac. Máx. de processamento de metanol (ton/dia)	108	-
Mínima expedição em um dia (ton/ dia)	40	Estimativa da empresa
Capac. Mín. de processamento de metanol (ton/dia)	20	

- 6) Na planta de Várzea Paulista, há quatro tanques de formol e um tanques de CUF. As capacidades destes tanques em toneladas de metanol equivalente são

apresentadas na tabela abaixo. Embora não exista uma quantidade mínima que deve ser estocada, a empresa tenta manter, para formol e CUF, uma quantidade mínima de 50 toneladas de metanol equivalente.

Tabela 15 – Capacidade de estocagem de formol e CUF (Fonte: Chemco)

	Capacidade (t)	Conversão para metanol	Capacidade (t de metanol)
Formol 37% Est.	160	0,441	71
Formol 37% Inib.	130	0,512	67
Formol 44%	160	0,512	82
Formol 50%	320	0,582	186
Total Formol	770	0,512	405
CUF	540	0,588	317

4.2.5 Implementação computacional e validação do modelo

Para programar o modelo, utilizou-se o *software* CPLEX, ferramenta muito utilizada para resolver problemas de programação linear. O modelo proposto pode ser classificado como um problema de programação linear mista, envolvendo variáveis contínuas, como as quantidades a serem vendidas, produzidas e estocadas, e inteiras, como os dias de produção. A rotina de programação está contida no Anexo A.

Para validar o modelo, isto é, garantir que ele respeita todas as restrições operacionais e comerciais do sistema de produção, realizou-se um teste com uma situação hipotética. As entradas utilizadas, a saída do programa e a constatação da validade do modelo encontram-se nas tabelas abaixo.

Tabela 16 – Entradas para o modelo de MPS: validação (Elaboração do aluno)

	Formol	CUF
Margens de contribuição (R\$/ t metanol)	308	440
Custo de vendas perdida (R\$/ t metanol)	308	440
Custo mensal de Estoque (R\$/t de metanol)	18,5	24,4
Demanda S1 (ton. metanol)	200	350
Demanda S2 (ton. metanol)	350	500
Demanda S3 (ton. metanol)	300	400
Demanda S4 (ton. metanol)	350	200
Custo fixo domingo (R\$)	9248	

Tabela 17 – Saída do modelo de MPS: validação (Elaboração do aluno)

<i>ton. de metanol</i>	Formol	CUF			Formol	CUF
Vendas semana 1	200	350		Estoque semana 1	100	100
Vendas semana 1	350	500		Estoque semana 2	150	182
Vendas semana 1	300	400		Estoque semana 3	118	114
Vendas semana 1	350	200		Estoque semana 4	104	50
				<i>Estoque final</i>	50	50
Produção semana 1	250	432		Domingo semana 1	Sim	
Produção semana 2	318	432		Domingo semana 2	Sim	
Produção semana 3	286	336		Domingo semana 3	Sim	
Produção semana 4	296	200		Domingo semana 4	Não	
<i>Função objetivo (R\$)</i>	984.487					

Tabela 18 – Validação do modelo de MPS (Elaboração do aluno)

Variável	Produto	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
<i>Venda</i>	Formol	200	350	300	350	
<i>Demanda</i>	Formol	200	350	300	350	
<i>Venda</i>	CUF	350	500	400	200	
<i>Demanda</i>	CUF	350	500	400	200	
<i>Produção</i>	Formol	250	318	286	296	
<i>Produção</i>	CUF	432	432	336	200	
<i>Produção</i>	Formol + CUF	682	750	622	496	
<i>Capacidade</i>	Formol + CUF	756	756	756	648	
	<i>Util. Capacid.</i>	90%	99%	82%	77%	
<i>Estoque</i>	Formol	100	150	118	104	50
<i>Capacidade</i>	Formol	405	405	405	405	405
<i>Estoque</i>	CUF	100	182	114	50	50
<i>Capacidade</i>	CUF	317	317	317	317	317

Constata-se pela tabela acima que o modelo respeita todas as restrições do sistema de produção. Portanto, o próximo passo na implementação do modelo de MPS é utilizá-lo com dados reais, comparando seu desempenho com relação ao que foi decidido pelo time de PCP da Chemco.

4.2.6 Teste do modelo em uma situação real

Escolheu-se como situação-teste a tarefa de programar a produção do mês de maio. Conforme já mencionado, em maio a divisão de formol e CUF da Chemco atingiu 86%, uma das taxas mais altas de sua história, o que gerou certa dificuldade para gerenciar este número de encomendas. Esta dificuldade traduziu-se em alguns equívocos na determinação da quantidade a ser produzida, o que impediu que toda a demanda do mês fosse atendida. A tabela abaixo representa a situação no início do mês de maio, contendo a previsão de demanda, entre outros parâmetros.

Tabela 19 – Entradas para o modelo de MPS em maio de 2010: situação-teste (Elaboração do aluno)

	Formol	CUF
Margens de contribuição (R\$/ t metanol)	308	440
Custo de vendas perdida (R\$/ t metanol)	308	440
Custo Estoque	18,5	24,4
Demanda S1 (ton. metanol)	200	350
Demanda S2 (ton. metanol)	290	360
Demanda S3 (ton. metanol)	280	400
Demanda S4 (ton. metanol)	430	260
Custo fixo domingo (R\$)	9248	

Diante da demanda prevista para o mês de maio, os encarregados de PCP da divisão de formol e CUF da Chemco tomaram decisões que deixaram de atender a demanda em uma pequena parcela. A programação da produção que foi executada no mês de maio é mostrada abaixo, junto com outras as variáveis de decisão e com o valor para a função objetivo. Comparando os valores vendidos de fato com a demanda, observa-se que em maio de 2010 a divisão de formol e CUF deixou de processar 11 toneladas de metanol para fabricar formol na quarta semana do mês, e 27 toneladas de metanol para fabricar CUF. Dessa forma, deixou-se de gerar uma margem de contribuição de R\$15.400 no mês.

Tabela 20 – Avaliação da programação da produção realizada em maio de 2010 (Elaboração do aluno)

<i>ton. de metanol</i>	Formol	CUF			Formol	CUF
Vendas semana 1	200	350		Estoque semana 1	100	100
Vendas semana 2	290	360		Estoque semana 2	100	100
Vendas semana 3	280	397		Estoque semana 3	38	65
Vendas semana 4	419	236		Estoque semana 4	7	0
				<i>Estoque final</i>	0	0
Produção semana 1	200	350		Domingo semana 1	Não	
Produção semana 2	228	325		Domingo semana 2	Não	
Produção semana 3	249	332		Domingo semana 3	Não	
Produção semana 4	412	236		Domingo semana 4	Não	
<i>Função objetivo (R\$)</i>	938.960					

Tabela 21 – Avaliação da programação da produção realizada em maio de 2010 (Elaboração do aluno)

<i>ton. de metanol</i>	Formol	CUF			Formol	CUF
Vendas semana 1	200	350		Estoque semana 1	100	100
Vendas semana 2	290	360		Estoque semana 2	150	170
Vendas semana 3	280	400		Estoque semana 3	50	126
Vendas semana 4	430	260		Estoque semana 4	50	50
				<i>Estoque final</i>	50	50
Produção semana 1	250	420		Domingo semana 1	Sim	
Produção semana 2	190	316		Domingo semana 2	Não	
Produção semana 3	280	324		Domingo semana 3	Não	
Produção semana 4	430	260		Domingo semana 4	Sim	
<i>Função objetivo (R\$)</i>	952.664					

Observando-se o que foi sugerido pelo modelo de MPS para o mês de maio de 2010, percebe-se que toda a demanda seria atendida. Isto geraria um incremento para a margem calculada igual a duas vezes o custo de vendas perdidas, já que todas as entregas programadas seriam realizadas, e não haveria qualquer penalidade relacionada ao custo de oportunidade da empresa. Por outro lado, para atender toda a demanda, o modelo acabou sugerindo a produção formol e CUF em dois domingos, incorrendo, portanto, em custos fixos adicionais. Estes custos fixos reduziram os benefícios trazidos pelo atendimento pleno da demanda.

A figura abaixo representa a variação entre as funções objetivo calculadas a partir das decisões da empresa e do modelo de MPS sugerido.

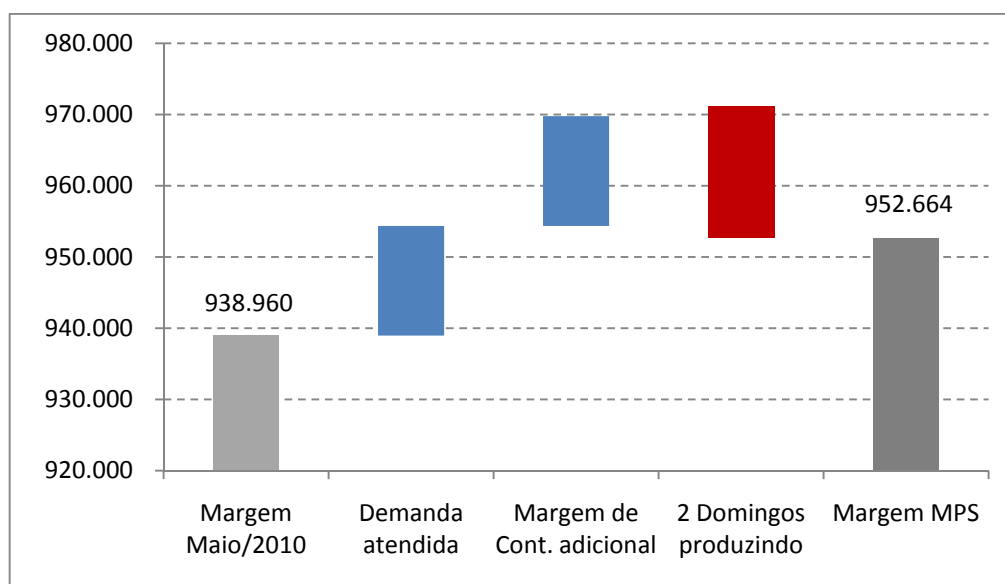


Figura 25 – Incremento na margem de contribuição gerado pelo MPS (Elaboração do aluno)

Sendo assim, para o mês de maio, o MPS geraria uma economia de R\$14.000 para a divisão de formol e CUF da Chemco.

4.2.7 Importância do modelo

Embora a economia gerada pelo MPS no item anterior pareça modesta, equivalente, no mês de maio, a menos de 2% da margem total, vale a pena ressaltar que a crescente demanda no segmento de formol e CUF se traduzirá em taxas de utilização cada vez maiores, o que tornará a programação da produção uma atividade cada vez mais complexa. Isto amplia o risco de a divisão de formol e CUF da Chemco cometer novos e maiores equívocos ao determinar as quantidades a serem produzidas e vendidas ao longo do mês.

É importante notar que, se com uma taxa de utilização não tão elevada, de 86%, a divisão já encontrou dificuldades para programar a produção, quando a atividade do reator de metanol atingir níveis próximos a 100% de capacidade, a empresa pode incorrer em custos de vendas perdidas cada vez maiores, prejudicando sua rentabilidade.

Além das economias mencionadas, um outro benefício em potencial da adoção do modelo de MPS é o aumento da rapidez com que o time de PCP poderá realizar esta

atividade. Com uma menor exigência de tempo programando a produção desta divisão, sobrará mais tempo para melhorar outras etapas do processo.

Quando a ideia de implementar o MPS na divisão de formol e CUF da Chemco foi discutida com os encarregados de PCP, embora estes tenham se mantido céticos quanto à possibilidade de transferência completa da atividade de programação da produção para um modelo matemático, todos concordaram que esta ferramenta será útil para balizar as decisões a serem tomadas e para projetar diferentes cenários de crescimento da demanda daqui para frente.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho de formatura teve como o objetivo apresentar uma série de propostas de melhorias operacionais para o sistema de produção de formol e CUF da Chemco. Este segmento, atualmente pouco significativo na empresa como um todo, carece de um esforço de gestão intenso e contínuo por parte da gerência, apresentando oportunidades de ganho de eficiência em duas etapas diferentes de sua cadeia produtiva.

Na etapa de fornecimento de matéria prima, em que a empresa tem sofrido interrupções em seu processo produtivo devido a atrasos na chegada de metanol, foi sugerida a manutenção de um estoque de segurança de matéria prima equivalente a quatro dias de produção. Isto garante um nível de serviço maior que 95%, minimizando os custos de vendas perdidas decorrentes da falta de metanol. Através de uma análise de cenários, estimou-se que a economia anual gerada por esta reserva de matéria prima seria de R\$270.000.

Ainda na fase de fornecimento de metanol, foi constatado que na divisão de formol e CUF não havia a prática de calcular o lote econômico de pedido, o que oferece oportunidades de diminuição do custo total de pedido e de manutenção de estoque cíclico. Sendo assim, foi proposta uma mudança na política de importação de metanol, de 1.500 toneladas a cada vinte dias para 2.000 toneladas a cada 27 dias. Isto gerou uma economia anual de R\$315.000.

Por último, tendo em vista o cenário de aumento de demanda por formol e CUF, fruto da expansão da atividade no setor de construção civil, verificou-se que a empresa está atingindo taxas de utilização de capacidade cada vez maiores. Conforme foi observado no mês de maio, em que a divisão utilizou 86% de sua capacidade e apresentou problemas para atender todos os pedidos, a maior demanda amplia a complexidade da atividade de programação da produção, que atualmente é realizada baseando-se apenas na experiência dos encarregados de PCP da divisão de formol e CUF. Sendo assim, julgou-se interessante apresentar um modelo de programação da produção (MPS) que respeitasse as restrições operacionais e comerciais do segmento em questão. Testando esse modelo no mês de maio, o MPS traria um ganho de R\$14.000, modesto com relação às outras economias observadas. Porém, essas economias podem se tornar mais expressivas com o aumento da demanda e da complexidade para programar a produção, e o MPS pode se tornar uma importante ferramenta auxiliar para a equipe de PCP, dando mais dinamismo e confiabilidade à tarefa de programação da produção.

Sendo assim, todas as propostas sugeridas têm o potencial de aumentar a eficiência operacional e econômica da Chemco. Uma vez que a viabilidade da implementação das propostas apresentadas já foi, de maneira geral, analisada e confirmada, acredita-se que o próximo passo para melhorar o desempenho da unidade de formol e CUF da Chemco é iniciar projetos para de fato instalar as mudanças sugeridas e descritas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Informações da Abiquim. Disponíveis em:

< www.abiquim.org.br >

Acessado em 14 de abril de 2010.

Arnold, J.R.T., 2007, **Administração de Materiais**, 5ª ed. São Paulo: Atlas.

Arrow, K.J.; S. Karlin; Scarf, H., 1958, **Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production**. Stanford University Press: Stanford.

Ballou, R.H.; 2004, **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**, 5ª edição. Porto Alegre: Bookman.

Informações da Bloomberg. Disponíveis em:

< www.bloomberg.com >

Acessado em 15 de abril de 2010.

Informações sobre a Braskem. Disponíveis em:

< www.braskem.com.br >

Acessado em 15 de abril de 2010.

Informações da CNI. Disponíveis em:

< www.cni.org.br >

Acessado em 15 de julho de 2010.

Churchman, C. W., 1972, **Introdução à Teoria dos Sistemas**, Petrópolis: Editora Vozes.

Corrêa, H.; Giancesi, I.; Caon, M., 1997, **Planejamento, Programação e Controle da Produção MRP II / ERP: Conceitos, Uso e Implementação**. São Paulo: Atlas.

Fayol, H., 1976, **Administração industrial e geral**, São Paulo: Atlas.

Harrington, H. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron, 1993.

Hax, D.C.; Candea A., 1984, **Production and Inventory Management**. Englewood Cliffs: Prentice Hall

Hill, S.C.; Robinson, L. A., 1995, **A concise guide to the IDEFO Technique: a practical technique for business process reengineering**. Puyallup, Enterprise Technology Concepts.

IBM ILOG CPLEX Manual. Disponível em:

< [ftp.boulder.ibm.com/software/websphere/ilog/docs/optimization/cplex/ps_usrmanplex.pdf](ftp://boulder.ibm.com/software/websphere/ilog/docs/optimization/cplex/ps_usrmanplex.pdf) >

Acessado em 20 de setembro de 2010.

Landeros, R.; Lyth, D.M., 1989, **Economic-lot-size models for cooperative inter-organizational relationships**. Journal of Business Logistics, v.10, n.2, pp.146-159

Silver, E.A.; Peterson, R.; Pyke, D.F., 1998, **Decision System for Inventory Management and Production Planning**, 3^a ed.. Nova Iorque: Wiley

Salerno, Mario S. **Projeto de organizações integradas e flexíveis: processos, grupos e gestão democrática via espaços de comunicação-negociação**. São Paulo: Atlas, 1999.

Santoro, M.C., 2006, **Planejamento, Programação e Controle da Produção – Vol. 1**, São Paulo: Apostila da Disciplina PRO 2415. Departamento de Engenharia de Produção da EPUSP.

Slack, N; Chambers, S.; Harland, C.; Johnston, R., 1997, **Administração da produção**. São Paulo: Atlas

Sule, D.R., 1997, **Industrial Scheduling**, Boston: PWS Publishing Company

Informações da Ultracargo. Disponíveis em:
< www.ultrapar.com.br >
Acessado em 15 de abril de 2010.

Winston, W.L. **Operations Research – Applications and Algorithms**. Toronto: Thomson, 2004.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO MPS NO CPLEX

```

/*****
* OPL 12.2 Model
* Author: Renato
* Creation Date: 27/10/2010 at 21:22:17
*****/

int Produtos = 2;
int Semanas = 5;

range p = 1..Produtos;
range s = 1..Semanas;

float margem[p] = ...;
float vendaperdida[p] = ...;
float custoestoque[p] = ...;
float D[p][s] = ...;
float CFdomingo = ...;

dvar float P[p][s];
dvar int X[p][s];
dvar boolean S[s];

dvar float V[p][s];
dvar float E[p][s];

dexpr float objetivo = sum (i in p, j in s) margem[i]*V[i][j] - sum (i in p, j in s)
vendaperdida[i]*(D[i][j] - V[i][j]) - sum (i in p, j in s) custoestoque[i]*(E[i][j]) - 400 * (S[1] +
S[2] + S[3] + S[4]) ;

maximize objetivo;

```

subject to {

ctNDiasProducao:

forall (j in s) sum (i in p) X[i][j] <= 7;
 X[1][5] == 0;
 X[2][5] == 0;

ctProducao:

forall (i in p, j in s) P[i][j] >= 0;
 P[1][5] == 0;
 P[2][5] == 0;

ctProducaoLoteMin :

forall (i in p, j in s) P[i][j] - 20 * X[i][j] >= 0;

ctProducaoCapacidade :

forall (i in p, j in s) P[i][j] - 108 * X[i][j] <= 0;

ctProducaoDomingo :

forall (i in s) X[1][i] + X[2][i] - S[i] - 6 <= 0;

ctContinuidadeEstoquePA :

E[1][1] == 100;
 E[1][2] == E[1][1] + P[1][1] - V[1][1];
 E[1][3] == E[1][2] + P[1][2] - V[1][2];
 E[1][4] == E[1][3] + P[1][3] - V[1][3];
 E[1][5] == E[1][4] + P[1][4] - V[1][4];

E[2][1] == 100;
 E[2][2] == E[2][1] + P[2][1] - V[2][1];
 E[2][3] == E[2][2] + P[2][2] - V[2][2];
 E[2][4] == E[2][3] + P[2][3] - V[2][3];
 E[2][5] == E[2][4] + P[2][4] - V[2][4];

ctCapacidadeEstoquePA :

forall(i in s) E[1][i] <= 405;

forall(i in s) E[2][i] <= 317;

forall(i in s) E[1][i] >= 50;

forall(i in s) E[2][i] >= 50;

ctVendas :

forall (i in p, j in s) V[i][j] - D[i][j] <= 0;

V[1][1] - E[1][1] - P[1][1] <= 0;

V[1][2] - E[1][2] - P[1][2] <= 0;

V[1][3] - E[1][3] - P[1][3] <= 0;

V[1][4] - E[1][4] - P[1][4] <= 0;

V[1][5] == 0;

V[2][1] - E[2][1] - P[1][1] <= 0;

V[2][2] - E[2][2] - P[1][2] <= 0;

V[2][3] - E[2][3] - P[1][3] <= 0;

V[2][4] - E[2][4] - P[1][4] <= 0;

V[2][5] == 0;

}