

RENATO AUGUSTO DE ALMEIDA SOARES

**APLICAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA EM
UMA EMPRESA DE PAPEL E CELULOSE**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

SÃO PAULO

2011

RENATO AUGUSTO DE ALMEIDA SOARES

**APLICAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA EM
UMA EMPRESA DE PAPEL E CELULOSE**

Trabalho de Formatura a ser apresentado
à Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

SÃO PAULO

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Soares, Renato Augusto de Almeida
Aplicação de modelos de previsão de demanda em uma empresa de papel e celulose / R.A.A. Soares. -- São Paulo, 2011.
91 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Previsão de demanda 2. Melhoria de processos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

A todos meus familiares e amigos
que contribuíram de alguma forma
para que este projeto desse certo.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, meu primeiro agradecimento deve ser feito ao Professor Marco Aurélio de Mesquita, que se colocou inteiramente à disposição durante todo o desenvolvimento do trabalho, dedicando muito de seu tempo e paciência a meu projeto. Agradeço pelas sugestões, conselhos, críticas e, principalmente, pela confiança em aceitar me orientar para que este projeto atingisse seus objetivos.

Meus maiores agradecimentos são dedicados a meus pais, Paulo Soares e Laurinda Correia de Matos. Seus esforços diários em fazer com que eu tivesse uma formação que eles próprios não puderam me inspirar e foram a motivação necessária para que eu atingisse todas as conquistas em minha vida. Agradeço a meu irmão Paulo Henrique, meu maior companheiro, em quem me inspirei para seguir a carreira de Engenheiro.

Agradeço também a meus colegas da empresa em que desenvolvi o projeto, pelo desenvolvimento pessoal e profissional que me proporcionaram, sempre dispostos a me aconselharem e compartilharem suas vastas experiências no mercado de trabalho.

Sou grato a todos os professores com os quais tive o prazer de conviver e aprender os fundamentos da Engenharia de Produção. Agradeço também aos funcionários da faculdade que sempre me ajudaram dando o suporte necessário para que pudesse desenvolver as atividades propostas pelo curso.

RESUMO

Este projeto foi desenvolvido na área de Planejamento e Controle da Produção de uma empresa produtora de papel e celulose, na Unidade de Negócios Papel. Após uma análise crítica da atual situação da área, percebeu-se que o processo de previsão de demanda aplicado pela empresa oferecia oportunidades de melhoria. As deficiências do processo atual de previsão prejudicam o nível de atendimento de pedidos de clientes pelo desbalanceamento dos estoques.

Um novo processo e um modelo de previsão de demanda considerando as peculiaridades do setor de papel foram propostos, a fim de reduzir os erros de previsão e os problemas a isso relacionados. O modelo é apoiado em métodos quantitativos de previsão de demanda, seguidos de uma análise qualitativa dos resultados. O processo de previsão de demanda, antes realizado unicamente pela equipe Comercial, tem participação também da área de Marketing e será centralizado pela equipe de PCP. A previsão, realizada por essas três áreas em conjunto, tende a contemplar todos os aspectos do setor de papel ao modelo.

Por fim, possíveis desdobramentos do projeto foram identificados e explicados, como a implantação de um *software* de mercado para realizar previsões quantitativas, ou a automatização do MPS (*Master Production Schedule*) dos semi-acabados.

Palavras-chave: Previsão de Demanda. Planejamento da Produção. Indústria de Papel e Celulose.

ABSTRACT

This project was developed in the Production Planning and Control department of a paper and pulp company, in the Paper Business Unit. After a critical analysis of the actual situation of the area, some points of improvement were detected at the current demand forecasting process. The deficiencies of the current forecasting process decrease the level of service due to the inventory imbalance.

Thus, a new process and a demand forecasting model were created to fit a paper company's business, with the objective of reducing the forecasting errors and the related problems. The model is based on quantitative methods of demand forecasting, followed by a qualitative analysis of the results. The sales forecasting process, made exclusively by the Commercial team, is shared with the Marketing team and centralized by the Production Planning and Control department. The forecast made by these three teams together incorporates a larger number of the paper sector's aspects to the model.

In conclusion, some of the consequences of this work and future points to be considered were identified and explained, such as the possible implementation of bought software to make the quantitative forecasts, or the MPS (Master Production Schedule) automation.

Keywords: Demand Forecasting. Production Planning. Paper and Pulp Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de SKU em sua descrição completa.....	15
Figura 2 - Macro Processo de Produção do Papel	20
Figura 3 - Resumo da situação dos estoques da Suzano ao final de Junho de 2011.....	21
Figura 4 – Configuração de um ambiente <i>assembly-to-order</i>	28
Figura 5 - Processo de Planejamento dos semi-acabados a serem produzidos.....	44
Figura 6 - Exemplo de Combinação de Pedidos para corte da bobina jumbo	47
Figura 7 – Etapa do Processo produtivo na qual será prevista a demanda	57
Figura 8 – Tela de ativação dos métodos quantitativos de previsão de demanda	66
Figura 9 - Tela de Modificação dos parâmetros utilizados na previsão	67
Figura 10 - Novo Processo de preparação do <i>MPS</i> dos semi-acabados	68
Figura 11 - Tela do Excel Solver para otimização dos parâmetros de suavização	74
Figura 12 – Tela de Previsão Detalhada do Método de Holt-Winters.....	75
Figura 13 – Gráfico com Série Histórica e previsão no período analisado	76
Figura 14 - Gráfico com Salto causado pelo cálculo da tendência inicial	77
Figura 15 - Gráfico com Salto inicial de Tendência Amenizado	78
Figura 16 - Gráfico Comparativo dos Modelos Quantitativos de Previsão.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das Divisões Comerciais do Mercado Interno	17
Tabela 2 – Participação de cada Divisão Comercial nas vendas, em 2010	18
Tabela 3 - Máquinas de papel da Suzano Papel e Celulose.....	19
Tabela 4 – Exemplo de Cálculo do disponível para promessa	27
Tabela 5 –MPS dos semi-acabados, da Máquina B5 para Conversão e Distribuição	42
Tabela 6 - Exemplo de Curva de produção da Máquina B5	43
Tabela 7 - Exemplo de Ordens de Venda	45
Tabela 8 - Exemplo de Ordens de Processo	46
Tabela 9 - Exemplos de Características que classificam um produto como Padrão.....	46
Tabela 10 –Clissificação dos SKUs ativos baseada no volume de vendas, em Ton.....	49
Tabela 11 – Frequência de vendas nos últimos 30 meses, para os SKUs.....	50
Tabela 12 – Exemplos de relação SKUs x Semi-Acabados	51
Tabela 13 – Classificação dos semi-acabados baseada no volume de vendas, em Ton	51
Tabela 14 - Frequência de vendas nos últimos 30 meses, para os semi-acabados	52
Tabela 15 - MAPE dos 15 produtos mais vendidos nos três últimos meses analisados....	54
Tabela 16 - MAPE dos 3 produtos mais vendidos por Divisão.....	55
Tabela 17 – Classificação dos produtos presentes no histórico de vendas	58
Tabela 18 - Exemplo de base de vendas extraída do sistema ERP	63
Tabela 19 - Exemplo de Posição de Estoques Extraída do sistema ERP	64
Tabela 20 – Parâmetros de Entrada para cada Modelo Quantitativo de previsão	65
Tabela 21 – Informações e Parâmetros da Previsão Quantitativa Detalhada	73
Tabela 22 – Participação nas vendas dos semi-acabados, por Divisão Comercial.....	80
Tabela 23 – Comparação da antiga previsão de demanda com os métodos quantitativos	82
Tabela 24 - Comparação dos erros de previsão de demanda no teste inicial.....	85
Tabela 25 - Erros de previsão de demanda no teste otimizado pelo aplicativo	86

LISTA DE ABREVIATURAS

BW	<i>Business Warehouse</i>
DFU	<i>Demand Forecast Unit</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
ME	<i>Mean Error</i>
MSE	<i>Mean Squared Error</i>
MPS	<i>Master Production Schedule</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PE	<i>Percent Error</i>
S&OP	<i>Sales and Operations Planning</i>
SH	Série Histórica
SKU	<i>Stock-Keeping Unit</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
WMAPE	<i>Weighted Mean Absolute Percentage Error</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	13
1.2. UNIDADE DE NEGÓCIOS PAPEL	13
1.2.1. Linhas de Produto da Unidade de Negócios Papel	13
1.2.2. Caracterização do SKU da Unidade Papel	15
1.2.3. Divisões comerciais (Escritórios de Vendas)	17
1.2.4. Processo produtivo.....	18
1.3. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	21
1.4. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS	24
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1. ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO	26
2.2. MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA	29
2.2.1. Quantitativos.....	29
2.2.2. Inicialização dos Métodos de Suavização Exponencial	33
2.2.3. Otimização dos Parâmetros de Suavização	35
2.3. ERROS DE PREVISÃO DE DEMANDA.....	35
3. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL	40
3.1. PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	40
3.1.1. Definição e sequenciamento dos semi-acabados a serem produzidos.....	40
3.1.2. Definição dos SKUs produzidos.....	44
3.1.3. Combinação de pedidos de produção	47
3.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS PARA O DIAGNÓSTICO	48
3.2.1. Mapeamento dos SKUs ativos.....	48

3.2.2. Agrupamento dos SKUs	50
3.3. SÍNTESE DO DIAGNÓSTICO E SOLUÇÃO PROPOSTA	52
3.3.1. Estratégia de Produção	52
3.3.2. Fluxo do Processo de Previsão de Demanda	53
3.3.3. Definição do Modelo Utilizado na Solução.....	56
4. PROPOSTA DE MODELO DE PREVISÃO	57
4.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MODELO.....	57
4.2. MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA	62
4.2.1. Fluxo de Informações do Processo Proposto.....	62
4.2.2. Aplicativo desenvolvido para Previsão da Demanda	69
5. APLICAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	79
5.1. TESTE DO MODELO DESENVOLVIDO	79
5.2. PREVISÃO DETALHADA POR SEMI-ACABADO.....	84
6. CONCLUSÃO	87
6.1. SÍNTESE	87
6.2. ANÁLISE CRÍTICA.....	88
6.3. DESDOBRAMENTOS	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

1. INTRODUÇÃO

1.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A Suzano Papel e Celulose ganhou espaço no mercado de papel nacional e mundial por ser pioneira na produção de papel com base celulósica em árvores de eucalipto, que demoram, com a atual tecnologia genética e agrária, apenas sete anos para atingirem o ponto ideal de maturidade, sendo este o diferencial competitivo principal, já que compete com indústrias papeleiras de regiões não-tropicais. Estas últimas utilizam celulose provinda de árvores do gênero *pinus*, que demoram de 40 a 50 anos para atingirem o ponto de corte para extração de celulose.

A Unidade de Negócios Papel da organização está fundamentada na produção e venda de diversos tipos de papel acabado para distribuidoras, gráficas e editoras. Além do papel, a Suzano é produtora de base celulósica para uso de outras empresas produtoras de papel.

Recentemente, o grupo Suzano se expandiu com a entrada no mercado de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, através da Suzano Energia Renovável, que aproveita o conhecimento adquirido na área de biogenética de árvores do gênero *Eucalyptus*, desenvolvendo um processo para a produção de *pellets* de madeira. *Pellets* são cápsulas com cerca de três centímetros de comprimento, produzidas a partir da prensa de cavacos de madeira, que serão queimadas em usinas termelétricas em países nos quais essa é a principal fonte de energia elétrica.

1.2. UNIDADE DE NEGÓCIOS PAPEL

O trabalho será desenvolvido na Unidade de Negócios Papel (UNP), mais especificamente na área de planejamento e controle da produção (PCP), setor em que o autor realiza estágio e tem completo acesso às informações necessárias para o desenvolvimento do mesmo. Além da UNP, as Unidades de Negócio de Celulose (UNC) e Florestal (UNF) completam o quadro de atividades da empresa.

1.2.1. Linhos de Produto da Unidade de Negócios Papel

O portfólio de produtos da UNP é composto por cinco linhas de produtos, que são:

- *Cut Size*: Produtos vendidos em atacadistas e varejistas, como resmas (pacotes de folhas) com 500 folhas de papel em formato A4. Recebem esta denominação por serem cortados em dimensões propícias para uso pessoal e possuem embalagens especiais, para diferentes regiões ou campanhas de venda. São vendidos pela Suzano em caixas com quantidades variadas de resmas.
- Papel Cartão: Papéis de espessura e resistência maiores, utilizados para trabalhos que exijam tais características, como embalagens alimentícias, de cosméticos, de produtos farmacêuticos e capas de cadernos, por exemplo.
- Papéis Não Revestidos: Compreende o conjunto de produtos com receitas de papel de espessura mais baixas, sem revestimento com tinta ou vernizes, utilizados para a confecção de livros e cadernos, por exemplo. São exemplos de produtos os papéis reciclados para impressão em gráficas e papéis de alta alvura (medida de reflexão de luz pelo papel – no caso, o papel gerado reflete quase a totalidade da luz recebida, dando um aspecto de extrema brancura).
- Papéis Revestidos *Off Machine* (Revestidos OFF): Saem das máquinas como papéis não revestidos e passam, posteriormente, por máquinas pintoras, que lhes aplicam uma camada de tinta branca, brilhante ou fosca, dando ao papel um acabamento especial, tornando-o ideal para a impressão de revistas de alto padrão e folhetos promocionais.
- Papéis Revestidos *On Machine* (Revestidos ON): Com a utilização final similar à da linha de papéis revestidos *off machine*, se difere por receber o acabamento ainda durante o processo produtivo, ou seja, dentro dá máquina de papel

Enquanto os produtos da linha *Cut Size*, que são vendidos em caixas com múltiplos pacotes padronizados (normalmente 100 ou 500 folhas), destinam-se ao consumidor final, as outras quatro linhas de produto têm como clientes gráficas, editoras e distribuidoras de papel. São vendidas em bobinas, *skids* (folhas empilhadas diretamente nos pallets de madeira e envolvidas em filme plástico do tipo *stretch*) e resmas (pacotes de papel que agrupam uma quantidade de

folhas consideravelmente menor que a contida em um *skid*) com folhas cortadas em dimensões apropriadas para utilização posterior nas máquinas dos clientes.

1.2.2. Caracterização do SKU da Unidade Papel

Este item tem como objetivo detalhar quais são as características que diferenciam um SKU em uma empresa de papel e, assim, facilitar a assimilação de termos que serão usados ao decorrer do presente documento por parte do leitor. Isto será feito com a exemplificação de um SKU da empresa estudada e, a partir daí, possíveis agrupamentos que simplificam o tratamento dos produtos em diferentes processos (fabricação, venda, etc.). Portanto, segue uma descrição dos parâmetros que tornam único um produto da empresa estudada e um exemplo de produto da linha de papéis cartão está, em sua representação completa, na Figura 1

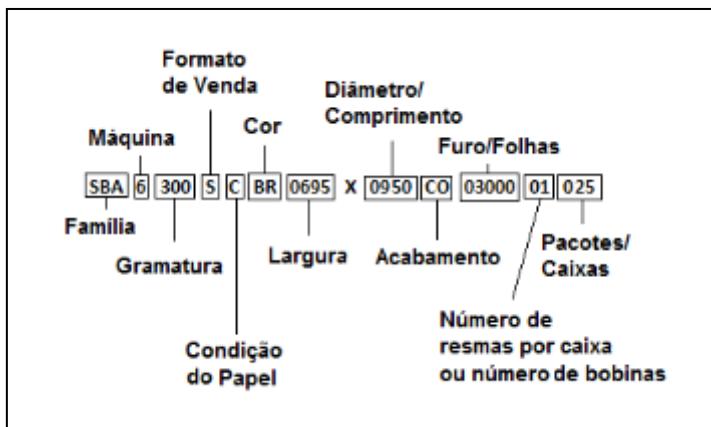


Figura 1 – Exemplo de SKU em sua descrição completa

- Família: de acordo com a receita utilizada para a preparação da massa que dará origem ao papel, os produtos são classificados em famílias diferentes, que separam os milhares de SKUs por rugosidade, alvura ou quantidade de camadas, por exemplo;
- Máquina: código que se refere a qual foi a máquina de papel que produziu tal produto;
- Gramatura: medida em gramas por metro quadrado (g/m^2), relacionada à composição do papel e sua espessura;

- Cor: Cor do papel produzido;
- Formato de venda: *skids*, resmas de folhas em diversos formatos, caixas e bobinas;
- Condição do papel: Indica se o papel está em perfeitas condições para ser vendido normalmente, ou deve ser vendido de uma forma dirigida, com descontos devido a avarias, por exemplo;
- Largura: Dimensão perpendicular à direção de saída do papel da boca de máquina, e assim, às fibras celulósicas na folha, tanto em bobinas como nos outros formatos;
- Diâmetro/Comprimento: diâmetro da bobina vendida ou, para os outros formatos, a dimensão perpendicular à largura;
- Acabamento: dois caracteres que classificam o produto de acordo com muitos critérios: envoltórios especiais para produtos *cut size*, se o papel possui isenção fiscal, se passou por processos de corte externo à Suzano, se está destinado à exportação, etc;
- Furo/Folhas: diâmetro do furo interno da bobina ou quantidade de folhas para os outros formatos;
- Resmas Por Caixa/Número de Bobinas: quantidade de resmas por caixa quando SKU está neste formato, ou número de bobinas que formam o SKU;
- Pacotes/Caixas: quantidade de pacotes ou caixas que compõem o SKU.

1.2.3. Divisões comerciais (Escritórios de Vendas)

Com o intuito de facilitar a negociação da equipe de vendas com os clientes e mesmo com outras áreas da empresa, além de atribuir responsáveis por cada parcela do estoque para direcionar ações de venda de estoque excedente, a área comercial que efetua vendas para o mercado brasileiro foi repartida em cinco divisões comerciais, cada uma especializada na venda de uma variedade de produtos, conforme listado na Tabela 1. Além disso, há duas distribuidoras próprias da Suzano, que entram em todas as análises de estoque, produção e faturamento como se fossem divisões comerciais. As duas distribuidoras, além de produtos da Suzano, efetuam venda de produtos de terceiros.

Tabela 1 - Descrição das Divisões Comerciais do Mercado Interno

Divisão Comercial	Clientes	Produtos
Consumo	Usuários de papel em formato A3 e A4 para trabalhos pessoais.	Produtos vendidos em varejistas e atacadistas, sendo apenas produtos da linha <i>Cut Size</i> .
Conversão	Editoras e gráficas, que convertem produtos da Suzano em cadernos, livros, revistas, etc.	Papéis Não Revestidos (interior dos livros e cadernos) e Papel Cartão (usualmente capas, mais resistentes)
Distribuição	Os principais clientes são empresas distribuidoras de papel da Suzano	Todas as linhas de produto, exceto <i>Cut Size</i> .
Embalagem	Grandes gráficas produtoras de embalagens de papel.	Vende basicamente produtos da linha de Papel Cartão, que serão utilizados para a produção de embalagens alimentícias e farmacêuticas, por exemplo.
Promocional	Gráficas e editoras responsáveis pela produção de artigos promocionais.	Produtos destinados a uso no mercado de promoções, como panfletos e revistas institucionais.
SPP Nemo e KSR	São distribuidoras, tendo como clientes todos os tipos acima citados, dependendo do produto vendido.	Todas as linhas de produto da Suzano e produtos de outras empresas, não necessariamente papel, como tintas para impressão, por exemplo

Para as vendas feitas para o Mercado Externo, os clientes, de acordo com sua localização geográfica e características de demanda, são atendidos através de dois meios: Terminais de venda (localizados na América do Norte e Europa) e Venda Direta. Os clientes atendidos da primeira forma compram papel previamente estocado em terminais externos (nos Estados Unidos e Europa). Na categoria de Venda Direta, o papel é transferido diretamente dos armazéns localizados no Brasil para os pontos de entrega definidos pelos clientes, sem a necessidade de estocagem em terminais externos. A participação relativa de cada uma das divisões comerciais, em quantidade (toneladas) e receita (R\$), é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Participação de cada Divisão Comercial nas vendas, em 2010

Divisão Comercial	Quantidade	Receita
Consumo	10%	11%
Conversão	15%	15%
Distribuição	9%	11%
Embalagem	12%	15%
Promocional	6%	8%
SPP Nemo	5%	6%
Total Mercado Interno	56%	66%
Venda Direta	24%	19%
América	11%	9%
Europa Papel	9%	7%
Total Mercado Externo	44%	34%
Total	100%	100%

*A Divisão Comercial KSR, antes descrita, foi incorporada em Março de 2011

1.2.4. Processo produtivo

A produção de papel estão distribuídas entre cinco plantas: duas em Suzano-SP, uma em Embu-SP, uma em Limeira-SP e uma em Mucuri-BA. Em todas as unidades, o processo produtivo está dividido em quatro estágios: a produção de papel a partir da massa, o acabamento, a transformação no formato de venda e, por fim, a embalagem.

O início do processo de produção de papel começa com o preparo da massa que originará o papel. Nesta fase, é definida a receita do papel produzido e, com isso, características como cor, tipo de celulose usada e grau de alvura que se deseja atingir. Algumas características do papel são

definidas pela máquina utilizada, dentre as dez que a empresa possui nas cinco plantas. A Tabela 3 mostra quais são as máquinas disponíveis para a produção do papel.

Tabela 3 - Máquinas de papel da Suzano Papel e Celulose

Máquina	Unidade Fabril	Produtos Produzidos
B5	Unidade Suzano	Não Revestidos, Base* para Revestidos
B6	Unidade Suzano	Papel Cartão
B7	Unidade Suzano	Base* para <i>Cut Size</i> , Base* para Revestidos Off e Não Revestidos
B8	Unidade Suzano	Base* para <i>Cut Size</i> e Não Revestidos
C1	Unidade Rio Verde	Não Revestidos <i>Off</i> , Reciclados e Coloridos
C2	Unidade Rio Verde	Não Revestidos, Reciclados e Coloridos
E1	Unidade Embu	Papel Cartão
M1	Unidade Mucuri	Não Revestidos
A	Unidade Limeira	Não Revestidos e Revestidos <i>On</i>
B	Unidade Limeira	Base* para <i>Cut Size</i> , Base* para Revestidos <i>Off</i> e Não revestidos

*Os papéis *Cut Size* e Revestido *Off* são assim classificados após uma etapa de corte e revestimento, respectivamente. As máquinas descritas na tabela são responsáveis pela produção das bobinas que serão base para tais produtos.

Na primeira etapa do processo, os ingredientes que formarão a massa são posicionados em um grande recipiente em formato de paralelepípedo, chamado de mesa ou caixa de entrada. Desta mesa, a massa de papel, com grande quantidade de água absorvida, é despejada sobre uma tela com orifícios de diâmetro reduzido, para que apenas água passe pelos mesmos.

Esta tela com massa a de papel passa por entre diversos rolos de metal, revestidos ou não com camadas de feltro, que vão tornando a camada de massa cada vez menos úmida e espessa.

Ao final de uma grande quantidade de rolos sequenciados, a massa foi transformada em uma imensa folha de papel seca e na espessura determinada para aquele papel que está sendo produzido. Esta espessura pode ser definida pela distância entre os rolos e pela abertura da boca de entrada da máquina. O processo de fabricação desta folha é contínuo, parando apenas para realização de *setup* entre os diferentes produtos.

Ao final desta etapa, estarão produzidas bobinas conhecidas como rolos jumbo, que não são vendidas nesta forma por causa de suas dimensões muito grandes. Tendo saído de uma mesma máquina, diferenciam-seumas das outras apenas pela receita e gramatura (g/m^2) do papel. Estas bobinas são tratadas como produtos semi-acabados.

Na segunda etapa, são três as opções do que fazer com as bobinas: podem passar por dois tipos de acabamento específicos, sendo em deles uma máquina extrusora junto a uma película plástica para tornarem-se impermeáveis e, para os Papéis Revestidos, ocorre a pintura com tinta branca e vernizes.

O terceiro estágio é onde ocorre a redução do diâmetro (rebobinadeiras) e largura (cortadeiras) dos rolos jumbo (Papéis Cartão, Revestidos e Não Revestidos) e corte das bobinas em folhas (Papéis Cartão, Revestidos, Não Revestidos e *Cut Size*).

Por fim, é feita a embalagem das bobinas (com uma proteção de papel pardo) e das folhas, etapa que também pode variar de acordo com o envoltório utilizado e com a quantidade de produtos embalados em conjunto. Após essas quatro etapas os materiais são tratados como acabados. A Figura 2 mostra o macro processo de produção do papel.



Figura 2 - Macro Processo de Produção do Papel

1.3. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Um dos principais problemas encontrados hoje na Unidade de Negócios Papel da Suzano Papel e Celulose é o alto volume de materiais acabados em estoque e, além disso, a integridade desse estoque também é preocupante. Em um ambiente competitivo como o mercado de papel, que possui, além de uma grande quantidade de produtos nacionais similares, produtos importados provindos de regiões onde o custo de mão-de-obra é, consequentemente, o preço é reduzido, deve-se fazer de tudo para que se consigam custos de produção inferiores aos dos concorrentes e qualidade equivalente ou superior à dos concorrentes. O estoque, portanto, deve ser bem controlado e guardar apenas o que garantirá à empresa um nível de serviço satisfatório, já que esse, junto ao preço, é fator diferencial entre competidores.

No entanto, não é essa a atual situação dos estoques da Suzano. Ao final de 2010, 54% do volume de papel estocado em todos os depósitos próprios e terceirizados eram formados por produtos Especiais, ou seja, mais da metade do volume de materiais em estoque não são vendidos com frequência e possuem características específicas solicitadas pelos clientes no momento do pedido, tornando difícil sua venda para outros clientes. Dessa porcentagem de materiais Especiais, 62% estavam vinculados a clientes e, assim, tinham potencial de faturamento futuro. Poderiam estar esperando, por exemplo, a conclusão de produção de todo o pedido para serem faturados. Contudo, essa análise mostra que 21% do estoque da companhia está sem vínculo a nenhum cliente, ou seja, não estão relacionados a nenhum pedido e possuem formatos não vendidos comumente.

Produtos Padrão	46 %		Estoque vinculado a clientes	62 %
Produtos Especiais	54 %		Estoque sem vínculo a clientes	38 %
Estoque Total	100 %		Estoque de Produtos Especiais	100 %

Figura 3 - Resumo da situação dos estoques da Suzano ao final de Junho de 2011

Acumular um estoque nessas condições, além de representar um imenso capital parado, faz com que se tenha uma falsa ideia de que está sendo garantido, pelo menos, um bom nível de

serviço. Além disso, devido à fragilidade física do papel, a presença de grandes bobinas paradas em armazéns constantemente frequentados por empilhadeiras e outras máquinas pesadas, faz com que esses materiais estejam sujeitos a avarias, como furos e rasgos, que o danificam de forma irreversível. Quando isso ocorre, é aberto um procedimento para avaliação da gravidade da avaria e quanto daquele material poderá ser ainda aproveitado. Em certos casos, o material avariado foi produzido pontualmente e estava pronto para atender um cliente. Com sua avaria, até que se consiga produzi-lo novamente, há o risco de atraso para o cliente, podendo ocasionar o cancelamento do pedido (e assim, a geração de um estoque sem previsão de saída) ou, em casos de recorrência, até seu rompimento com a empresa.

Para tentar amenizar a atual situação dos estoques da companhia, não é suficiente uma atuação sobre o que já está estocado, já que isso pode ser feito através de ações pontuais das áreas de marketing comercial e, como descontos fornecidos dependentes das características dos produtos vendidos e ações de promoção dos produtos com grande quantidade estocada. É fundamental que se aja na fonte geradora dos estoques, ou seja, deve-se dar um passo atrás no processo e criar meios de se ter uma produção o mais aderente às vendas possível, tanto em volume quanto *mix* de produtos, para evitar que este estoque continue sendo criado com as mesmas características.

Assim, para que haja aderência entre produção e vendas, em um processo de planejamento da produção como o descrito anteriormente, a previsão da demanda tem que ocorrer de forma a minimizar o erro entre previsto e realizado, já que o plano de produção é baseado na mesma. Se a área comercial efetua a previsão erroneamente, haverá a produção de produtos que não serão vendidos e, no futuro, estarão parados no estoque, aumentando o já existente problema. Tal situação é preocupante como os valores de MAPE (*mean absolute percentage error*), que, neste caso, medem a diferença percentual entre o que os executivos de venda disseram que iriam vender e realmente venderam em 2010. A média aritmética dos valores mensais de MAPE por SKU, quando considerada toda a equipe de vendas do Mercado Interno, por exemplo, foi de 53%. Além disso, com a previsão de demanda mal realizada, surge a necessidade de se ajustar o que será produzido (tanto em volume como em mix de produtos) constantemente, o que causa problemas paralelos, como a falta de matérias-primas para a produção de materiais não planejados.

Outro aspecto que é responsável pelo tamanho e qualidade do estoque da Suzano é o fato da previsão de demanda ser controlada e avaliada apenas para um mês seguinte ao período atual. Desta forma, mesmo com valores de erro de previsão menores, seria difícil pensar em estratégias de produção para atender uma venda que ocorreria em meses subsequentes ao próximo, o que, além de facilitar a geração de combinações para otimização da boca da máquina, reduziria a falta de matérias-primas, compradas antecipadamente. Se a equipe de planejamento de produção enxergasse um horizonte de tempo maior, seria possível o aumento do nível de serviço, já que, por exemplo, poderia, em conjunto com a logística, realizar o agendamento de entregas antecipadamente com as empresas responsáveis, diminuindo a falta ou atraso de produtos para os clientes.

Mais uma questão que se percebe ao se aprofundar na análise do processo de planejamento e controle da produção, é o pouco controle sobre a previsão de demanda e os erros cometidos neste processo. Portanto, em um sistema meritocrático como o adotado pela empresa, é justo que cada colaborador se concentre em atingir suas metas que, no caso dos vendedores, estão muito mais relacionadas ao volume de vendas do que à assertividade de suas previsões.

Assim, deve ser mostrada aos vendedores a relação entre a previsão por eles feita e o nível de atendimento que poderá oferecer a seus clientes, o que aumentaria o comprometimento da área comercial com a etapa de previsão de demanda.

Além disso, não há um congelamento da curva inicial de produção (a curva de produção é formada pelos semi-acabados que serão produzidos, trazendo informações de sequência de produção, data de início e fim da produção daquele semi-acabado) e, independente do que uma Divisão Comercial previu como demanda ou mesmo do estoque que tem sob sua responsabilidade, pode fazer alterações nas curvas de produção durante o mês, poucos dias antes dos pedidos serem produzidos, a fim de atenderem seus clientes, o que dificulta o processo de controle da produção e mesmo planejamento de matérias-primas e logístico.

Por fim, outra deficiência percebida é o fato de o estoque não ser analisado detalhadamente em diversas etapas do processo, seja na montagem do MPS (*Master Production Scheduling*), quando produtos já existentes em estoque podem ser colocados novamente para serem produzidos, ou então pelos vendedores, que poderiam, se não têm um SKU específico em seu estoque, fazer ações de venda sobre aqueles produzidos em formatos especiais para eles

próprios no passado e, por algum problema, como demora no atendimento, não acabaram chegando aos clientes. Muitas vezes, com um esforço de negociação, tais produtos poderiam ser vendidos, já que a diferença para outros SKUs de mesma família, gramatura e formato de venda fica em pequenos detalhes (como número de folhas no *skid*), e seriam muito bem recebidos pelos clientes em condições especiais, como descontos.

Ainda tendo os estoques de papel da Suzano como foco de análise, percebe-se que, a separação da equipe de vendas em divisões comerciais, apesar de ter sido realizada para criar responsabilidades sobre os estoques, conforme explicado no item 1.2.3, parecem tornar burocrática a venda do estoque sob responsabilidade de uma divisão por outra, já que deve haver primeiramente uma transferência virtual desse volume, processo este realizado pela equipe de PCP. Com isso, por comodidade, uma divisão acaba pedindo a produção de itens já estocados sob responsabilidade de outra divisão, ao invés de vender o que já está estocado.

1.4. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Com alguns dos possíveis problemas no processo de previsão de demanda e de planejamento e controle da produção identificados, é necessário que se defina qual será o objetivo do presente trabalho. A partir da análise da situação dos estoques da Unidade de Negócios Papel da Suzano, parece haver pontos de melhoria desde o processo de previsão de demanda até o de planejamento e controle da produção. Embora possa haver muitos pontos de atuação, o presente documento deve ter um escopo muito bem definido, pois, ao tentar tratar de todos, há o risco de se tornar um relatório superficial.

Portanto, o objetivo deste trabalho será a tentativa de, com auxílio de diversas informações, tais como séries históricas de vendas, além de ferramentas estatísticas, promover um melhoria do processo de previsão de demanda, aumentando a aderência entre o que se disse que seria vendido e o que realmente será absorvido pelo mercado. Com isso, além de tentar reduzir a intensidade dos problemas mencionados no item anterior, espera-se que as informações geradas possam ser utilizadas em projetos paralelos desenvolvidos pela a empresa.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo do presente trabalho teve como objetivo apresentar a empresa onde o projeto foi desenvolvido, através de uma breve descrição de seu negócio, de seus produtos e do processo produtivo da Unidade de Negócios foco do trabalho. A seguir, definiram-se o problema e os objetivos do trabalho: a busca da melhoria do processo de previsão de demanda da empresa.

O capítulo a seguir terá como objetivo construir a fundamentação teórica que baseará e validará as ações tomadas durante o desenvolvimento do presente projeto.

O capítulo 3 detalhará o breve diagnóstico apresentado ainda no primeiro capítulo. Apresentará o processo de coleta de dados utilizados e a definição de qual método será utilizado para se obter a solução do problema apresentado.

O capítulo 4 trará o detalhamento da solução e suas características, desenvolvidas a partir do diagnóstico realizado no capítulo 3

No capítulo 5, o modelo definido no capítulo 3 e detalhado no capítulo 4 será aplicado para produtos-chave da empresa e o resultado da solução adotada será avaliado.

Por fim, o capítulo 6 trará uma síntese do projeto, uma discussão conclusiva dos resultados obtidos e desdobramentos do trabalho na empresa, além de aprendizados e dificuldades encontradas no decorrer do mesmo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo traz uma revisão bibliográfica que dará fundamento para as análises realizadas e os modelos criados no decorrer do projeto. São estudadas inicialmente algumas estratégias de produção relacionadas ao ambiente da empresa. Também serão abordados métodos de previsão quantitativa de demanda e métodos de medição de seus erros.

2.1. ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO

De acordo com as características dos produtos fornecidos por uma empresa e da exigência do mercado consumidor, a mesma pode adotar diversas estratégias para produzi-los, a fim de obter o menor custo possível sem prejudicar seu nível de serviço.

Produção para estoque (*MTS*)

Em uma estratégia de produção *MTS* ou *make-to-stock*, é a empresa faz com que seus produtos vão inicialmente para o estoque e, então, sejam consumidos. Isto, no entanto, não implica que deva haver uma grande quantidade de material estocado ou por longos períodos de tempo (CORRÊA *et al.*, 2001).

Para manter a estabilidade dos planos de produção e garantir o melhor atendimento da demanda, a ferramenta utilizada no caso do *MTS* é a utilização do cálculo do de disponível para promessa (DPP), na tradução literal do conceito de *available to promise (ATP)*.

Isto se dá considerando o estoque disponível, a produção planejada para os próximos períodos (*MPS*) e as saídas futuras de materiais já consolidadas com pedidos dos clientes. A Tabela 4 mostra um exemplo de cálculo de DPP. No DPP, a principal informação é quanto do estoque está disponível para venda e quando haverá novas entradas de produtos em estoque. (ZAGO; MESQUITA, 2010).

Tabela 4 – Exemplo de Cálculo do disponível para promessa (Adaptado CORRÊA et al, 2001)

Períodos	Atraso	1	2	3	4	5	6	7	8
Previsão			30	50	50	70	90	100	100
Demandas Dependentes									
Pedidos em carteira		100	70	50	50	30	10		
Demandas Totais		100	100	100	100	100	100	100	100
Estoque Disponível	250	150	50	200	100	250	150	50	200
MPS				250		250			250
DPP		80		150		210			250
DPP Acumulado		80	80	230	230	440	440	440	690
Estoque de Segurança	50								
Lote de Produção	250								

Produção sob encomenda (*MTO*)

A estratégia de produção sob encomenda (*make-to-order*) é caracterizada pelo fato do produto ter sua produção iniciada a partir de um pedido do cliente. O pedido trará informações não somente de quantidade e configuração do produto desejado, como também, muitas vezes pode conter informações diferenciadas, como alterações nas especificações pelos próprios clientes. Aqui, o único estoque que a empresa deveria ter seria de matérias-primas ou de produtos recém produzidos esperando para serem entregues.

Segundo Corrêa *et al* (2001), não havendo, por definição, produção planejada ou mesmo estoque disponível dos produtos, é inviável a promessa de prazo para os clientes através do cálculo do DPP. A solução para que haja um prazo de entrega provável se dá de duas maneiras: a primeira é a análise histórica do tempo de entrega de pedidos similares, com variações baseadas no quanto carregada está a produção da fábrica; a segunda alternativa seria a simulação da produção desses pedidos, levando em consideração a data de acesso às matérias-primas, além das rotas e *lead times* de produção e real disponibilidade dos equipamentos. A segunda alternativa, apesar de ser mais trabalhosa e exigir a utilização de ferramentas computacionais em casos mais complexos, traz uma maior taxa de assertividade dos prazos previstos.

Montagem contra Pedido (*ATO*)

A estratégia de produção de montagem contra pedidos (*assembly-to-order*) é caracterizada pelo fato de as empresas saberem o que e quanto deve ser produzido até o nível de materiais semi-acabados ou componentes em nível de submontagem, podendo haver uma

estratégia *MTS* de produção para os materiais nesta fase de produção. A definição dos produtos acabados, no entanto, é dependente das especificações dos pedidos dos clientes. O principal objetivo desta estratégia é a redução da quantidade de SKUs sem um *lead time* tão alto quanto o do *MTO*

No caso desta estratégia de produção, o *MPS* é feito para o nível de conjuntos ou materiais semi-acabados. Aqui deve ser realizada uma combinação dos dois métodos explicados anteriormente, com o cálculo do DPP para os semi-acabados. Para os acabados, deve-se utilizar de uma das duas alternativas explicitadas no item acima. A Figura 4 traz a ilustração de como se configura a produção dentro da estratégia de montagem contra pedidos.

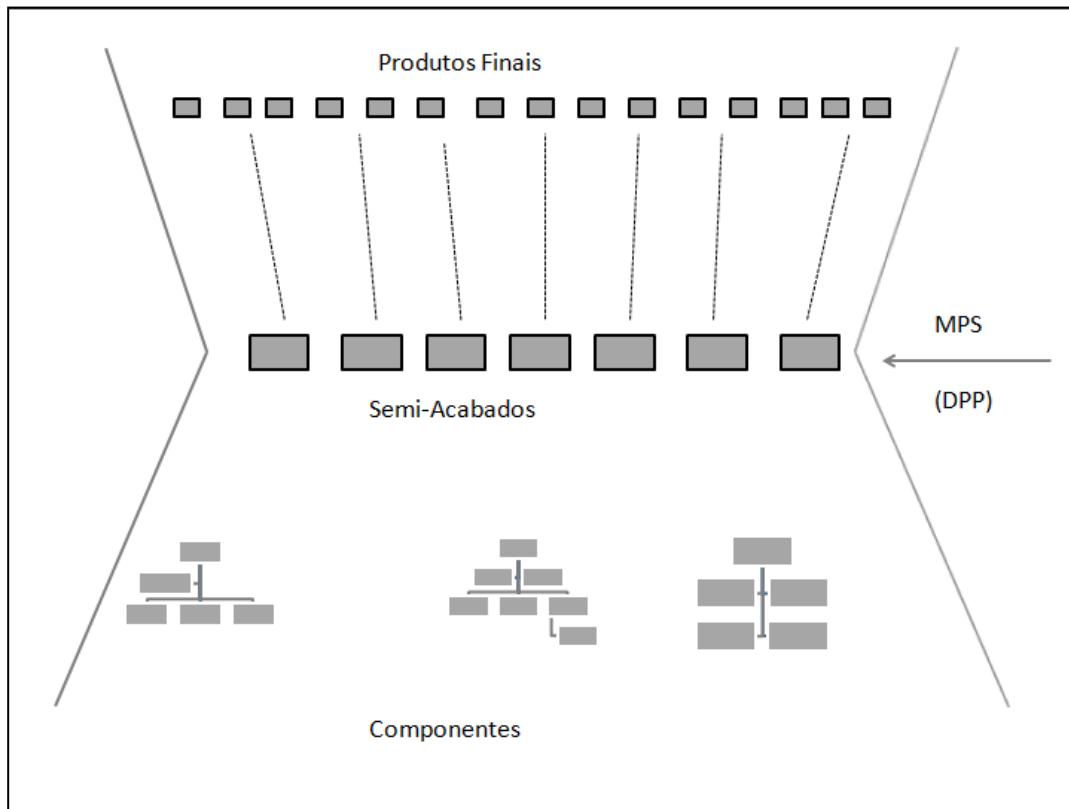


Figura 4 – Configuração de um ambiente *assembly-to-order* (Adaptado CORRÊA et al, 2001)

Métodos de previsão de demanda eficientes na primeira etapa do ATO e no MTS são necessários para que os erros neste processo não influenciem no balanceamento do estoque final. Para isso, métodos de previsão de demanda devem ser estudados e o serão no próximo item.

2.2. MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA

Os métodos de previsão de demanda podem ser divididos, inicialmente em três grandes grupos: os métodos quantitativos, baseados em séries históricas, modelos qualitativos e modelos causais.

Os métodos qualitativos são baseados na experiência e conhecimento intrínseco das pessoas, que fazem suas previsões a partir de opiniões, estimativas e informações subjetivas, como análises de concorrência, pesquisas de mercado, opiniões de gerentes de vendas, etc.

Os métodos quantitativos se utilizam de séries temporais como padrões de demanda do passado que se reproduzirão novamente no futuro, com tendências e sazonalidades definidas. Para tal, são usadas técnicas estatísticas que serão discutidas mais para frente, ainda neste capítulo. São exemplos a média móvel e a suavização exponencial.

Os métodos de previsão causal tentam descobrir as variáveis que formam a demanda e, entendendo como elas se comportam, é possível efetuar a previsão da demanda.

O presente capítulo estará focado na descrição dos métodos de previsão quantitativos, baseados na projeção futura de séries históricas, pois estes serão a base para o modelo desenvolvido no decorrer do projeto. Assim como os modelos causais, os modelos qualitativos, tais como painel de especialistas e Método Delphi, não serão detalhados na revisão bibliográfica, por não estarem diretamente relacionados à solução proposta, mas terem suas ideias intrínsecas aos responsáveis por realizar as previsões atualmente na empresa.

2.2.1. Quantitativos

Média Móvel

A previsão de demanda a partir do conceito de média móvel se dá quando o valor previsto para a demanda do próximo período é igual à média aritmética dos últimos N períodos, sendo N um número inteiro e fixo, a critério de quem faz a previsão. Sendo assim, algebricamente:

$$P_{t+1} = (D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-N})/N \quad (2)$$

onde P_{t+1} é a previsão da demanda para o próximo período ($t+1$), D_t é a demanda do último período (t) e N é o número de períodos utilizados no cálculo da média móvel. A decisão de qual será o número de períodos utilizados no cálculo é fundamental para a previsão, sendo que, quanto maior N , menor é a variação da previsão. Para um N pequeno, a previsão torna-se muito variável.

Suavização Exponencial Simples (SES)

Este método de previsão se baseia em médias móveis ponderadas através de um parâmetro α , $0 \leq \alpha \leq 1$. Quanto mais próximo a 1 for o parâmetro α , maior será o peso dos últimos valores da série na previsão do próximo período e, assim, mais variável é a previsão. O peso dos valores passados cai exponencialmente com o aumento da distância entre o período ao qual o dado se refere e o período atual, daí o nome dado ao método. Algebricamente, a previsão do próximo período se dá segundo a equação (3).

$$P_{t+1} = \alpha * D_t + (1 - \alpha) * P_t \quad (3)$$

onde P_{t+1} é a previsão da demanda para o próximo período, D_t é a demanda do período atual, P_t é a previsão do período atual e $0 \leq \alpha \leq 1$. Substituindo-se a previsão do período atual pela fórmula completa da Suavização Exponencial Simples, dado que $0 \leq \alpha \leq 1$, percebe-se a queda exponencial do peso das demandas mais antigas da série histórica na previsão futura:

$$P_{t+1} = \alpha * D_t + \alpha * (1 - \alpha) * D_{t-1} + (1 - \alpha)^2 * P_{t-1} \quad (4)$$

Neste método de previsão, quanto mais próximo de 1 for o α considerado, maior será o peso da demanda do período imediatamente passado e, assim, mais rápido o método reagirá a variações na demanda e mais sensível ao ruído o mesmo será. Quanto mais próximo de 0 estiver o parâmetro, menos se levará em conta os ruídos da série histórica. Cabe a quem faz a previsão,

encontrar o parâmetro que melhor se encaixa na série de dados utilizada como base para a previsão.

Suavização Exponencial Simples com Taxa de Resposta Adaptativa (ARRSES)

O método de previsão de demanda através da Suavização Exponencial Simples com Taxa de Resposta Adaptativa torna-se interessante por tratar do uso da Suavização Exponencial Simples, tirando do responsável pela previsão a responsabilidade de decisão sobre qual será o parâmetro α . Isto acontece porque o valor do mesmo é modificado de maneira controlada, conforme o padrão dos dados com o passar do tempo dentro da série histórica muda. Segundo Makridakis (1998), esta característica é bem vista quando a previsão deve ser feita para centenas ou milhares de itens.

A equação básica deste método é similar à equação básica da SES, tendo como diferença a revisão do parâmetro α a cada novo período previsto. O parâmetro calculado passa a ser chamado de α_t :

$$P_{t+1} = \alpha_t * D_t + (1 - \alpha_t) * P_t \quad (5)$$

$$\alpha_{t+1} = \frac{|A_t|}{|M_t|} \quad (6)$$

$$A_t = \beta * E_t + (1 - \beta) * A_{t-1} \quad (7)$$

$$M_t = \beta * |E_t| + (1 - \beta) * M_{t-1} \quad (8)$$

$$E_t = D_t - P_t \quad (9)$$

onde P_{t+1} é a previsão da demanda para o próximo período, D_t é a demanda do período atual, P_t é a previsão do período atual. A_t é uma estimativa suavizada do erro de previsão, calculada através de uma média ponderada entre A_{t-1} e o último erro de previsão E_t . M_t é uma estimativa suavizada do erro absoluto da previsão.

Suavização Exponencial com Tendência (Método Linear de Holt)

Os métodos previamente apresentados, de acordo com Makridakis (1998), são funções de previsão planas, ou seja, não apresentam quaisquer tendências, sazonalidades ou outros padrões relacionados à série de dados utilizada. Quando há algum tipo de tendência nos dados, deve-se acrescentar à suavização exponencial um fator de tendência. Para tal, são usados dois parâmetros (α e β) de suavização com valores entre 0 e 1. O método pode ser traduzido algebricamente em três equações:

$$N_t = \alpha * D_t + (1 - \alpha) * (N_{t-1} + b_{t-1}) \quad (10)$$

$$b_t = \beta * (N_t - N_{t-1}) + (1 - \beta) * b_{t-1} \quad (11)$$

$$P_{t+m} = N_t + b_t * m \quad (12)$$

onde N_t é a estimativa do nível da série no período t, b_t a estimativa da tendência no período t. D_t é a demanda do período atual e P_{t+m} é a previsão para m períodos a frente do período t.

Suavização Exponencial com Tendência e Sazonalidade (Método de Holt-Winters)

Segundo Makridakis (1998), os métodos de Média Móvel e Suavização Exponencial apresentados até agora são úteis para praticamente todas as séries de dados, desde que as mesmas não apresentem sazonalidade. Para que esta componente da demanda seja considerada, utiliza-se o método de Holt-Winters, ou a Suavização Exponencial com Tendência e Sazonalidade, na qual são utilizados três parâmetros de suavização: os dois utilizados no método linear de Holt (α e β),

mais um parâmetro responsável por suavizar a sazonalidade, γ . Assim como os outros dois, este parâmetro deve ter seu valor entre 0 e 1. A previsão, neste método, portanto, será composta por três fatores, o nível, a tendência e a sazonalidade. As equações utilizadas seriam:

$$N_t = \alpha * \frac{D_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha) * (N_{t-1} + b_{t-1}) \quad (13)$$

$$b_t = \beta * (N_t - N_{t-1}) + (1 - \beta) * b_{t-1} \quad (14)$$

$$S_t = \gamma * \frac{D_t}{N_t} + (1 - \gamma) * S_{t-s} \quad (15)$$

$$P_{t+m} = (N_t + b_t * m) * S_{t-s+m} \quad (16)$$

onde N_t é a estimativa do nível da série no período t , b_t a estimativa da tendência no período t , S_t é a componente sazonal relacionada ao momento t . D_t é a demanda do período atual e P_{t+m} é a previsão para m períodos a frente do período t .

2.2.2. Inicialização dos Métodos de Suavização Exponencial

A necessidade de haver um processo de inicialização dos métodos de previsão baseados em suavizações exponenciais surge com o fato de esses métodos serem todos baseados em equações recursivas, ou seja, equações que utilizam valores obtidos a partir de cálculos anteriormente realizados. Desta forma, todos os parâmetros utilizados nas equações de tais métodos devem possuir um valor inicial para que seja feito o primeiro cálculo.

Inicialização no Método de SES

Para que se dê início ao cálculo dos valores previstos através do método de Suavização Exponencial Simples, é necessário, segundo a equação (3), que se apresente um valor de previsão

para o período anterior. Portanto, para o período inicial, Makridakis (1998) sugere que se utilize do primeiro valor observado na série histórica como o valor da primeira previsão, ou seja, $P_1 = D_1$

Inicialização no Método Linear de Holt

Ainda segundo Makridakis (1998), o processo de inicialização do método linear de Holt exige que sejam feitas duas estimativas. A primeira, é a estimativa do nível no primeiro período que, assim como no caso da primeira previsão para a SES, é dada pelo exato valor do primeiro período observado na série histórica. Portanto, na equação (10), $N_1 = D_1$.

A outra estimativa que deve ser feita é a do primeiro valor da tendência, b_1 . São sugeridos aqui dois processos de inicialização desta componente da previsão. Em um deles, este valor é dado pela diferença entre a demanda do segundo e do primeiro períodos observados. No outro, o primeiro valor da componente de tendência é dado pela média das três primeiras diferenças observadas na série histórica da demanda.

$$b_1 = D_2 - D_1 \quad (17)$$

$$b_1 = (D_4 - D_1)/3 \quad (18)$$

Inicialização no Método de Holt-Winters

Para este modelo de previsão, devem ser feitas, além das estimativas do componente de tendência e nível iniciais, que serão utilizados na composição da previsão da demanda, assim como no método linear de Holt, estimativas dos primeiros valores dos componentes de sazonalidade. Tais componentes serão suavizados posteriormente e multiplicados pelo valor formado pela soma entre as componentes de nível e tendência para um determinado período, conforme a equação (16). Para os componentes já considerados no método de suavização com tendência de Holt, nível e componente de tendência, os valores iniciais são estimados da mesma maneira. Já as componentes de sazonalidade são dependentes do número de valores considerados dentro de um mesmo ciclo de demanda (MENTZER; BIENSTOCK, 1998). No caso específico de um ciclo anual e demandas mensais, os doze primeiros valores da componente de sazonalidade (calculada através da equação (15)) são obtidos ignorando a segunda parcela da equação, onde há

a multiplicação pela componente sazonal do mesmo período do ciclo passado. Portanto, a equação (15) é simplificada, tornando-se:

$$S_t = \gamma * \frac{D_t}{N_t} \quad (19)$$

onde N_t é a estimativa do nível da série no período t , S_t . É a componente sazonal relacionada ao momento t , D_t é a demanda do período atual e γ é o parâmetro utilizado para a suavização da sazonalidade.

2.2.3. Otimização dos Parâmetros de Suavização

Como se pôde perceber nas equações apresentadas para cada um dos métodos quantitativos que têm por princípio a suavização exponencial, estão presentes parâmetros de suavização, representados pelas letras gregas α , β e γ . O valor escolhido para cada um deles influencia diretamente os valores que serão obtidos na previsão de demanda. Portanto, é necessário que sejam utilizados parâmetros que traduzam da melhor forma o cenário real que o modelo procura representar.

Makridakis (1998) diz que com a evolução dos computadores utilizados com estes fins, é possível utilizar-se de algoritmos não-lineares que buscam, dentre vários valores, qual é aquele que traz o menor erro de previsão. O tipo de erro de previsão analisado pode variar de acordo com o objetivo da previsão de demanda. O item 2.3 detalha os tipos de erro de previsão.

Um cuidado a ser tomado quanto à otimização dos parâmetros de suavização seria um trabalho mais concentrado na etapa de inicialização dos valores, processo descrito no item 2.2.2, a fim de se obter estimativas boas de valores iniciais. A partir daí, utilizar-se-ia de parâmetros de suavização restritos a valores mais baixos, o que faria o modelo ser menos reativo a mudanças na série histórica, mas seria compensado pelos ganhos em velocidade de processamento durante a otimização.

2.3. ERROS DE PREVISÃO DE DEMANDA

Um aspecto importante que deve ser considerado no processo de previsão de demanda é a possibilidade de se medir matematicamente a assertividade da mesma. Para Makridakis (1998), a assertividade da previsão, tida como o quanto bem o modelo de previsão representa a série de dados já conhecida, pode ser utilizada inclusive para a escolha entre diferentes modelos de previsão.

Além disso, as medidas de erro utilizadas para a avaliação da previsão serão utilizadas para mostrar para a empresa o grau de confiabilidade atingido com o modelo escolhido, o que deve também ser considerado como riscos em decisões de compra de matéria-prima excedente ou para a formação de estoques de segurança.

O erro de previsão em um período, medida básica para todos os métodos de avaliação de erros a seguir expostos, é dado pela fórmula

$$E_t = D_t - P_t \quad (20)$$

onde D_t é a demanda real no período t e P_t a previsão de demanda fornecida pelo modelo analisado, para o período t .

De acordo com Mentzer, Bienstock (1998), os métodos de avaliação da previsão de demanda devem levar em consideração dois aspectos fundamentais do erro calculado:

- Valor Absoluto do Erro: utilizado para percepção de quanto grande é o risco e o impacto de decisões relacionadas a essa previsão.
- Valor Relativo à Demanda Real: este aspecto tem como função a comparação entre previsões por diferentes métodos e também a comparação entre previsões de séries que tenham seus valores absolutos muito discrepantes.

Esses aspectos são considerados em muitos métodos de avaliação de previsão, conforme mostrado a seguir.

Erro Médio (EM)

O Erro Médio (*Mean Error*) é a média móvel do erro de previsão para o período que se deseja analisar:

$$ME = \sum_{i=t+1-N}^t E_i / N \quad (21)$$

onde E_i é o erro de previsão do período i , N é o número de períodos passados considerados na avaliação e t é o último período analisado.

Erro Absoluto Médio (EAM)

A medida de Erro Absoluto Médio (*Mean Absolute Error*) é uma adaptação da medida de Erro Médio, considerando apenas os valores absolutos dos erros de previsão. Com isso, evita-se que erros positivos e negativos se cancelam quando um período de alguns meses é considerado.

$$MAE = \sum_{i=t+1-N}^t |E_i| / N \quad (22)$$

onde $|E_i|$ é o erro absoluto de previsão do período i , N é o número de períodos passados considerados na avaliação e t é o último período analisado.

Erro Quadrático Médio (EQM)

A medida de Erro Quadrático Médio (*Mean Squared Error*) também evita que erros positivos e negativos se anulem, à medida que considera o quadrado do erro de previsão para seu cálculo. Além disso, por se utilizar do quadrado do erro, esta medida é mais sensível ao erro, já que um incremento no erro de previsão é tomado exponencialmente na avaliação.

$$MSE = \sum_{i=t+1-N}^t E_i^2 / N \quad (23)$$

onde E_i^2 é o erro de previsão do período i elevado ao quadrado, N é o número de períodos passados considerados na avaliação e t é o último período analisado.

Erro Percentual (EP)

A medida de Erro Percentual (*Percent Error*) pode ser tomada como a medida básica de acerácea da previsão de demanda em termos relativos ao que seria uma previsão perfeita, ou seja, o valor seria igual a zero caso a previsão fosse certeira.

$$PE = 100 * (E_t)/D_t \quad (24)$$

onde E_t é o erro de previsão do período t e D_t é a demanda real do período t .

Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM)

A medida de Erro Percentual Absoluto Médio (*Mean Absolute Percent Error*) é análoga ao Erro Absoluto Médio, no que diz respeito a desconsiderar o fato do erro de previsão ser positivo ou negativo, impedindo que o erro de previsão seja diminuído por soma de valores com sinais opostos. Além disso, por se tratar de uma média de valores de erros percentuais absolutos, permite que uma quantidade variada de períodos seja analisada na avaliação da previsão.

Um caso específico seria o do *Year-to-date MAPE (YTD MAPE)*, que considera os valores de erro percentual do último ano.

$$MAPE = \sum_{i=t+1-N}^t |PE_i|/N \quad (25)$$

$$YTD\ MAPE = \sum_{i=t-11}^t |PE_i|/12 \quad (26)$$

onde PE_i é o erro percentual de previsão do período i , N é o número de períodos passados considerados na avaliação e t é o último período analisado.

Erro Percentual Absoluto Médio Ponderado

A medida de Erro Percentual Absoluto Médio Ponderado (*Weighted Mean Absolute Percent Error*) tem como diferença para o *MAPE* o fato de dar maiores pesos para os erros cujas demandas apresentam maiores amplitudes, o que pode se tornar uma vantagem quando esta demanda for nula ou próxima de zero, o que faria com que o *MAPE* fosse indeterminado ou apresentasse valores elevados, distorcendo a avaliação do método de previsão.

$$WMAPE = \sum_{i=t+1-N}^t (|PE_i| * D_i) / \sum_{i=t+1-N}^t D_i \quad (27)$$

onde PE_i é o erro percentual de previsão do período i , N é o número de períodos passados considerados na avaliação, D_t é a demanda real do período t e t é o último período analisado.

Os conceitos apresentados no presente capítulo foram utilizados com a finalidade de se obter uma base teórica para a construção da solução do problema apresentado no capítulo 1, como os diferentes tipos de erro de previsão que podem ser utilizados para medir a melhoria do processo de previsão após o projeto.

O capítulo seguinte traz o diagnóstico realizado na área foco de estudo do projeto, feito através da aplicação dos conceitos teóricos aqui demonstrados.

3. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

Este capítulo traz uma análise de algumas informações diretamente relacionadas ao processo atual de previsão de demanda praticado na empresa e o diagnóstico dos possíveis pontos de melhoria percebidos à primeira vista, descritos brevemente no primeiro capítulo. A presente etapa do trabalho tem, também como objetivo, detalhar esses pontos e, por fim, estabelecer qual solução deve ser adotada para cobrir ao máximo tais problemas percebidos.

3.1. PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

3.1.1. Definição e sequenciamento dos semi-acabados a serem produzidos

A parada das máquinas produtoras de papel (primeira etapa) por falta de produtos é altamente indesejável, o que faz com o planejador construa o Plano Mestre de Produção (MPS) visando preencher a capacidade produtiva das máquinas com materiais semi-acabados. Esses semi-acabados são planejados antes de se conhecer a demanda dos materiais acabados, com base em previsões dos produtos finais. No entanto, deve-se tentar atender ao máximo às necessidades dos clientes, em quantidade e mix de produtos que poderão ser produzidos com os semi-acabados programados.

Dado o atual processo de estruturação do MPS dos materiais acabados, é ideal que a previsão da demanda dos materiais semi-acabados seja bem feita para que isso aconteça. Se a previsão dos semi-acabados, por item, for abaixo do real, pode haver falta de seus respectivos acabados. No sentido oposto, se a previsão for superdimensionada, o estoque de produtos acabados corre o risco de ficar mais alto do que o que se espera.

O processo de planejamento da produção de papel das dez máquinas atualmente disponíveis começa em um procedimento mensal, no qual é feita a previsão de demanda para o mês seguinte. A previsão é feita em quatro etapas (Planos), através de um software chamado Speedpaper, que tem integração direta com o sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) utilizado pela empresa. A previsão inicial, basicamente qualitativa, é feita pelos gerentes comerciais de cada Divisão Comercial, no chamado Plano Meta. Na etapa seguinte, o Plano Executivo, os executivos de venda (colaboradores responsáveis por efetuarem a venda dos

produtos propriamente dita) fazem correções nos valores indicados pelos gerentes, com o sentimento mais próximo ao cliente que possuem. No Plano Gerência, os gerentes fazem a validação do Plano Executivo.

Idealmente, segundo procedimento da organização, a previsão deveria ser feita em um nível muito detalhado, conhecido como item DFU(*Demand Forecast Unit*). O item DFU traz informações de família, gramatura, largura, comprimento, cor, e acabamento. Além dessas características do papel, teria de se efetuar a previsão da demanda indicando os clientes para os quais o papel será vendido. Embora o sistema tenha sido construído para que o planejamento fosse feito em cima do nível mais detalhado, não é raro que as previsões sejam feitas em um nível agregado, como apenas cliente e família. Quando isso ocorre, o sistema tem uma ferramenta que desdobra os valores em todos os níveis acima mencionados, com base em históricos de faturamentos anteriores contidos nas bases dos sistemas.

Outra característica do sistema é permitir que as previsões sejam feitas para os próximos quatro meses, com intuito de auxiliar as decisões da área de PCP, já que, assim, é possível que haja um melhor enfoque em compra de matérias-primas ou possíveis estratégias de produção, como revezamento mensal da produção de produtos diferentes e produções voltadas à reposição de um estoque que virá a ser consumido em meses futuros.

Simultaneamente, a área responsável pela programação das máquinas gera cotas de produção para cada uma das divisões, baseado nos dados de previsão de faturamento e estoque contidos no relatório de *Rolling Forecast* do mês anterior, em cada uma das máquinas, por divisão comercial e linha de produto. O relatório de *Rolling Forecast* é mensalmente feito com participação de diversas áreas da empresa e contém informações detalhadas de Produção, Vendas e Estoque, com dados atualizados dos meses já passados e previsões até o final do ano corrente. As cotas de produção são porcentagens da capacidade de cada máquina cedidas para as Divisões Comerciais.

Com os dados colocados no sistema pela equipe de vendas e as cotas de produção definidas para cada divisão comercial e linha de produto nas máquinas, a área de PCP deve, com conhecimento intrínseco, definir em que máquinas serão produzidos cada um dos conjuntos família-gramatura. A maioria das famílias são produzidas em máquinas específicas, mas, como em alguns casos a máquina em que o produto é fabricado não altera suas características finais,

sua produção deve ser distribuída pelas máquinas, de acordo com o julgamento dos colaboradores responsáveis por fazer o MPS dos produtos semi-acabados, mostrado na Tabela 5

Tabela 5 –MPS dos semi-acabados, da Máquina B5 para Conversão e Distribuição

Linha Produto	Família	Família Gramatura	Conversão			Distribuição		
			B	F	Total	B	F	Total
Não Revestido	AAA	AAA 120	-	77	77	-	77	77
	AAA Total		-	77	77	-	77	77
Não Revestido Total			-	77	77	-	77	77
Revestido Off	PCG	PCG 095	35	-	35	16	-	16
		PCG 115	-	18	18	-	88	88
		PCG 130	-	-	-	-	-	-
		PCG 150	-	16	16	-	77	77
		PCG 170	-	-	-	16	83	98
		PCG 230	-	16	16	16	163	179
	PCG Total		35	51	86	47	411	459
	PCM	PCM 095	58	-	58	49	17	66
		PCM 115	-	17	17	-	62	62
		PCM 130	-	-	-	-	-	-
		PCM 150	-	20	20	-	56	56
		PCM 170	-	-	-	-	75	75
		PCM 230	-	16	16	-	179	179
	PCM Total		58	53	111	49	388	437
Revestido Off Total	PGW	PGW 115	29	-	29	16	-	16
		PGW 150	23	-	23	-	-	-
		PGW 170	16	-	16	16	-	16
	PGW Total		69	-	69	31	-	31
	PMW	PMW 115	34	-	34	16	-	16
		PMW 150	-	-	-	16	-	16
		PMW 170	-	-	-	-	-	-
	PMW Total		34	-	34	31	-	31
	Total Geral		195	104	299	159	799	958
			195	181	376	159	877	1.036

Além disso, é necessário que os volumes colocados como demanda para o mês pela área comercial sejam ajustados para que se encaixem à capacidade de produção das máquinas e aos lotes mínimos de produção, definidos pela área de análise e programação das máquinas. Esta etapa, idealmente, deveria ser feita em conjunto com uma análise detalhada do estoque, a fim de evitar que sejam produzidos conjuntos família-gramatura com alto volume estocado. Esta análise hoje, como por vezes é mal feita, acaba fazendo com que o MPS busque atender a necessidade bruta de alguns itens semi-acabados, gerando um estoque que assim, só tende a crescer.

Com os valores previstos ajustados à capacidade de produção das máquinas, é montado um MPS dos semi-acabados preliminar, que contém como informações quais serão os semi-acabados produzidos, em que máquinas e formatos de venda (este aspecto é dependente da capacidade das cortadeiras e das máquinas que realizam acabamentos, já que a capacidade de produção de bobinas nas máquinas que fabricam o papel é consideravelmente maior do que as

máquinas de acabamento). Com este plano preliminar em mãos, a equipe de programação das máquinas monta curvas preliminares de produção para cada uma das máquinas, com a utilização do *software* Optivision, que tem em suas bases de dados informações dos parâmetros de produção, tanto das máquinas como de cada um dos produtos. As curvas de produção trazem em qual sequência os semi-acabados entrarão nas máquinas, de acordo com padrões operacionais das mesmas, como mostrado na Tabela 6.

A curva de produção é dividida em blocos de produção. O bloco de produção é caracterizado pela produção de um único semi-acabado. A cada alteração do semi-acabado produzido, cria-se um novo bloco de produção. Para cada bloco, a curva de produção traz informações de momento de entrada e saída da linha de produção, além de qual a quantidade, em massa, de cada semi-acabado produzido, em bobina e outros formatos.

Tabela 6 - Exemplo de Curva de produção da Máquina B5

ID Máquina	Num. Bloco	Bloco	Início do Bloco	Fim do Bloco	Peso Planejado	Peso Bobina	Peso Outros Formato
5	5149	BAG5100BR	18/11/2010 14:47:45	18/11/2010 15:46:08	48.895	-	48.895
5	5178	BAM5093BR	18/11/2010 15:46:08	21/11/2010 07:26:17	642.710	-	642.710
5	5161	BAG5093BR	21/11/2010 07:26:17	21/11/2010 19:44:59	137.989	-	137.989
5	5179	AAA5120BR	21/11/2010 19:44:59	22/11/2010 01:16:31	59.360	-	59.360
5	5151	BAG5070BR	22/11/2010 01:16:31	26/11/2010 22:33:38	802.802	772.655	30.147
5	5186	BAM5070BR	26/11/2010 22:33:38	28/11/2010 08:04:22	255.030	72.093	182.937
5	5150	AAA5120BR	28/11/2010 08:04:22	28/11/2010 20:46:54	136.525	-	136.525
5	5152	AAA5120BR	28/11/2010 20:46:54	30/11/2010 17:00:02	475.019	-	475.019
5	5153	BAG5093BR	30/11/2010 17:00:02	01/12/2010 04:53:17	120.000	-	120.000

As curvas preliminares são levadas à reunião mensal de Carga Máquina para serem analisadas e criticadas por uma equipe formada pelos gerentes comerciais e do PCP. São feitas então negociações de cotas em máquina de acordo com a necessidade de cada divisão comercial e os volumes a serem produzidos em cada máquina por família e gramatura são revisados.

Após a reunião de Carga Máquina, ocorre a última das quatro etapas de previsão de demanda pela área comercial, o Plano Revisão, durante o qual, de acordo com as alterações definidas durante a reunião, os volumes previstos são revisados e, finalmente, são fechados e voltam à equipe de PCP, que farão os últimos ajustes, considerando, por exemplo, se todas as negociações ocorridas na reunião de Carga Máquina foram cumpridas no Plano Revisão e se os lotes mínimos de produção para cada semi-acabado estão sendo respeitados.

É então montado o Plano Definitivo de Produção, com o mesmo detalhamento do Plano Preliminar. No entanto, este plano é utilizado como base para que o Optivision monte as curvas de produção definitivas para as máquinas. Essas curvas vão ser usadas para, dentre outras coisas, basear as compras de matérias-primas e situar a área comercial da data que cada produto ficará pronto para a venda. Um fluxograma deste processo está representado pela Figura 5.

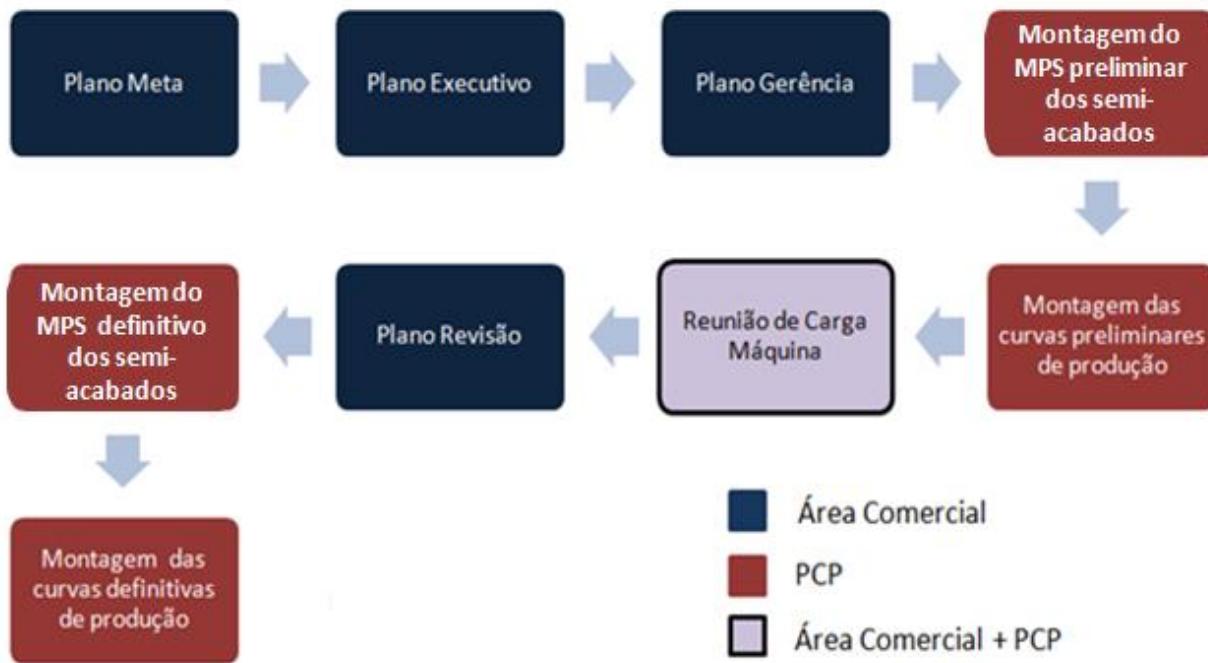


Figura 5 - Processo de Planejamento dos semi-acabados a serem produzidos

O MPS definitivo dos semi-acabados será usado também para a preparação da reunião internamente chamada de Reunião de S&OP, cujo foco são as vendas do próximo mês o esperado comportamento dos estoques, dados os volumes produzidos e vendidos.

3.1.2. Definição dos SKUs produzidos

A partir das curvas de produção dos semi-acabados, o próximo passo é definir quais serão os SKUs produzidos, ou seja, a equipe de programação e controle da produção deve, até no máximo quatro dias antes da entrada do semi-acabado na máquina, efetuar o procedimento de fechamento de programa de produção, que consiste exatamente em definir quais são os SKUs que

serão produzidos para ocupar a cota de produção de cada semi-acabado. Os SKUs serão definidos através da colocação de dois tipos de ordens de produção:

- Ordens de venda: são feitos pedidos de produtos que saem das máquinas já destinados a um cliente, podendo ser em formatos padronizados ou especiais. Esses pedidos são colocados no sistema ERP pela equipe comercial assim que uma venda é efetuada. É, neste caso, uma estratégia de produção *assembly to order*. Como mostrado na Tabela 7, esses pedidos trazem informações sobre Divisão Comercial, código do cliente, número sequencial do pedido, descrição do SKU, cidade e país do cliente, código do vendedor, quantidade e preço de venda, além de informações sobre o *status* do pedido (produzido, em máquina, material avariado, etc.)

Tabela 7 - Exemplo de Ordens de Venda

Divisão Comercial	Código do Cliente	Número da Ordem	SKU	Código Vendedor	País de Destino	Cidade	Status	Data do Status	Qtde. Ordem (TON)	Preço (R\$/TON)
Promocional	100320023	321425	SKU 1	VEND01	Brasil	Cidade 01	Produzido	27/05/2011	8	2.451,00
Promocional	100724422	518424	SKU 2	VEND02	Brasil	Cidade 02	Produzido	27/03/2011	14	2.281,00
Conversão	100355670	556293	SKU 3	VEND33	Brasil	Cidade 03	Avariado	19/02/2011	15	2.065,00
Distribuição	100869953	560542	SKU 4	VEND50	Brasil	Cidade 04	Em Produção	23/05/2011	15	2.237,00

- Ordens de processo: neste caso, as ordens são criadas pela equipe de PCP, apenas contendo produtos comumente vendidos pela empresa, a fim de gerar estoque de alto giro. São ordens produzidas para otimizar a boca de saída das máquinas de papel, processo que será detalhado a seguir. Estes tipos de ordens de produção seguem uma estratégia *make to stock* e trazem apenas informações de qual o SKU produzido, a divisão comercial, volume produzido e número sequencial da ordem, como mostrado na Tabela 8. Quando um cliente faz um pedido de algum desses produtos, cabe à equipe comercial verificar qual é o estoque disponível dos mesmos e então, no sistema ERP, criar uma relação do produto ao cliente.

Tabela 8 - Exemplo de Ordens de Processo

Ordem de Processo	Divisão Comercial	Descrição do material	Quantidade da Ordem
745105	Embalagem	NEOE225 B C BR 0960X1500 CO 00305 01 000	17
745106	Promocional	PCM5095 B C BR 0960X1200 CO 00075 01 000	50
745107	Embalagem	NEOE190 B C BR 0720X1200 CO 01016 01 000	10
745108	Embalagem	NEOE190 B C BR 0450X1200 CO 01016 01 000	6
745109	Distribuição	PES2075 F C NT 0660X0960 CO 00500 02 056	24
745110	Promocional	PES2075 F C NT 0660X0960 CO 00500 02 056	24
745111	Embalagem	TWF6250 S C BR 0720X1020 CO 03150 01 025	32
745112	Distribuição	AAA5120 F C BR 0660X0960 CO 00250 02 072	15
745113	Promocional	AAA5120 F C BR 0640X0880 CO 00250 02 072	20
745114	Promocional	AAA5120 F C BR 0660X0960 CO 00250 02 072	15
745115	Embalagem	TWF6225 S C BR 0960X0660 CO 03350 01 025	7

Para que um SKU possa ser produzido a partir de uma ordem de processo, ou seja, para reposição de estoques, é necessário que ele pertença a um grupo de produtos que tenham um formato (largura X comprimento) classificado como Padrão pela empresa. Os produtos que não entram na categoria Padrão são chamados de Produtos Especiais. A Tabela 9 traz exemplos de produtos que, de acordo com sua Linha de Produto e formato, são considerados Padrão.

Tabela 9 - Exemplos de Características que classificam um produto como Padrão

Formato	Linha de Produto	Classificação
48cm X 66cm	Não Revestidos	Padrão
48cm X 66cm	Revestidos Off	Padrão
48cm X 66cm	Revestidos On	Padrão
64cm X 88cm	Não Revestidos	Padrão
64cm X 88cm	Revestidos Off	Padrão
64cm X 88cm	Revestidos On	Padrão
66cm X 96cm	Não Revestidos	Padrão
66cm X 96cm	Papel Cartão	Padrão
66cm X 96cm	Revestidos Off	Padrão

3.1.3. Combinação de pedidos de produção

A próxima etapa do processo de programação da produção é realizada pela equipe de planejamento da produção, que deve, com ordens de venda e processo, fechar blocos de produção, que correspondem, cada um, a um dos conjuntos família-gramatura presentes na curva de produção. Quando um bloco é fechado, as ordens que o compõem são enviadas para a equipe de programação das máquinas, que fazem simulações com diferentes combinações de pedidos, com objetivo de ver qual delas causa a menor perda de papel na boca de saída das máquinas de papel. Isso deve ser feito, pois as máquinas de papel geram, em suas bocas de saída, bobinas muito grandes, conhecidas como jumbo, não vendáveis em sua forma original. Elas devem ser cortadas paralelamente à suas seções transversais, gerando bobinas mais estreitas, que podem ser enfim vendidas, como bobinas, ou, após passarem por máquinas cortadeiras, em produtos de outros formatos. Portanto, as ordens de produção devem possuir itens que, combinados, aproveitem praticamente toda a largura da bobina jumbo. Se, após as simulações, não houver uma combinação satisfatória, ou seja, a perda de papel ainda for muito grande, os blocos de produção retornam à equipe de planejamento da produção, que tem que criar novas ordens para minimizar tal perda. Quando houver uma combinação de pedidos satisfatória, o bloco está definido e será produzido. Um exemplo de combinação de pedidos para otimizar a boca da máquina está na Figura 6

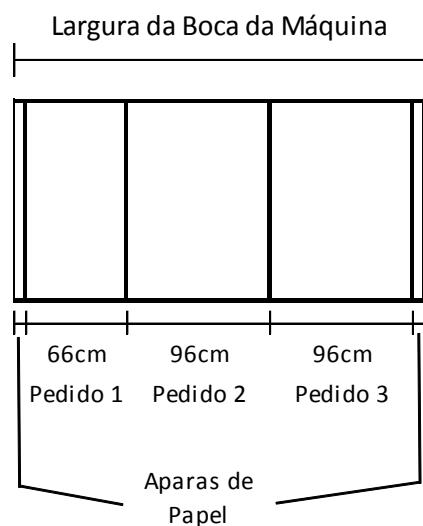


Figura 6 - Exemplo de Combinação de Pedidos para corte da bobina jumbo

3.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS PARA O DIAGNÓSTICO

Para fazer o diagnóstico do atual sistema de previsão de demanda e dos desdobramentos que o mesmo terá em todo o processo de planejamento e controle da produção de papel, foram realizadas entrevistas com funcionários da equipe de PCP da empresa responsáveis pela interface com a área comercial no processo de previsão de demanda e preparação do MPS, além de conversas com gerentes da mesma área e vendedores, responsáveis por fazer a previsão das vendas atualmente. As informações coletadas durante tais entrevistas, aliadas ao conhecimento adquirido pelo autor do projeto neste mais de um ano de estágio realizado na área e à base teórica no segundo capítulo, fomentaram o diagnóstico do atual processo de previsão de demanda da empresa, permitindo a percepção de pontos de possível melhoria.

Quanto aos dados numéricos, a extração foi realizada através de três principais fontes:

- Sistema ERP da empresa (SAP-R3);
- Módulo de Faturamento do SAP, conhecido como BW
- Sistema atualmente utilizado para auxiliar o processo de previsão de demanda (Speedpaper);
- Relatórios publicados pela área de PCP, contendo dados históricos referentes ao estoque, produção e vendas.

3.2.1. Mapeamento dos SKUs ativos

A etapa inicial de coleta de dados se deu através do mapeamento de todos os SKUs da Unidade de Negócios Papel que ainda estão ativos. Isto se deu a partir do sistema ERP utilizado pela empresa. Foram filtrados apenas os SKUs considerados ativos, ou seja, SKUs que apresentaram vendas no período analisado (entre Janeiro de 2009 e Junho de 2011), que possuem algum estoque ou que simplesmente não foram desativados pela área responsável. Foram então encontrados um total de 14.905 itens.

Com a enumeração destes itens, classificou-se os mesmos segundo as informações contidas no código detalhado do SKU, mostrado no Item 1.2.2, como linha de produto, máquina em que foi produzido, família a que pertence, gramatura, formato. Além disso, aos produtos se aplicou a classificação entre Padrão e Especial, de acordo com a possibilidade de produção do

mesmo para reposição de estoque (Padrão) ou se o mesmo foi criado apenas para atender uma demanda pontual de certo cliente (Especial). Esta última separação entre os SKUs, definida pela empresa, é de fundamental importância, pois se for mal feita, pode acabar fazendo com que produtos sem venda constante e classificados como Padrão sejam produzidos e fiquem parados no estoque.

Como o número de SKUs é muito grande e pode acabar tornando muito complexo trabalhar com todos em seu nível máximo de detalhe, foi realizada um estudo a fim de ver quantos SKUs realmente tem importância nos resultados da empresa. Para tal, foi utilizada a ferramenta responsável pelo controle dos dados de venda da empresa, o módulo BW do sistema ERP.

A primeira análise realizada, mostrada na Tabela 10, traz uma classificação dos SKUs ativos de acordo com a participação dos mesmos no volume de vendas médio nos últimos 30 meses. Para tal, os itens foram ordenados pela quantidade vendida no período analisado e foram criadas quatro categorias para alocação dos SKUs, onde os itens (em ordem decrescente de quantidade vendida) que, juntos, são responsáveis por 80% das vendas, foram alocados na categoria A. Os itens que completam 95% das vendas foram categorizados como B. Os outros itens com qualquer venda, responsáveis pelos últimos 5% das quantidade vendida, estão na categoria C e os itens sem qualquer venda na categoria D. Como 42% dos SKUs são responsáveis por 95% do volume vendido, pode-se concluir que os quase 15.000 SKUs listados não precisam ter o mesmo tratamento, ou seja, uma opção para simplificar o tratamento seria focar em apenas uma parcela dos materiais, a responsável pela maior fatia das vendas da empresa.

Tabela 10 –Classificação dos SKUs ativos baseada no volume de vendas, em Ton

Limite Inferior	Limite Superior	Classificação	Número de SKUs	Porcentagem sobre Total	Porcentagem Acumulada
0%	80%	A	2.119	14%	14%
80%	95%	B	4.172	28%	42%
95%	100%	C	7.626	51%	93%
100%	100%	D	988	7%	100%
Total			14.905	100%	100%

A Tabela 11 mostra qual é a frequência de vendas dos SKUs ativos. Analisando-a, percebe-se que dos 14.905 SKUs ativos, apenas 138, ou menos de 1% apresentaram vendas em

todos os meses analisados, enquanto 92% apresentaram vendas em no máximo 15 dos 30 períodos em questão e 7% ou 988 SKUs não tiveram qualquer volume vendido.

Tabela 11 – Frequência de vendas nos últimos 30 meses, para os SKUs

Períodos com venda	Número de SKUs	%
30	138	1%
26 - 29	171	1%
21 - 25	318	2%
16 - 20	436	3%
11 - 15	768	5%
6 - 10	1895	13%
1 - 5	10191	68%
0	988	7%
Total	14905	100%

3.2.2. Agrupamento dos SKUs

Está claro que o nível mais detalhado do SKU é importante, pois traz informações não só do produto em si, mas também de rastreabilidade e logística (máquina em que foi produzido e características da embalagem, respectivamente). No entanto, para outros processos, algumas informações tornam-se desnecessárias. No caso do planejamento mestre dos semi-acabados, o que realmente se faz importante são características físicas do papel, como a família do mesmo, gramatura, formato de venda e cor, por exemplo. Uma das opções para se fazer o agrupamento dos SKUs em item de menor detalhe, portanto, seria o conjunto família-gramatura, aliado ao formato de venda (bobina ou folhas). Este agrupamento se torna elegível a partir do momento que é neste nível em que é feito o Programa Mestre de Produção dos semi-acabados, ou seja, se uma previsão de vendas neste nível de agrupamento for bem feita, pelo menos a quantidade a ser produzida de cada um será aderente às vendas. A decisão de outras características, como dimensões de corte e quantidade por embalagem, por exemplo, seriam decididas no momento da colocação dos pedidos, como ocorre atualmente. A relação entre alguns SKUs e seu conjunto Família-gramatura aliado ao formato de venda é mostrada na Tabela 12.

Tabela 12 – Exemplos de relação SKUs x Semi-Acabados

SKU	SEMI-ACABADO
RHQ7075 C C BR 0210X0297 RM 00500 10 048	RHQ075F
AAAA075 B C BR 0840X1000 LD 00076 01 000	AAA075B
AAAA056 B C BR 1005X1400 CO 00152 01 000	AAA056B
CPXB075 C C BR 0210X0297 CX 00500 10 056	CPX075F
PRFM075 B C BR 0446X1200 CO 00076 02 000	PRF075B
ROC1075 C C NT 0210X0297 R2 00500 05 050	ROC075F

Ao agrupar os SKUs de acordo com seus respectivos semi-acabados, a quantidade de itens cai para 492, sendo que, conforme mostrado na Tabela 13, menos de um terço dos itens (32%) representa 95% do volume de vendas de papel da empresa. A mesma análise feita para os materiais acabados e detalhada no item 3.2.1 foi feita para os semi-acabados, e o resumo da mesma está na Tabela 13.

Tabela 13 – Classificação dos semi-acabados baseada no volume de vendas, em Ton

Limite Inferior	Limite Superior	Classificação	Número de SKUs	Porcentagem sobre Total	Porcentagem Acumulada
0%	80%	A	71	14%	14%
80%	95%	B	88	18%	42%
95%	100%	C	285	58%	93%
100%	100%	D	48	10%	100%
Total			492	100%	100%

Tabela 14 - Frequência de vendas nos últimos 30 meses, para os semi-acabados

Períodos com venda	Número de Itens	%
30	121	25%
26 - 29	19	4%
21 - 25	55	11%
16 - 20	48	10%
11 - 15	41	8%
6 - 10	64	13%
1 - 5	96	20%
0	48	10%
Total	492	100%

Com o agrupamento família-gramatura, mais o formato de venda integrado, o número de itens cai muito e, se atacados apenas os itens com maior participação nas vendas, os itens para serem previstos não são muitos, podendo haver um controle, senão individual, muito próximo dos itens. Portanto, a previsão de demanda pode ser realizada para esse nível de agrupamento de SKUs, o de produtos semi acabados.

3.3. SÍNTESE DO DIAGNÓSTICO E SOLUÇÃO PROPOSTA

Antes de se dar início ao capítulo dedicado ao detalhamento da solução, é importante que se faça uma síntese do diagnóstico da atual situação da empresa e, além disso, mesmo que em linhas gerais, propor um modelo de solução que deverá ser adotada para amenizar o problema descrito no capítulo 1.

3.3.1. Estratégia de Produção

Dentre as estratégias de produção estudadas no capítulo 2 e a partir da análise da atual situação da empresa, percebe-se que a estratégia de produção adotada pela empresa é uma variação da estratégia de Montagem contra Pedidos (ATO), já que a produção é feita em dois estágios, sendo que para o primeiro pode-se fazer um Programa Mestre de Produção a partir da previsão de demanda. Então, para que se chegue aos SKUs em seu estágio final, para serem

vendidos, é necessário que os produtos passem por uma segunda etapa de produção, esta acionada a partir dos dois tipos de pedidos descritos no item 3.1.2.

A principal diferença entre a definição formal de um sistema de produção *ATO* e a estratégia adotada pela Suzano está no fato de que, na bibliografia, após a primeira etapa de produção, é formado um estoque de componentes a serem montados de acordo com os pedidos de venda e, na companhia estudada, são produzidos grandes rolos de papel que serão cortados em seus formatos de venda de acordo com os pedidos. Esses rolos, no entanto, não ficam estocados, mas, como é possível realizar o acompanhamento das curvas de produção (que trazem a data que tais rolos terão suas produções finalizadas), a equipe de vendas e a equipe de PCP devem, com uma antecedência mínima de quatro dias úteis, colocar as ordens de corte de tais rolos, o que seria a segunda grande etapa da produção em um sistema *ATO*.

3.3.2. Fluxo do Processo de Previsão de Demanda

No que diz respeito ao processo de Previsão de Demanda, percebe-se que, quando a previsão é iniciada pela equipe comercial, mesmo que cada Divisão Comercial faça a previsão de sua demanda (o que teoricamente deveria apresentar poucos erros, já que a carteira de clientes para cada uma não apresenta grande variação com o passar do tempo), os valores de erro são muito altos. Nos últimos três meses analisados para a realização do diagnóstico, entre Abril e Junho de 2011, como se vê na Tabela 15, foi obtido um MAPE médio de 34% na previsão de vendas dos 15 principais produtos semi-acabados da empresa, o que é preocupante, já que estes são responsáveis por uma parte considerável do faturamento da empresa e, assim, deveriam ter a demanda muito bem conhecida pela equipe comercial.

Tabela 15 - MAPE dos 15 produtos mais vendidos nos três últimos meses analisados

Produto	MAPE - Abril/2011	MAPE - Maio/2011	MAPE - Junho /2011	MAPE Médio Abr, Mai, Jun/2011
Produto 1	10%	13%	48%	24%
Produto 2	24%	1%	7%	11%
Produto 3	34%	19%	24%	26%
Produto 4	23%	56%	46%	42%
Produto 5	30%	13%	58%	34%
Produto 6	38%	9%	84%	44%
Produto 7	92%	15%	20%	43%
Produto 8	92%	93%	90%	92%
Produto 9	33%	65%	12%	37%
Produto 10	12%	14%	29%	19%
Produto 11	44%	13%	24%	27%
Produto 12	18%	66%	24%	36%
Produto 13	17%	25%	48%	30%
Produto 14	12%	1%	74%	29%
Produto 15	8%	30%	1%	13%
Média	33%	29%	39%	34%

Quando são analisadas as previsões dos três principais semi-acabados de cada Divisão Comercial, era esperado que o erro no processo fosse menor, já que as mesmas são completamente dependentes de tais produtos e, assim, deveriam ter o total conhecimento sobre a demanda desses produtos, o que lhes daria vantagens quando fosse necessária uma negociação com os clientes ou mesmo com a equipe de PCP. Contudo, a Tabela 16 mostra que o valor médio do MAPE desses produtos nos últimos três meses analisados sobe para 38%. No entanto, esta análise possibilita a percepção de que algumas divisões realizam a previsão de uma forma mais assertiva que outras. Enquanto o MAPE médio dos três principais produtos da Distribuição foi de 18%, este valor sobe para 66% quando a Divisão Comercial é a América.

Tabela 16 - MAPE dos 3 produtos mais vendidos por Divisão

Divisão	Produto	MAPE - Abril/2011	MAPE - Maio/2011	MAPE - Junho /2011	MAPE Médio Abr, Mai, Jun/2011
América	Produto 1- América	2%	9%	42%	17%
	Produto 2- América	15%	28%	27%	23%
	Produto 3- América	70%	28%	58%	52%
Consumo	Produto 1- Consumo	7%	7%	44%	19%
	Produto 2- Consumo	11%	36%	60%	36%
	Produto 3- Consumo	46%	28%	18%	31%
Conversão	Produto 1- Conversão	27%	14%	10%	17%
	Produto 2- Conversão	5%	9%	29%	14%
	Produto 3- Conversão	229%	49%	51%	110%
Distribuição	Produto 1- Distribuição	11%	28%	15%	18%
	Produto 2- Distribuição	8%	10%	47%	22%
	Produto 3- Distribuição	23%	9%	11%	14%
Embalagem	Produto 1- Embalagem	17%	25%	48%	30%
	Produto 2- Embalagem	12%	1%	74%	29%
	Produto 3- Embalagem	8%	30%	1%	13%
Europa	Produto 1- Europa	21%	2%	30%	17%
	Produto 2- Europa	45%	5%	15%	22%
	Produto 3- Europa	21%	15%	49%	28%
Promocional	Produto 1- Promocional	0%	100%	100%	67%
	Produto 2- Promocional	64%	16%	64%	48%
	Produto 3- Promocional	9%	26%	67%	34%
SPP + KSR	Produto 1- SPP + KSR	35%	42%	79%	52%
	Produto 2- SPP + KSR	53%	62%	259%	125%
	Produto 3- SPP + KSR	3%	38%	27%	22%
ME Venda Direta	Produto 1- ME Venda Direta	52%	1%	63%	39%
	Produto 2- ME Venda Direta	100%	0%	82%	61%
	Produto 3- ME Venda Direta	17%	113%	100%	77%
Média		34%	27%	54%	38%

3.3.3. Definição do Modelo Utilizado na Solução

Dado o diagnóstico acima detalhado, percebeu-se a necessidade da criação de um modelo de previsão de demanda que possa ser aplicado ao ambiente da empresa, a fim de contemplar todas as características do mercado de uma indústria fabricante de papel. Com o modelo desenvolvido, espera-se que os valores de erro de previsão sejam reduzidos se comparados aos valores atingidos com o atual processo de previsão de demanda. Além disso, a solução deverá fornecer uma base de informações essenciais para dois processos principais que devem acompanhar a previsão quantitativa:

- Validação dos números gerados através dos modelos matemáticos;
- Previsão qualitativa de itens que não apresentam séries históricas com características que permitam a previsão quantitativa.

Conforme descrito no item 3.3.1, a empresa apresenta como estratégia de produção uma variação da estratégia *ATO* e, conforme discutido no item 3.2.2, o agrupamento dos SKUs em família, gramatura e formato de venda é favorável além de definir um semi-acabado da empresa. Portanto, o modelo de previsão deverá ser desenvolvido para os produtos semi-acabados.

O detalhamento da solução e todas as características da mesma, justificadas pelo diagnóstico realizado no presente capítulo estão no capítulo 4.

4. PROPOSTA DE MODELO DE PREVISÃO

Este capítulo tem como objetivo detalhar como foi construída a solução para o problema formulado no item 1.3, baseando-se no estudo bibliográfico do capítulo 2 e no diagnóstico do capítulo 3. Fica claro que tal solução deve ser aplicável no ambiente atual da empresa, em aspectos econômicos e operacionais.

4.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MODELO

Fase de atuação no processo produtivo: dada a caracterização da empresa como tendo uma estratégia de produção ATO, verificou-se que seria interessante atuar na fase de produção dos materiais semi-acabados, ou seja, a fase entre o acabamento e o redimensionamento dos rolos jumbo em bobinas menores ou folhas. A Figura 7 mostra, no processo de produção, em qual nível a demanda pelo semi-acabado será prevista.

A partir deste estágio, a programação dos produtos finais é feita contra pedidos (conforme descrito no item 3.1.2), buscando tanto o cumprimento de prazos quanto a redução de perdas de corte. A definição dos SKUs que devem ser produzidos foge do escopo deste projeto e é feita em um segundo momento, no qual os semi-acabados já estão programados.



Figura 7 – Etapa do Processo produtivo na qual será prevista a demanda

Agrupamento dos SKUs: Pelo fato do nível mais detalhado de descrição dos SKUs trazer informações que, apesar de importantes para outras áreas da empresa, como área Comercial e Logística, não são relevantes na fase de preparação do MPS dos semi-acabados (item 3.1.1),

decidiu-se que o ideal seria agrupar os SKUs de acordo com sua família, gramatura e formato de venda (bobina e folhas). Com essas informações, já é possível ter sensibilidade no que diz respeito às informações necessárias para a produção dos semi-acabados, como compra de insumos e definição de lotes mínimos de produção, além de informações de tendência e sazonalidade nas vendas, relacionadas principalmente à família do papel. Exemplos que podem ser dados são o papel utilizado na produção de cadernos ao final do ano, preparando a volta às aulas do ano seguinte, e o papel cartão utilizado na embalagem de panetones para o Natal.

Classificação dos produtos: A quantidade de produtos considerados como ativos pela companhia é grande demais para que todos recebam um mesmo tratamento, seja pelo tempo que isto demandaria ou mesmo pela variedade desses produtos, em termos de frequência de vendas, quantidade vendida, sazonalidade e tendência de suas vendas. Portanto, decidiu-se, antes da aplicação do modelo de previsão de demanda, classificar os produtos conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Classificação dos produtos presentes no histórico de vendas

Classificação dos produtos	Definição da Classificação
Baixo Volume	Produtos que apresentam, nos períodos com vendas, uma quantidade vendida média menor que o lote mínimo de produção para os mesmos.
Produtos Novos	Produtos que, por serem lançamentos ou ainda estarem em fase de testes, não apresentam uma série histórica grande o suficiente para terem suas demandas futuras previstas através de modelos quantitativos. Por haver menos que 12 meses de dados históricos, estariam ainda na fase de inicialização dos modelos quantitativos.
Maduros	Produtos que apresentam volume de vendas médio maior que o lote mínimo de produção, além de apresentarem quantidade de dados suficientemente grande para a aplicação de todos os métodos considerados no modelo.
Descontinuados	Produtos que, apesar de aparecerem na base histórica de vendas e ainda estarem presentes no estoque, tiveram sua produção estrategicamente cancelada pela empresa, tornando-se desnecessária a previsão de demanda para basear o MPS.

Aproximação da demanda histórica a partir do volume vendido: Hoje não há na empresa uma ferramenta que apresente, para os períodos passados, em qualquer nível de agrupamento, quais foram os produtos realmente demandados pelo mercado, considerando também aquilo que não foi atendido pela empresa. É sabido também, que a capacidade das máquinas é ocupada ao máximo, funcionando em três turnos diários. Sendo assim, a empresa não possui possibilidade de aplicação de turnos ou horas extras para atendimento de demandas pontuais. A capacidade das máquinas é fixa e utilizada ao máximo, o que faz com que a decisão principal na construção do MPS dos semi-acabados seja o *mix* de produtos, ou seja, quanto de cada semi-acabado ocupará da capacidade produtiva da máquina.

Atualmente, a única série de dados histórica através da qual a empresa consegue medir e realizar previsões sobre a demanda por cada semi-acabado é o histórico de vendas dos seus respectivos acabados.

Separação da previsão por Divisões Comerciais: Outro ponto que deve ser levado em conta pela solução desenvolvida é o fato de que a previsão de demanda deve ser estratificada pelas divisões comerciais, ou seja, cada produto tem demandas com comportamentos distintos em cada uma das Divisões Comerciais. Como exemplo, pode ser citado a Divisão Embalagem, que apresenta em seu histórico de vendas alguns volumes pontuais de vendas de papéis revestidos. Se este produto fosse tratado agregado, o volume pontual seria somado a séries históricas de divisões que vendem esse produto com maior frequência, como a Divisão Promocional, influenciando no comportamento histórico da demanda. Neste caso, a previsão de demanda para a Embalagem deveria ser qualitativa, onde provavelmente haveria a ausência de demanda por esse tipo de papel, enquanto que para o Promocional, uma previsão de demanda baseada em modelos quantitativos poderia ser utilizada.

Outro fator que influencia na decisão de se separar as demandas de cada divisão é o fato de que as vendas previstas para os Terminais Externos têm uma defasagem de dois meses em relação à produção. Como o modelo de previsão de demanda visa auxiliar na preparação do MPS, esta defasagem temporal deve ser eliminada, baseando-se a demanda de produção do mês seguinte nas vendas previstas para daqui a três meses.

Por fim, a separação das previsões faz sentido também quando analisada a estrutura da área Comercial, que possui, para cada uma das Divisões Comerciais, diferentes gerentes e

vendedores. Com isso, fica claro que uma posterior fase de análise e previsão qualitativa (para produtos cujas características inviabilizem a previsão matemática baseada em séries históricas) terá um melhor desempenho se for realizada por aqueles que convivem diariamente com o ambiente de cada divisão. Caso a demanda fosse agrupada, não haveria uma equipe com conhecimento específico de toda a carteira de clientes da companhia para efetuar tais análises.

Desenvolvimento do modelo x Implantação de software de mercado: Optou-se pelo desenvolvimento do modelo de previsão utilizando o software Microsoft Excel. Inicialmente, foi cogitada a possibilidade de utilização de softwares de mercado para efetuar a previsão das vendas. No entanto, apesar de a empresa estudada e da área de PCP já possuírem contrato com empresa fornecedora de tais softwares, os custos com consultoria estão orçados para a manutenção dos módulos já incorporados aos processos. A revisão das ferramentas de previsão, hoje desatualizadas, entraria na categoria de desenvolvimento de novas aplicações (ao invés de manutenção), o que é mais caro, segundo o contrato firmado.

Outro motivo pelo qual foi escolhido o desenvolvimento do modelo de previsão de demanda no ambiente do Microsoft Excel foi a maior adaptação dos funcionários da companhia a esta ferramenta, presente no trabalho diário de todos os envolvidos no processo. Em casos anteriores de implantação de ferramentas em outras plataformas nas quais os funcionários não estão acostumados a trabalhar, a resistência por parte dos envolvidos em utilizá-las esteve presente e foi prejudicial no resultado final de projetos. O fato de possíveis adaptações do modelo a mudanças do mercado e ao negócio da companhia poderem ser feitas por funcionários da própria companhia a qualquer momento, sem necessidade de consultoria de terceiros também motivou a utilização de um modelo produzido em Microsoft Excel com base em linguagem VBA.

Por fim, a integração dos produtos gerados pelo modelo com demais processos da empresa é facilitada, já que o Microsoft Excel é a ferramenta básica de trabalho de diversas áreas da companhia. O pré processamento de dados em planilhas eletrônicas para servirem de *input* para o modelo e a integração de novos funcionários, já que o domínio da ferramenta utilizada (Microsoft Excel) é tido como pré-requisito para contratação por parte da companhia.

Esta foi a opção que mais se enquadrou ao momento atual da empresa, mas no futuro pode ser considerado investimento em softwares de mercado, a partir de uma análise detalhada de custos e benefícios.

Horizonte de Planejamento: Para que o modelo de previsão de demanda construído atenda às necessidades da empresa, o mesmo deve ser coerente com o horizonte de planejamento da produção, abrangendo um número de meses a frente suficientemente grande para conter o tempo máximo que um produto leva em toda a cadeia produtiva. São necessários 5 dias úteis para que a equipe de suprimentos possa efetuar, com base no MPS dos produtos semi-acabados, a compra das matérias-primas utilizadas na produção do papel do mês seguinte, além de embalagens plásticas e programação da produção de materiais com caráter industrial, como papel branco para etiquetas e papel para embalar as bobinas vendidas.

Todo o período relativo ao mês seguinte também deve ser contemplado pelo modelo de previsão de vendas, pois é neste período que será efetivamente produzido o semi-acabado que dará origem aos itens vendidos no mês para o Mercado Interno. No caso do Mercado Externo, para as vendas realizadas via terminais nos Estados Unidos e Europa, o que é produzido no mês atual (m) será chegará ao cliente dois meses depois ($m+2$), sendo este tempo necessário para produção, translado até o porto no Brasil, transporte até o porto de destino, transporte até o terminal e, por fim, entrega ao cliente final.

Além desse período de tempo mínimo necessário para que se enxergue toda a cadeia produtiva e de entrega dos produtos da empresa, o modelo desenvolvido permite que um número maior de meses seja planejado, o que se torna interessante em caso de produtos que não têm uma venda tão significativa mensalmente e, por isso, devem ser produzidos bimestral ou trimestralmente, por exemplo. Com isso, o responsável por planejar a produção pode decidir por produzir um pulmão destes produtos em um mês que será consumido nos meses sem produção. Um bom exemplo desse caso é a produção de papéis coloridos, cujas cores são revezadas de acordo com o estoque e a previsão de vendas de cada uma.

4.2. MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA

O modelo de previsão desenvolvido visa atuar sobre os pontos de melhoria identificados no atual processo, de forma a aumentar a proximidade entre os valores previstos e realmente vendidos para os produtos ativos.

A principal alteração do processo de previsão de demanda sugerida foi no fluxo de informações, através da mudança na sequência de atuação das áreas envolvidas.

4.2.1. Fluxo de Informações do Processo Proposto

Inicialmente, a equipe de PCP realiza a coleta de dados históricos de venda através do sistema ERP utilizado pela empresa. Estes dados são extraídos do sistema em uma plataforma estruturada sobre o próprio Microsoft Excel, o que facilita o tratamento dos dados pelos usuários do modelo. Como o sistema é extremamente flexível, permite que os dados sejam agrupados e organizados das mais diversas formas.

Como atividade em paralelo, a equipe de PCP deve efetuar um alinhamento com outras áreas da empresa, como Marketing e Comercial. Com a equipe de Marketing, deve ser verificada a existência de produtos que serão descontinuados em breve ou substituídos por produtos novos, que terão que incorporar seus dados históricos como base para as previsões futuras.

A equipe Comercial deve, por sua vez, fornecer informações de movimentos da demanda que podem ser verificados com antecedência, como o ganho de uma licitação pública que fará com que a demanda por um produto específico naquele mês seja bem maior do que seria em um mês comum. Por ser uma ação pontual e que pode ser prevista pela equipe de vendas, há a possibilidade de informações como esta entrarem em um momento anterior à previsão de demanda, como um parâmetro, aumentando a assertividade da previsão final.

Com informações das outras áreas em mãos, a equipe de PCP deve alimentar o aplicativo desenvolvido com os dados de entrada necessários. Como as características dos mesmos têm alta variabilidade, o modelo deve ser flexível e, portanto, é baseado em alguns parâmetros de entrada definidos pelo usuário que tem o conhecimento do negócio em geral, da atual situação da

empresa e, principalmente, de fatores que influenciarão a demanda do período previsto. A seguir estão descritos os dados de entrada para o funcionamento do aplicativo.

Dados Históricos de Vendas: Extraídos do sistema ERP, os dados históricos de venda serão a base para a classificação dos produtos conforme descrito pela Tabela 17. São estes dados, também, que serão utilizados para os cálculos dos modelos quantitativos de previsão de demanda e gerarão para os responsáveis pelas previsões qualitativas valores de referência. Os dados históricos devem contemplar um período suficientemente grande, de modo que a maioria dos produtos analisados tenham já atingido sua maturidade e possam ter a demanda prevista através dos modelos quantitativos implantados no aplicativo. A Tabela 18 mostra um exemplo de base de dados de venda extraída do sistema ERP, com informações sobre linha de produto do material vendido, Divisão Comercial que efetuou a venda, semi-acabado utilizado para produção do SKU vendido, cliente que comprou o SKU, código e descrição do SKU, data, volume e preço da venda.

Tabela 18 - Exemplo de base de vendas extraída do sistema ERP

Linha de Produto	Divisão Comercial	Semi-Acabado	Cliente	Código SKU	Descrição SKU	Data Venda	Qtde. Vendida (TON)	Preço (R\$/TON)
Cut Size	Consumo	SA 1	Distribuidor 1	20007688	SKU 1	DIA/MÊS/ANO	3.346	1.588,03
Cut Size	Consumo	SA 1	Distribuidor 1	20000547	SKU 2	DIA/MÊS/ANO	2.692	1.669,98
Cut Size	Consumo	SA 1	Distribuidor 2	70004885	SKU 3	DIA/MÊS/ANO	2.480	1.524,97
Não Revestido	Conversão	SA 2	Gráfica 1	20004584	SKU 4	DIA/MÊS/ANO	2.417	1.755,44
Não Revestido	América	SA 3	Cliente 5	21008125	SKU 5	DIA/MÊS/ANO	2.027	1.460,07
Revestido Off	Promocional	SA 4	Cliente 6	20008957	SKU 6	DIA/MÊS/ANO	1.920	1.472,01
Revestido Off	Promocional	SA 4	Cliente 6	70003879	SKU 7	DIA/MÊS/ANO	1.803	1.535,36
Papel Cartão	Embalagem	SA 5	Gráfica 2	20007291	SKU 8	DIA/MÊS/ANO	1.631	2.031,18
Papel Cartão	Embalagem	SA 6	Gráfica 3	20009630	SKU 9	DIA/MÊS/ANO	1.606	1.464,81

Posição de Estoque dos Produtos: Estes dados, assim como os dados históricos de venda, devem ser extraídos do sistema ERP utilizado pela empresa e serão fundamentais para o futuro preparo do MPS, já que o estoque dos produtos é levado em conta no momento da decisão de quanto produzir. O estoque disponível deve ser subtraído da necessidade bruta (previsão de demanda mais a consideração do erro) de produto demandada, restando assim apenas a necessidade líquida por um produto. Se o estoque de um determinado produto consegue atender a demanda prevista para os próximos períodos, por exemplo, sua produção pode ser

momentaneamente postergada. Um exemplo de base de dados com a posição pontual do estoque está representado na Tabela 19, com informações de localização do material, qual semi-acabado foi utilizado para a produção daquele SKU estocado, código sequencial e descrição do SKU, *status* do estoque (disponível para venda, vinculado a cliente, bloqueado, avariado, etc.) e, por final, a quantidade de cada SKU listado em estoque.

Tabela 19 - Exemplo de Posição de Estoques Extraída do sistema ERP

Localização	Semi-Acabado	Código SKU	Descrição do SKU	Status	Qtde. (TON)
Armazém 1	SA 1	20047157	SKU 1	Disponível	33
Armazém 1	SA 1	20042031	SKU 2	Disponível	543
Armazém 1	SA 2	20042031	SKU 3	Disponível	809
Armazém 2	SA 3	20040078	SKU 4	Disponível	57
Armazém 2	SA 3	20011315	SKU 5	Disponível	203
Depósito ABC	SA 5	20010160	SKU 6	Disponível	50
Depósito ABC	SA 5	70002572	SKU 7	Disponível	59
Estoque Fábrica A	SA 6	70002307	SKU 8	Disponível	82
Armazém 1	SA 2	70002304	SKU 9	Bloqueado	74
Terminal EUA	SA 1	21045665	SKU 10	Disponível	940
Porto Santos	SA 7	21045290	SKU 11	Disponível	63

Produtos Descontinuados: Os produtos descontinuados são aqueles que, por definição da empresa, não serão mais produzidos e, portanto, com fins de preparação do MPS, não faz sentido realizar sua previsão de demanda. Esta previsão poderá ser utilizada, no entanto, com finalidade de esgotamento de um estoque antigo, ou, em caso de falta de demanda, na decisão de descarte deste material ou do aproveitamento do mesmo, incorporando-o na massa para a produção de produtos novos.

De qualquer maneira, estes produtos receberão um tratamento diferenciado e, portanto, devem ser discriminados pelo usuário do aplicativo desenvolvido. Tais informações são conseguidas na fase de alinhamento entre as áreas acima descrito. A empresa não tem como característica descontinuar grande quantidade de produtos por mês, o que facilita o controle sobre os produtos descontinuados e torna esta etapa muito rápida e sem grandes impactos com o prazo do processo de previsão de demanda.

Parâmetros dos Modelos Quantitativos: Conforme descrito no item 292.2.1, os modelos de previsão de demanda quantitativos utilizam, de acordo com suas características, parâmetros numéricos predefinidos que tentam refletir da melhor maneira o cenário real enfrentado pela empresa. A otimização destes parâmetros é realizada no aplicativo via programação VBA, com a minimização do erro de previsão para uma quantidade pré-definida de períodos passados. Este erro é recalculado a cada iteração, sendo que a cada uma destas, os parâmetros dos modelos quantitativos são alterados. Portanto, a amplitude do passo de variação de cada um dos parâmetros dos métodos quantitativos também é um dado de entrada para o aplicativo.

A Tabela 20 traz, para cada um dos modelos de previsão quantitativa inicialmente presentes no aplicativo, quais são os parâmetros de entrada que devem ser definidos pelo usuário. Fica claro que o desempenho do aplicativo desenvolvido, no que tange à velocidade de execução e ao menor erro atingido depende desses parâmetros. Como o processo completo de previsão de demanda é pontual no mês, pode-se optar por um número maior de iterações nesta fase, enquanto que, em outros casos, pode-se privilegiar a velocidade de execução da previsão. Esta é a razão para que esses parâmetros sejam definidos como entrada para o modelo.

Tabela 20 – Parâmetros de Entrada para cada Modelo Quantitativo de previsão

Método Quantitativo de Previsão	Parâmetros de Entrada
Média Móvel	Número máximo de Períodos considerados no cálculo da média
Suavização Exponencial Simples	Amplitude do Passo do Parâmetro de Suavização (α)
Suavização Exponencial com Tendência	Amplitude do Passo do Parâmetro de Suavização (α), Amplitude do Passo do Parâmetro de Tendência (β)
Suavização Exponencial com Tendência e Sazonalidade	Amplitude do Passo do Parâmetro de Suavização (α), Amplitude do Passo do Parâmetro de Tendência (β), Amplitude do Passo do Parâmetro de Sazonalidade (γ).

Ativação dos Modelos Quantitativos: Também é o usuário do aplicativo, em um momento inicial, que define quais os métodos quantitativos devem ser considerados na previsão da demanda futura. Como exemplo, se a previsão a ser realizada é interessante apenas para um grupo de produtos que tenham como característica conhecida de sua demanda a sazonalidade (produção de papel para cadernos para o final do ano, por exemplo), pode optar por utilizar apenas o método quantitativo que leva em consideração este fator. O ideal é que todos os métodos sejam testados, mas a velocidade de operação do aplicativo pode ser aumentada com menos métodos ativos. A Figura 8 mostra a tela de ativação dos métodos quantitativos.

Ativo	Métodos
x	Média Móvel
x	Suavização Exponencial
x	Suavização com Tendência
x	Suavização com Tendência e Sazonalidade

Figura 8 – Tela de ativação dos métodos quantitativos de previsão de demanda

Número de Previsões Futuras: Outro parâmetro de entrada definido pelo responsável pela operação do aplicativo desenvolvido é o número de períodos futuros contemplados pelo modelo. Como os modelos quantitativos permitem que a previsão seja estendida matematicamente para quantos períodos futuros forem necessários, é interessante que a empresa tenha, no momento da previsão, uma visão estendida para quantos períodos for conveniente. Como já explicado, uma visão futura estendida pode trazer à empresa vantagens estratégicas.

Períodos Considerados no Cálculo do Erro: O número de períodos utilizados para se calcular a média dos erros dos últimos períodos é mais um parâmetro que pode ser modificado pelo usuário responsável por realizar a previsão de demanda. A Figura 9 traz uma impressão da tela através da qual o usuário do aplicativo desenvolvido pode alterar os parâmetros acima descritos antes de iniciar a utilização do mesmo.

Máximo Períodos Média Móvel	12
Variação Alfa Variação Beta Variação Gama	
Suavização Exponencial	0,01
Suavização com Tendência	0,01
Suavização com Tendência e Sazonalidade	0,1
Períodos considerados para cálculo do MAPE	6
Mês Inicial Último Período	
Mês Inicial	jan/09
Último Período	jun/11
Número Previsões Futuras (Entre 1 e 12)	4

Figura 9 - Tela de Modificação dos parâmetros utilizados na previsão

Após a realização das previsões quantitativas e a separação dos produtos que devem ser analisados qualitativamente, os resultados devem ser enviados para que a equipe Comercial os analise, a fim de validar os valores previstos pelo modelo. Além disso, cabe também à equipe Comercial realizar, com base em dados também fornecidos pelo aplicativo, a previsão qualitativa da demanda futura daqueles itens separados para tal, conforme a Tabela 17.

Feita a análise qualitativa pela área Comercial, a equipe de PCP monta uma versão preliminar do MPS, levando em consideração aspectos como lotes mínimos e capacidade das máquinas. Todos os envolvidos devem se reunir para esclarecimento de possíveis dúvidas geradas durante o processo como um todo e, além disso, possíveis negociações relativas ao cenário que está se estabelecendo para os próximos períodos. Nesta reunião são fechadas quais serão as alterações nos volumes inicialmente previstos e, com isso, já é possível a montagem do MPS definitivo dos materiais semi-acabados.

Após esta reunião, a equipe de PCP monta o MPS definitivo dos materiais semi-acabados para o mês seguinte e o divulga para as áreas envolvidas, inclusive a equipe de compras de insumos de produção e a própria equipe comercial, que apesar de participarem da reunião para fechamento dos volumes a serem produzidos, só terão a visão do que efetivamente será produzido neste momento. A partir do planejamento dos materiais semi-acabados, o processo de definição

dos SKUs a serem produzidos no estágio de acabamento continuaria sendo realizado como é hoje, puxado de ordens de venda e de processo. Assim, o novo processo de programação da produção dos semi-acabados está apresentado na Figura 10.

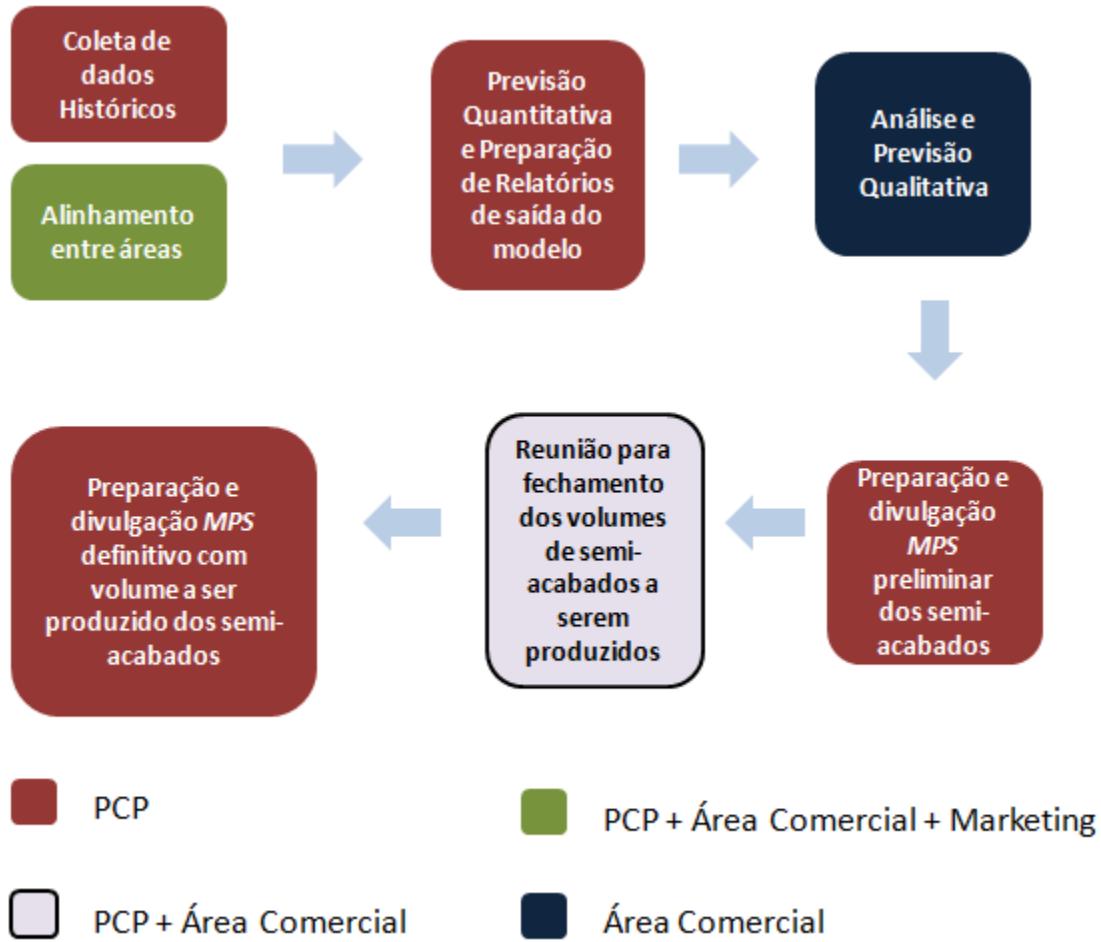


Figura 10 - Novo Processo de preparação do *MPS* dos semi-acabados

4.2.2. Aplicativo desenvolvido para Previsão da Demanda

Conforme explicado no item 4.1, optou-se, por diversos fatores relacionados ao atual momento vivido pela empresa, pelo desenvolvimento de um modelo de previsão de demanda em linguagem VBA dentro do ambiente do Microsoft Excel.

As principais funções do modelo desenvolvido são:

- Organizar os dados históricos de venda;
- Classificar os produtos da empresa de acordo com os dados históricos e por Divisão Comercial;
- Realizar previsão de demanda através dos modelos quantitativos apresentados no item 2.2.1 para aqueles produtos que apresentam dados históricos em quantidade compatível;
- Separar os produtos que devem ser previstos qualitativamente pela equipe comercial;
- Iniciar o processo de preparação do *MPS* dos materiais semi-acabados, fazendo a ligação entre previsão de demanda, estoque, futuras entradas e saídas de cada produto.

Características Fundamentais do modelo Desenvolvido: Duas características foram levadas em consideração durante o processo de desenvolvimento do modelo: **flexibilidade**, ou seja, o modelo é baseado em parâmetros que podem ser alterados pelo usuário que conhece as características da empresa e do mercado no qual a mesma está inserida e, assim, pode utilizar o modelo da forma que represente mais fielmente as características do ambiente simulado; **automatização** da planilha em Microsoft Excel via rotinas programadas em linguagem VBA, para que sejam evitados erros operacionais causados pelos usuários. A linguagem foi escolhida por ser conhecida na empresa e permitir, assim, que novos elementos possam ser incorporados ao modelo conforme a necessidade de adaptação do modelo a mudanças no ambiente da empresa.

Funcionamento Básico da Ferramenta de Previsão Quantitativa: A previsão quantitativa, segundo o modelo adotado, deve ser realizada para todos aqueles produtos classificados como

maduros (produtos com características descritas na Tabela 17) pelo modelo, ou seja, produtos que tenham as seguintes características:

- Histórico de vendas que, que justifique produção nos períodos futuros analisados;
- Não estar descontinuado, ou seja, ser um produto que está no portfólio da empresa e pode ser produzido normalmente se houver a necessidade;
- Quantidade de valores históricos que permitam haver uma fase de inicialização dos modelos adotados (12 valores, no mínimo). Sabe-se que alguns modelos quantitativos (como média móvel e SES) podem ser aplicados para uma série de dados com menor número de valores, mas optou-se por adotar um período de inicialização que complete um ciclo completo (anual, com previsões mensais).

Caso o produto não se enquadre nas características descritas acima, ele terá a sua demanda prevista qualitativamente pela equipe comercial com auxílio de informações fornecidas pelo aplicativo ou, se for um produto descontinuado, será desconsiderado pelo modelo.

Selecionados os itens maduros pelo aplicativo, uma rotina em linguagem VBA prepara uma tela de previsão de demanda para estes produtos. Nesta tela, o usuário tem a possibilidade de selecionar quais produtos terão a previsão de demanda efetuada naquele momento. O usuário pode efetuar a previsão para todos os produtos maduros de uma só vez ou fazer isso por partes, caso seja de sua preferência. Este aspecto permite uma maior flexibilidade de uso do modelo, já que a cada rodada do modelo, o usuário pode redefinir os parâmetros de entrada para valores mais adequados a cada grupo de produtos.

A partir do momento em que são selecionados os produtos cujas demandas serão previstas, aciona-se outra rotina programada em linguagem VBA, que tem como função encontrar qual modelo de previsão e quais parâmetros deste modelo minimizam o erro da previsão na série histórica utilizada. Como saída desta rotina, são apresentados na mesma tela os seguintes dados:

- Previsão de demanda dos próximos n períodos, sendo n predefinido pelo usuário;
- Método Quantitativo que apresentou menor erro;
- Valor Mínimo do Erro encontrado;
- Parâmetros do Método escolhido que minimizaram o Erro.

Os métodos quantitativos contidos no modelo, para que se tente abranger as séries históricas de todos os produtos são:

- **Média Móvel**
- **Suavização Exponencial Simples**
- **Suavização Exponencial com Tendência**
- **Suavização Exponencial com Tendência e Sazonalidade**

A quantidade de períodos considerados no cálculo da média móvel varia buscando a minimização do erro de previsão. Esta variação se dá desde um período, o que equivale a considerar como demanda para o próximo mês a demanda realizada no mês anterior até uma quantidade máxima de períodos definida pelo usuário.

No caso dos métodos de Suavização Exponencial, os parâmetros também são otimizados buscando a minimização do erro de previsão. Os valores testados para os parâmetros apresentados no item 2.2.1 são também definidos pelos passos escolhidos na tela de dados de entrada. Os valores dos parâmetros de suavização, tanto para a ferramenta de previsão simultânea para vários produtos como a ferramenta de previsão isolada, a seguir explicadas, foram limitados entre 0,05 e 0,95, descartando os valores extremos 0 e 1, pois, quando escolhidos ocorre o seguinte:

- 0: as variáveis de base, tendência e sazonalidade não se alteram;
- 1: o novo valor calculado de cada variável é igual ao último.

Da maneira que o modelo está programado inicialmente, a avaliação do melhor método e seus parâmetros ótimos é feita através da busca do menor valor encontrado do Erro Percentual Absoluto Médio (após todas as iterações) nos últimos m meses (conforme explicado no item 4.2.1, m é um valor escolhido pelo usuário). Esta medida de avaliação (MAPE) é a utilizada atualmente na empresa e, até por facilitar o entendimento por parte de quem já usa tal métrica, foi adotada no modelo desenvolvido. Contudo, assim como anteriormente mencionado, esta opção está aberta e pode ser alterada.

Ferramenta de Previsão Quantitativa Detalhada

Além do modelo desenvolvido em linguagem VBA que efetua simultaneamente a previsão de demanda para uma série de produtos selecionados pelo usuário, conforme explicado

no item anterior, foram também desenvolvidos ambientes para que seja efetuada a previsão quantitativa da demanda individualmente, para cada semi-acabado. Para cada um dos quatro métodos quantitativos acima citados como intrínsecos ao modelo, foi desenvolvida uma tela que tem como função detalhar a previsão quantitativa, através da decomposição da previsão em seus componentes, além de permitir ao usuário que varie os parâmetros de cada método de acordo com sua experiência. A Tabela 21 traz, para cada um dos métodos quantitativos utilizados, as informações contidas em sua tela, além dos parâmetros que podem ser mudados pelo usuário do aplicativo em cada caso.

Tabela 21 – Informações e Parâmetros da Previsão Quantitativa Detalhada

Método	Informações Contidas	Parâmetros variáveis
Média Móvel	-Série Histórica de Demanda -Produto cuja demanda está sendo prevista -Valores de Previsão por Período -Erro de Previsão por Período	-Período da Média Móvel
Suavização Exponencial Simples	-Série Histórica de Demanda -Produto cuja demanda está sendo prevista -Valores de Previsão por Período -Erro de Previsão por Período	-Parâmetro α de Suavização Exponencial da Série Histórica de Demanda
Suavização Exponencial com Tendência	-Série Histórica de Demanda -Produto cuja demanda está sendo prevista -Valores de Previsão por Período -Erro de Previsão por Período -Valor da Componente de Nível -Valor da Componente de Tendência	-Parâmetro α de Suavização Exponencial da Série Histórica de Demanda -Parâmetro β de Suavização da Componente de Tendência
Suavização Exponencial com Tendência e Sazonalidade	-Série Histórica de Demanda -Produto cuja demanda está sendo prevista -Valores de Previsão por Período -Erro de Previsão por Período -Valor da Componente de Nível -Valor da Componente de Tendência -Valor da Componente de Sazonalidade	--Parâmetro α de Suavização Exponencial da Série Histórica de Demanda -Parâmetro β de Suavização da Componente de Tendência -Parâmetro γ de Suavização da Componente de Sazonalidade

Por fim, a ferramenta de previsão quantitativa detalhada tem programado, para os modelos quantitativos, o otimizador padrão do Microsoft Excel, o Solver. Segundo Gardner Jr.(2006), não há mais razões que justifiquem a utilização de parâmetros de suavização exponencial arbitrários, já que existem no mercado *softwares* com eficientes algoritmos de busca, como o Excel Solver. A única ressalva feita por Gardner Jr.(2006) é que os valores obtidos pelo Solver podem variar de acordo com o valor inicial escolhido para os parâmetros, portanto é recomendável que sejam utilizados diversos pontos de partida, a fim de evitar mínimos locais. A Figura 11 traz a tela do Excel Solver com a programação para otimizar os parâmetros do Método de Suavização com Tendência e Sazonalidade (Holt-Winters), a fim de minimizar o erro de previsão.

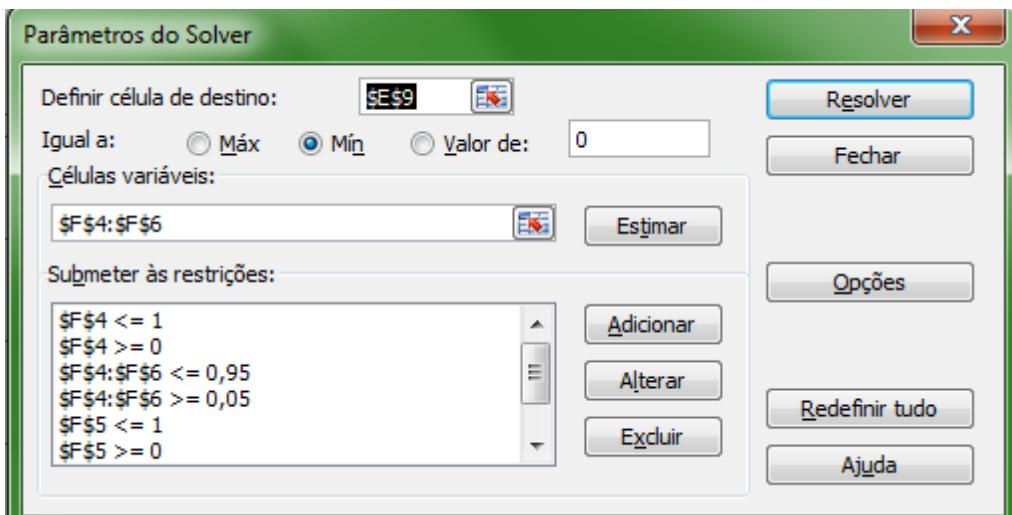


Figura 11 - Tela do Excel Solver para otimização dos parâmetros de suavização

No caso do Solver programado especificamente para o modelo, o objetivo é que se minimize o erro de previsão nos últimos m meses, sendo o valor de m definido pelo usuário na tela de definição dos parâmetros de entrada, mostrada anteriormente na Figura 9.

A Figura 12 traz o *layout* desenvolvido para a ferramenta de previsão de demanda detalhada, no caso do Método de Holt-Winters. Na parte superior esquerda da tela apresentada, está posicionada uma caixa de seleção do produto que terá sua demanda prevista. Através de referências a uma tabela dinâmica gerada pelo programa VBA, os valores históricos são automaticamente preenchidos, na porção azul da tela, localizada à extrema esquerda da mesma.

A tela apresentada ainda traz, em sua parte superior, um espaço onde podem ser variados os parâmetros arbitrariamente pelo usuário, alterando, assim, os valores de previsão e erro calculados durante o período analisado (células em verde). Com isso, também são alterados os valores das componentes da previsão, nível, tendência e sazonalidade (células em amarelo claro). A alteração dos valores contidos em tais células influencia os outros três elementos que compõe a ferramenta de previsão de demanda detalhada: o gráfico à direita da tela (Figura 13), a célula amarela em destaque no centro da tela, que traz o valor do MAPE dos últimos m períodos conforme definido pelo usuário do aplicativo e, principalmente, as células vermelhas na parte inferior da tela, que trazem os valores de demanda previstos para os próximos períodos. Acima do gráfico, está posicionado um botão, cuja função é direcionar o usuário para a tela de alteração dos parâmetros de entrada do modelo, caso isso seja uma necessidade do mesmo.

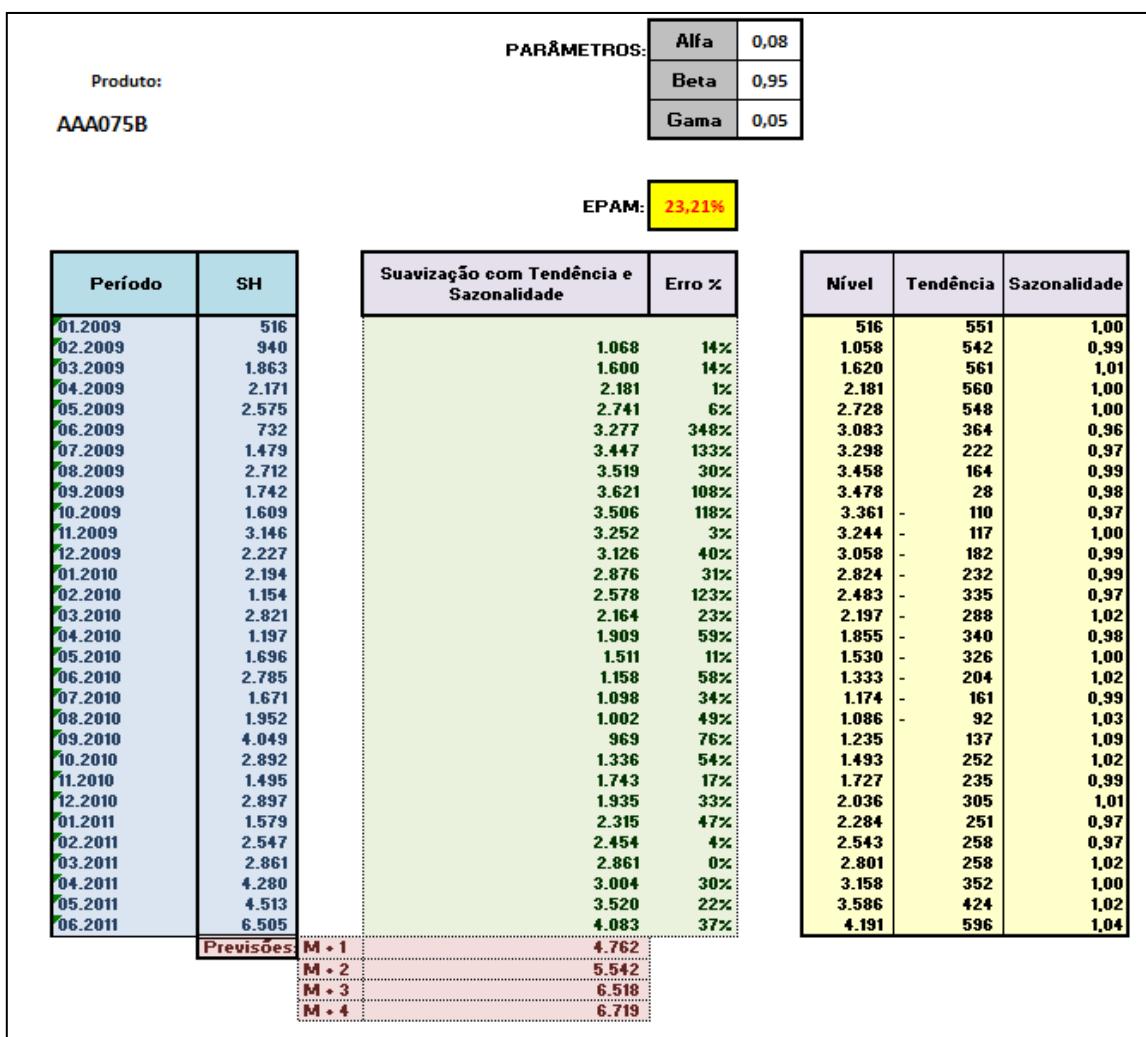


Figura 12 – Tela de Previsão Detalhada do Método de Holt-Winters

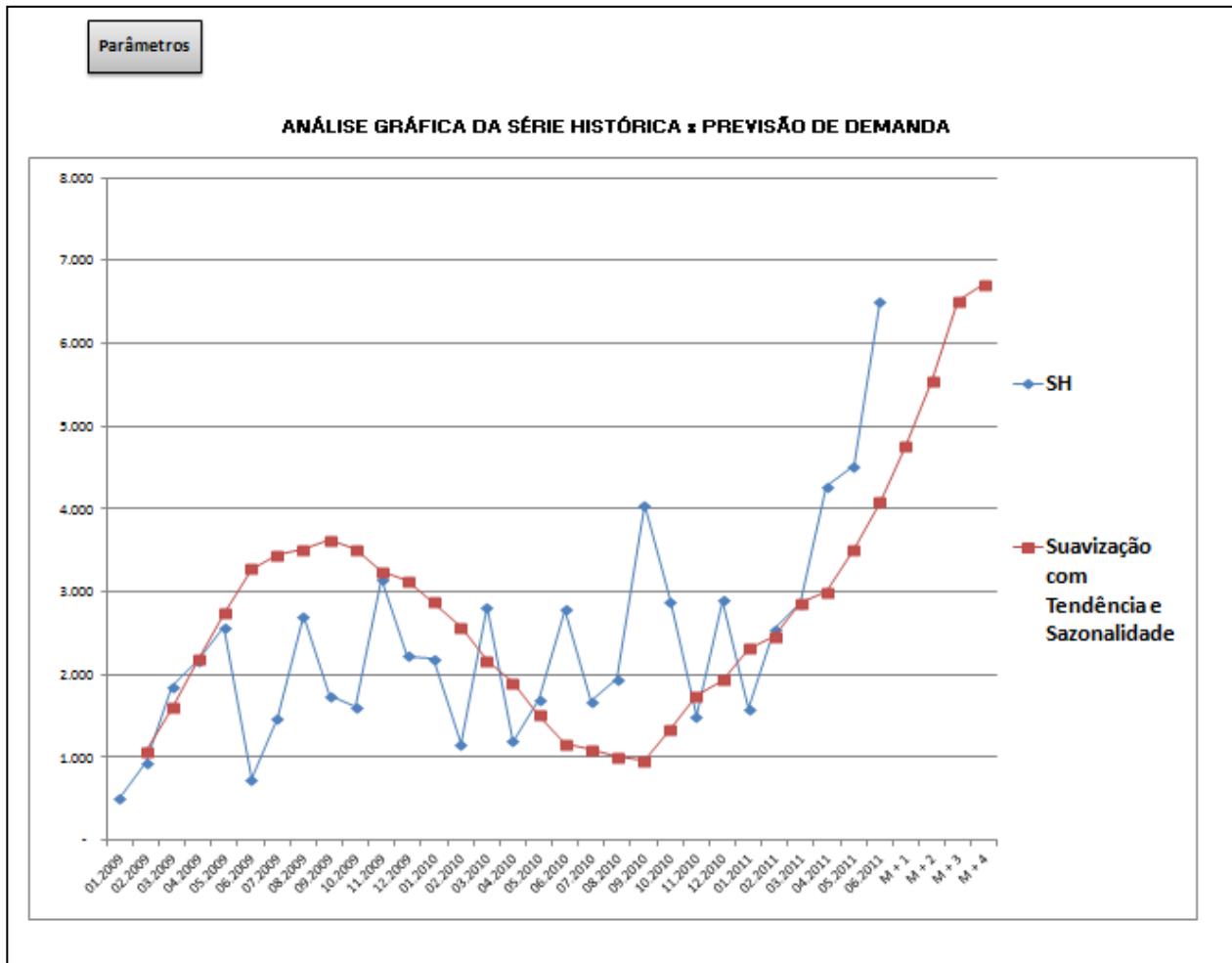


Figura 13 – Gráfico com Série Histórica e previsão no período analisado

Inicialização dos Modelos Quantitativos

Nas duas ferramentas presentes no aplicativo, modelos quantitativos de previsão de demanda estão presentes e, baseando-se no item 2.2.2, foram definidos valores iniciais para os parâmetros de suavização utilizados e também para as componentes da previsão. Para os valores iniciais de previsão para o modelo de Médias Móveis e de Suavização Exponencial Simples, assim como valores iniciais da componente de nível dos métodos Linear de Holt e de Holt-Winters, são utilizados os valores do primeiro período observado na série histórica.

Para a componente de tendência, duas formas de se inicializar são sugeridas, respectivamente nas equações (17) e (18). No entanto, a utilização da equação (17) faz com que haja um salto inicial quando a diferença entre a demanda dos dois períodos iniciais é grande que,

por se tratar de uma suavização exponencial, demora muito para ser recuperado, prejudicando os valores da previsão para os próximos períodos, já que grande parte do esforço da suavização é gasto para recuperar o salto inicial. Analisando-se o gráfico da Figura 14, no qual a componente de tendência é obtida apenas com a diferença entre a demanda real dos dois primeiros períodos (Equação (17)), percebe-se claramente que a linha com o valor da previsão através da Suavização dá um salto no início que deixa a previsão dos primeiros períodos pouco assertiva.

Quando utilizada a equação (18), que inicializa a componente de tendência com a média das diferenças dos três primeiros intervalos observados, o salto é muito mais ameno e, apesar de após um tempo a previsão nos dois casos serem muito parecidas, os períodos iniciais estão previstos de forma mais assertiva, como observado no gráfico da Figura 15.

Para as componentes de Sazonalidade, foi utilizada a inicialização sugerida na bibliografia, ou seja, para os doze primeiros períodos a equação (19) é utilizada.

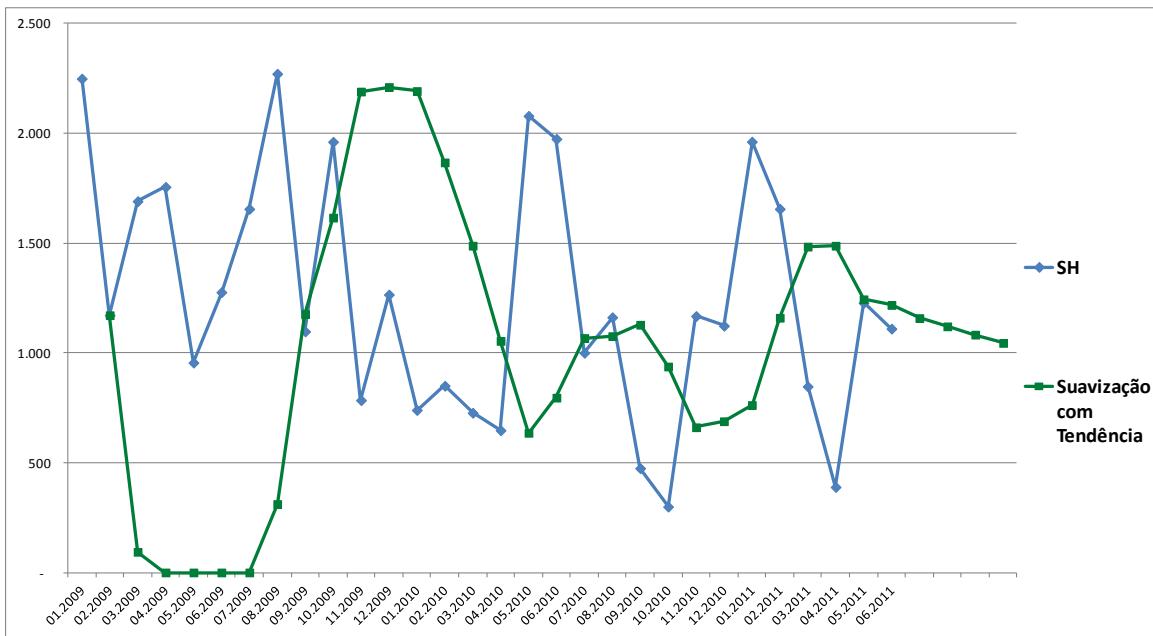


Figura 14 - Gráfico com Salto causado pelo cálculo da tendência inicial

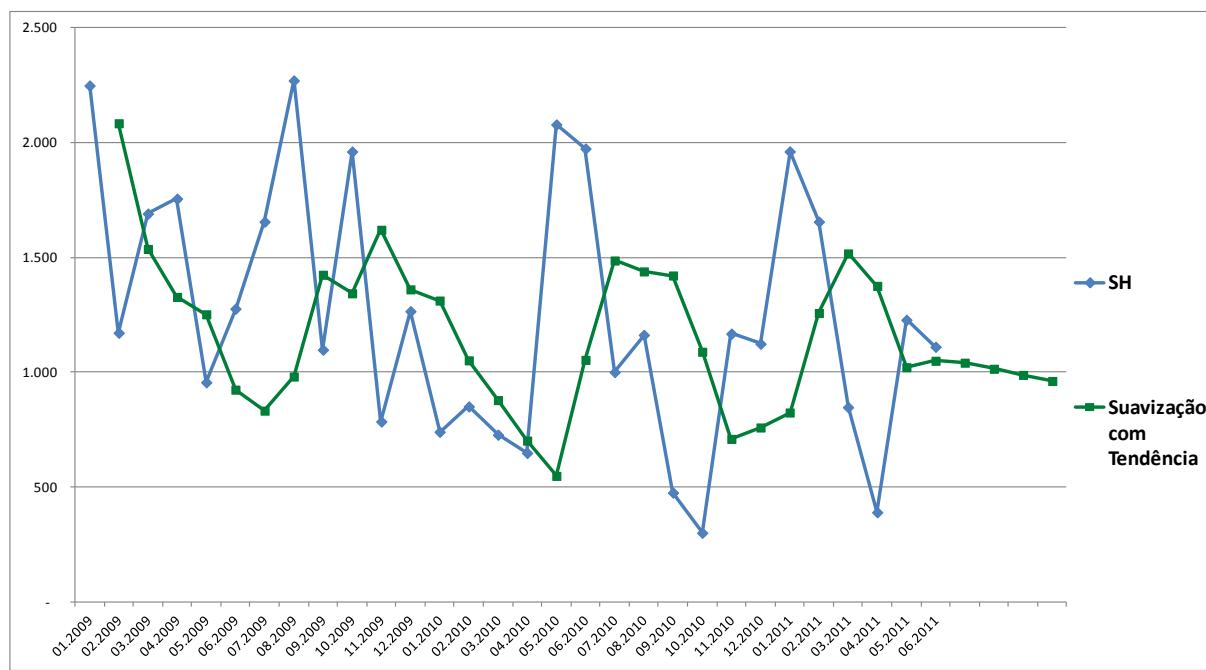


Figura 15 - Gráfico com Salto inicial de Tendência Amenizado

5. APLICAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo mostrar a aplicação do modelo proposto no capítulo 4 para alguns materiais semi-acabados da empresa, seguido de uma discussão sobre os resultados atingidos e da adequação do modelo proposto frente ao objetivo do projeto, descrito no item 1.4.

5.1. TESTE DO MODELO DESENVOLVIDO

Para a realização dos testes de validação do modelo desenvolvido para efetuar a previsão quantitativa de demanda, foram escolhidos alguns materiais semi-acabados que apresentam as características necessárias para a aplicação do modelo quantitativo.

Escolha dos semi-acabados testados

A escolha foi feita com base na representatividade das vendas de cada um deles dentro das Divisões Comerciais. Portanto, os semi-acabados foram ordenados por quantidade vendida no período analisado (entre Janeiro de 2009 e Junho de 2011) dentro das Divisões e a previsão foi feita para os três primeiros materiais de cada Divisão.

A Tabela 22 mostra como se dá a participação dos três semi-acabados com maior demanda dentro da Divisão Comercial. Fica claro que o teste com estes 27 itens é bastante abrangente, já que, apesar de representarem uma parcela pequena em número de semi-acabados utilizados pela Divisão, grande parte do volume das vendas se concentra nesta parcela dos semi-acabados. O caso mais extremo é o da Divisão Consumo, responsável basicamente pela venda da linha de produto *Cut Size*. Como mostrado na tabela, os três primeiros semi-acabados representam 91% do volume de vendas.

Tabela 22 – Participação nas vendas dos semi-acabados, por Divisão Comercial

Divisão Comercial	Semi-Acabado	Participação nas Vendas da Divisão Comercial
América	Semi-Acabado 1	37%
	Semi-Acabado 2	12%
	Semi-Acabado 3	12%
	Total	61%
Consumo	Semi-Acabado 1	46%
	Semi-Acabado 2	40%
	Semi-Acabado 3	5%
	Total	91%
Conversão	Semi-Acabado 1	17%
	Semi-Acabado 2	9%
	Semi-Acabado 3	7%
	Total	33%
Distribuição	Semi-Acabado 1	7%
	Semi-Acabado 2	5%
	Semi-Acabado 3	4%
	Total	15%
Embalagem	Semi-Acabado 1	12%
	Semi-Acabado 2	9%
	Semi-Acabado 3	7%
	Total	28%
Europa	Semi-Acabado 1	18%
	Semi-Acabado 2	14%
	Semi-Acabado 3	11%
	Total	42%
Venda Direta	Semi-Acabado 1	17%
	Semi-Acabado 2	7%
	Semi-Acabado 3	5%
	Total	29%
Promocional	Semi-Acabado 1	4%
	Semi-Acabado 2	4%
	Semi-Acabado 3	3%
	Total	11%
SPP Nemo + KSR	Semi-Acabado 1	16%
	Semi-Acabado 2	4%
	Semi-Acabado 3	4%
	Total	24%

Após a definição dos itens testados através do modelo, os testes foram estruturados com a finalidade de comparar a atual qualidade da previsão de demanda da companhia com a saída do modelo desenvolvido.

Para tal, os itens escolhidos para o teste tiveram as demandas previstas para os três últimos meses contidos no período estudado, para que pudesse haver comparação entre o que foi realizado, a previsão feita pela equipe comercial através do processo antigo de previsão e a previsão realizada pelo modelo. A avaliação das previsões foi feita através da comparação entre os erros de previsão dos dois processos (atual e pelo modelo), quando comparados aos valores realizados.

Dados de entrada para o teste

Conforme descrito no capítulo 4, alguns dados de entrada devem ser atribuídos ao aplicativo desenvolvido, a fim de aproximar o modelo ao cenário real no qual a empresa está inserida. Os parâmetros escolhidos para a realização dos testes foram os seguintes:

- Número máximo de períodos testados para a média móvel: 12
- Passo de variação dos parâmetros na SES e no Modelo Linear de Holt: 0,01
- Passo de variação dos parâmetros do Modelo de Holt-Winters: 0,05
- Períodos considerados para a minimização do MAPE: 3 meses
- Métodos quantitativos ativados: os 4 presentes no modelo.

Resultados obtidos com os testes

Os valores do MAPE obtidos para os três principais semi-acabados (em quantidade vendida de seus produtos acabados) de cada Divisão Comercial estão apresentados na Tabela 23. A tabela traz os valores de MAPE obtidos através dos testes realizados e também os valores que foram obtidos para o período analisado, com o atual processo de previsão de demanda, unicamente dependente da área comercial. As linhas destacadas com uma coloração mais escura trazem qual método apresentou menor erro na avaliação.

Tabela 23 – Comparação da antiga previsão de demanda com os métodos quantitativos

Divisão Comercial	Semi-Acabado	Método Utilizado	04.2011	05.2011	06.2011	MAPE Médio
AMÉRICA	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	38%	5%	6%	16%
		Processo Antigo	2%	9%	42%	17%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	100%	0%	100%	67%
		Processo Antigo	15%	28%	27%	23%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	13%	13%	19%	15%
		Processo Antigo	70%	28%	58%	52%
CONSUMO	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	11%	2%	3%	6%
		Processo Antigo	7%	7%	44%	19%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	30%	18%	3%	17%
		Processo Antigo	11%	36%	60%	36%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	4%	100%	33%	46%
		Processo Antigo	46%	28%	18%	31%
CONVERSÃO	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	19%	12%	21%	17%
		Processo Antigo	27%	14%	10%	17%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	100%	29%	23%	51%
		Processo Antigo	5%	9%	29%	14%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	13%	16%	2%	10%
		Processo Antigo	229%	49%	51%	110%
DISTRIBUIÇÃO	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	100%	11%	22%	44%
		Processo Antigo	11%	28%	15%	18%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	33%	11%	11%	18%
		Processo Antigo	8%	10%	47%	22%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	15%	6%	5%	9%
		Processo Antigo	23%	9%	11%	14%
EMBALAGEM	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	4%	19%	2%	8%
		Processo Antigo	17%	25%	48%	30%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	18%	7%	8%	11%
		Processo Antigo	12%	1%	74%	29%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	4%	4%	2%	3%
		Processo Antigo	8%	30%	1%	13%
EUROPA	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	11%	28%	11%	17%
		Processo Antigo	21%	2%	30%	17%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	31%	7%	11%	17%
		Processo Antigo	45%	5%	15%	22%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	100%	20%	32%	51%
		Processo Antigo	21%	15%	49%	28%
PROMOCIONAL	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	39%	36%	24%	33%
		Processo Antigo	0%	100%	100%	67%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	100%	1%	27%	43%
		Processo Antigo	64%	16%	64%	48%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	100%	28%	23%	50%
		Processo Antigo	9%	26%	67%	34%
SPP + KSR	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	15%	26%	30%	24%
		Processo Antigo	35%	42%	79%	52%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	40%	36%	18%	31%
		Processo Antigo	53%	62%	259%	125%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	15%	22%	24%	20%
		Processo Antigo	3%	38%	27%	22%
VENDA DIRETA	Semi-Acabado 1	Teste do Aplicativo	9%	6%	7%	7%
		Processo Antigo	52%	1%	63%	39%
	Semi-Acabado 2	Teste do Aplicativo	100%	40%	8%	49%
		Processo Antigo	100%	0%	82%	61%
	Semi-Acabado 3	Teste do Aplicativo	13%	100%	49%	54%
		Processo Antigo	17%	113%	100%	77%

Análise crítica dos resultados obtidos inicialmente

A partir da análise dos valores de erro obtidos unicamente a partir das previsões realizadas a partir do aplicativo desenvolvido, percebe-se que, dos vinte e sete itens analisados, apenas sete deles apresentaram um erro maior de previsão de vendas em relação ao processo antigo.

Isto que mostra que o modelo, apesar de ter sido testado sob as mesmas condições para todos os semi-acabados escolhidos, apresenta valores previstos iniciais mais aderentes à realidade se comparados aos obtidos com as previsões de demanda praticadas atualmente pela companhia.

Deve-se ainda considerar o fato de que os valores de erro comparados são percentuais e, portanto, um valor alto de erro pode aparecer mesmo quando, em números absolutos, o erro não for tão grande. Dos semi-acabados analisados, isso aparece claramente em alguns casos, como o segundo semi-acabado mais representativo da Divisão Comercial América. Os erros de 100% para o primeiro e terceiro períodos medidos aparecem, pois o modelo sugeriu que a venda seria nula nesses períodos, de acordo com a tendência de queda nas vendas associada à sazonalidade do período. No entanto, a venda de poucas toneladas, provavelmente algum saldo em estoque, fez com que o erro fosse de 100%.

Casos como este aconteceram para outros semi-acabados analisados, mas não preocupam no que diz respeito à previsão de demanda que seria praticada segundo o processo sugerido, já que, após a etapa de previsão quantitativa, haveria um trabalho da Área Comercial em validar qualitativamente os valores apresentados. Assim, em casos específicos como estes, a Área Comercial preveria a venda de tais estoques e os valores seriam incorporados à previsão.

Portanto, é possível dizer que, dado o fato que os números gerados pelo modelo ainda passarão por uma análise qualitativa por parte dos gerentes de cada Divisão Comercial, conforme explicado na proposta de solução do capítulo 4, os resultados do teste foram positivos, apresentando a princípio, valores de erro menores do que os obtidos anteriormente, o que está alinhado com o objetivo do trabalho proposto no primeiro capítulo do projeto.

5.2. PREVISÃO DETALHADA POR SEMI-ACABADO

Assim como explicado no item 4.2.2, o aplicativo desenvolvido possui uma ferramenta de previsão de demanda individual, que permite ao usuário responsável pela previsão. Para realizar o teste da ferramenta, foi escolhido o semi-acabado com a maior participação nas vendas da empresa.

Para este semi-acabado, serão realizadas e comparadas previsões para cada um dos métodos matemáticos contidos no aplicativo e os erros em cada caso serão minimizados a partir da otimização dos parâmetros a partir do Excel Solver. Como discutido no capítulo 2, a inicialização dos métodos matemáticos é diretamente relacionada ao resultado final da previsão, já que os cálculos são realizados a partir dos valores iniciais de cada parâmetro. Segundo Gardner Jr.(2006), o mesmo ocorre com a utilização do Excel Solver, que pode fornecer diferentes valores de saída de acordo com os valores iniciais determinados.

Para a primeira etapa do teste, os parâmetros de suavização de nível, tendência e sazonalidade são igualados a 0,2 e, a partir daí, o Solver busca um valor que minimize o erro de previsão para um número determinado de períodos da série histórica. No teste, o Solver teve como objetivo minimizar o MAPE dos últimos três períodos contidos na base de dados, ou seja, Abril, Maio e Junho de 2011.

A Figura 16 mostra um gráfico com a série histórica de dados de vendas e, além disso, traz linhas de valores previstos a partir de cada um dos quatro modelos matemáticos contidos no aplicativo desenvolvido.

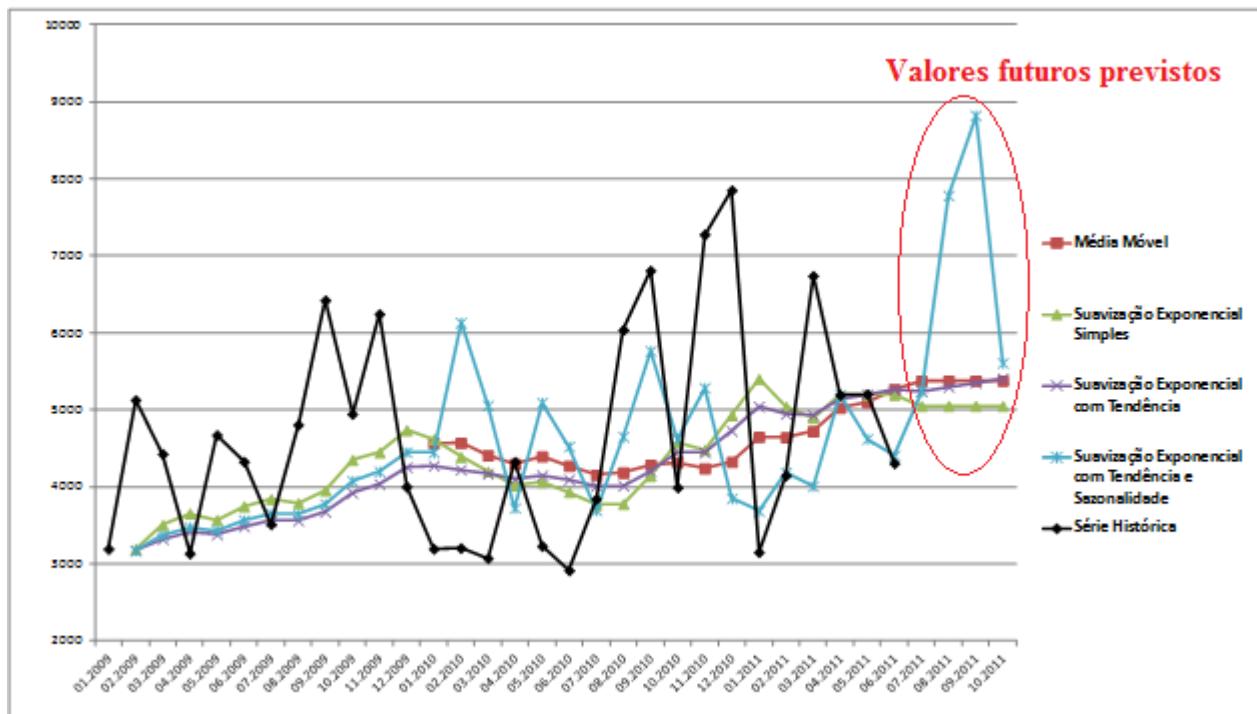


Figura 16 - Gráfico Comparativo dos Modelos Quantitativos de Previsão

O resultado do MAPE médio dos últimos três períodos para cada um dos modelos, dado o teste realizado, está apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Comparaçāo dos erros de previsão de demanda no teste inicial

Modelo Matemático	MAPE mínimo obtido no teste com parâmetros iniciais de suavização igual a 0,2
Média Móvel	9,14%
Suavização Exponencial Simples	6,94%
Modelo Linear de Holt	7,76%
Modelo de Holt-Winters	4,50%

Para verificar uma possibilidade de melhoria da previsão obtida com a ferramenta de previsão detalhada a partir do Excel Solver, sabendo-se que o otimizador, como destacado por Gardner Jr.(2006), pode gerar valores ótimos diferentes de acordo com os valores iniciais, resolveu-se por realizar novos testes. Nestes testes, foram utilizados como valores iniciais dos parâmetros de suavização previamente otimizados via linguagem VBA, através da ferramenta testada no item 795.1

Assim, os novos valores de MAPE obtidos, sob as mesmas condições do Excel Solver, apenas com parâmetros iniciais de suavização obtidos pelo aplicativo, estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Erros de previsão de demanda no teste otimizado pelo aplicativo

Modelo Matemático	MAPE mínimo obtido no teste com parâmetros iniciais otimizados
Média Móvel	9,14%
Suavização Exponencial Simples	6,94%
Modelo Linear de Holt	3,85%
Modelo de Holt-Winters	3,70%

Como pode ser percebido, os valores dos erros obtidos foram diminuídos ou se mantiveram iguais quando partiu-se de valores iniciais já otimizados na utilização do Solver. No caso da Suavização Exponencial Simples não houve alterações no erro calculado, pois o valor inicial encontrado pelo aplicativo foi 0,16, próximo ao 0,2 utilizado no primeiro teste. Portanto, o Excel Solver acabou chegando ao mesmo erro mínimo.

Análise crítica dos resultados obtidos com a ferramenta de previsão individual

A utilização da ferramenta de previsão detalhada se mostrou muito eficiente, a partir do momento que a mesma traz, para cada método matemático contido no aplicativo, as informações necessárias para que seja feita a análise qualitativa posterior cálculo matemático, como a previsão aberta em suas componentes, além da possibilidade de variação dos parâmetros pelo usuário, com imediata verificação dos resultados pelo usuário.

Além disso, a otimização da previsão feita através do Excel Solver faz com que métodos de otimização não-lineares possam ser aplicados a fim de se buscar o menor erro de previsão, o que agrega valor ao modelo.

Outra característica interessante percebida é o fato de que, se utilizados em conjunto, os dois métodos de previsão contidos no aplicativo (para diversos itens simultaneamente e a ferramenta de previsão detalhada) são complementares e atingem erros de previsão ainda menores.

6. CONCLUSÃO

No presente capítulo, está presente uma síntese do trabalho realizado na empresa estudada. Busca-se, com isso, retomar quais eram os principais objetivos do projeto, como a solução foi desenvolvida para ajudar alcançá-los e quais resultados foram obtidos. Além da síntese, faz-se uma análise crítica do modelo desenvolvido para se efetuar a previsão de demanda e, por fim, destacam-se os pontos que dariam continuidade ao atual projeto.

6.1. SÍNTESE

Inicialmente, foi realizada uma descrição breve da empresa e da Unidade de Negócios estudada, a Unidade de Negócios Papel. Após uma análise inicial da situação da área da empresa em que o autor do projeto realiza o estágio, a área de Planejamento e Controle da Produção, percebeu-se que o processo de previsão de demanda realizado na companhia é muito pouco aderente ao que realmente é demandado pelo mercado de papel. Isto faz com que, dado o processo de Planejamento da Produção aplicado à UNP, os altos valores de erros de previsão influenciem no *mix* de produção, havendo acúmulo de estoques desnecessários e não atendimentos de pedidos de clientes. Sendo assim, o objetivo principal do trabalho foi reduzir o erro da previsão de demanda.

Para atingir tal objetivo, o processo de previsão de demanda foi remodelado, fazendo com que, além da participação da Área Comercial, única responsável pelo processo atualmente, haja participação direta das áreas de Marketing e, principalmente, de PCP. Foi desenvolvido também um modelo de previsão quantitativo, para dar fundamentação teórica às previsões. Este modelo deve ser rodado pela equipe de PCP, após alinhamento com as áreas de Marketing e Comercial e, posteriormente, os valores previstos são revisados qualitativamente pela equipe de vendedores e gerentes comerciais, que estão em contato direto com os clientes e são os maiores conhecedores do mercado onde a empresa se insere. Ao final, após a visão imparcial das três áreas serem alinhadas em uma reunião de consentimento, os volumes de previsão são fechados.

O fato de a definição dos produtos finais produzidos ser puxada por pedidos a partir dos semi-acabados já programados, junto à análise da programação de produção da empresa,

trouxeram a conclusão de que a mesma opera sob uma estratégia ATO. Verificou-se, então, que a previsão de demanda deveria ser realizada no nível de materiais semi-acabados, pois este nível de agrupamento contém as informações necessárias para que se inicie a produção de papel, como receita, gramatura, lotes mínimos de produção e formato de venda.

Buscou-se também adaptar o processo de previsão de demanda ao mercado de papel e a todas as peculiaridades que cada linha de produto da companhia apresenta. Portanto, foram tidos como requisitos para a solução proposta que o modelo contemplasse não apenas o mês seguinte na previsão, o que é realizado atualmente, mas contemplasse um número mínimo de meses a frente que permitam à empresa ter a visibilidade de toda sua cadeia de distribuição, desde o Mercado Interno até as vendas realizadas via Terminais Externos nos Estados Unidos e Europa. Além disso, fez-se com que a previsão fosse dividida entre os semi-acabados por Divisão Comercial, já que cada uma possui um portfólio de produtos com a qual trabalha mais frequentemente e o mesmo semi-acabado pode comportar-se de maneira diferente em uma ou outra Divisão Comercial, o que sustenta tal decisão.

Posteriormente ao desenvolvimento da solução para se atingir o objetivo principal do projeto, foram realizados testes de validação do modelo proposto e discussão dos resultados dos testes.

6.2. ANÁLISE CRÍTICA

O processo desenvolvido, ainda na fase de testes da etapa de previsão quantitativa, se mostrou muito eficiente, alcançando, mesmo sem qualquer interpretação qualitativa por parte da equipe Comercial e de PCP, valores de erros de previsão consideravelmente inferiores aos que eram obtidos com o processo anteriormente praticado pela companhia.

Outro ponto positivo que se verificou com a implantação do processo de previsão desenvolvido é a quantidade de informações que é acumulada durante o processo. Ao se fazer inicialmente uma previsão quantitativa baseada em modelos matemáticos, e posteriormente revisões qualitativas sobre esses números iniciais, é possível rastrear não somente a origem do valor previsto, mas quem foi o responsável pelo acréscimo ou redução sobre o valor sugerido e,

assim, realizar cobranças sobre tal no futuro. Segundo Makridakis(1998) e Corrêa *et al* (2001), a combinação entre métodos de previsão quantitativa e a qualitativa tendem a gerar previsões com menores erros que aqueles obtidos com a aplicação de apenas um tipo.

Como possível ponto contrário ao processo de previsão desenvolvido, pode ser citado um possível descompromisso de alguma das áreas envolvidas. A área Comercial é responsável não só por validar os volumes sugeridos inicialmente pelo PCP, mas também por efetuar a previsão dos semi-acabados que não favorecem a previsão quantitativa. Isto ocorre em casos que há pouca frequência de vendas ou baixo volume vendido de um produto, o que torna sua venda dependente de colocação de pedidos pontuais. Para esses semi-acabados, o modelo matemático fornecerá informações básicas de apoio à decisão, como estoque disponível e histórico de vendas, mas a previsão de vendas e todos seus desdobramentos serão exclusivamente de responsabilidade da equipe de vendas.

Portanto, após uma análise crítica, chega-se à conclusão que o objetivo principal definido para o projeto, que é a redução dos erros de previsão de demanda será atingido a partir do uso do modelo de solução desenvolvido, desde que todos os envolvidos se comprometam a fazer sua parte. É importante que, para isso, o projeto seja levado para todas as áreas envolvidas e que todos sejam convencidos que a melhoria da previsão de demanda terá impactos positivos em toda a Unidade de Negócios Papel

6.3. DESDOBRAMENTOS

Esta etapa da conclusão do projeto mostra quais são os próximos passos que a empresa deve tomar para o bom funcionamento do processo de previsão com apoio do aplicativo desenvolvido, além de pontos que, em um futuro projeto desenvolvido na área, podem ser melhorados a fim de trazer uma previsão de demanda ainda mais aderente ao mercado.

Dentro do escopo do projeto, um ponto de melhoria que pode ser percebido é a eventual incorporação de outros métodos de projeção ao aplicativo, o que aumentaria a flexibilidade do modelo. Ainda dentro do foco em melhorias no processo quantitativo de previsão, a otimização dos parâmetros considerados nos cálculos (feita por um método de busca extensiva) é um aspecto que pode ser aprimorado, através de algoritmos não lineares que diminuiriam o tempo utilizado no processamento dos dados. Quando o novo processo de previsão for incorporado por todas as

áreas envolvidas, poderá ser realizado um novo estudo a fim de considerar a implantação de um *software* de mercado para efetuar as previsões quantitativas. Muitos são os *softwares* deste tipo que apresentam uma gama de métodos de projeção de demanda futura e otimização de parâmetros maior do que a do modelo desenvolvido. No entanto, para que valha a pena o investimento em um *software* de mercado, os envolvidos na previsão de demanda devem estar habituados ao novo processo.

Por fim, como próximo passo a ser dado na melhoria do atual processo de planejamento da produção da empresa, estaria a automatização do MPS dos semi-acabados, incluindo eventualmente modelo de otimização para dimensionamento e programação dos lotes de produção. Isto é, a partir da previsão de demanda gerada pelo modelo, construir um racional de cálculos que considere os erros de previsão, as capacidades das máquinas, os estoques, as entradas e saídas de produtos conhecidas, as restrições de lote de produção dentre outros aspectos e, automaticamente, sugira o *mix* de produtos semi-acabados que devem ser produzidos para melhor atender à demanda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, E. S., **Curso básico de fabricação de celulose e papel.** Revisão 2. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2011.

CORRÊA, H.; GIANESI, I.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção MRP II / ERP: Conceitos, Uso e Implementação.** São Paulo: Atlas 2001.

GARDNER, E. S., Jr. **Exponential smoothing: The state of the art - Part II.** International Journal of Forecasting 22. 637– 666 p. 2006.

JACOBSEN, R. **Microsoft Excel 2002 Visual Basic for Applications Passo a Passo.** Tradução: Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. Revisão Técnica: Marcelo Rosin Citrangulo. São Paulo: Pearson Education do Brasil.

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

MENTZER, J.T.; BIENSTOCK, S.C. **Sales Forecast Management.** Thousand Oaks: Sage Publications. 1998.

SANTORO, M.C. **Planejamento, Programação e Controle da Produção – Vol. 1,** São Paulo: Apostila da Disciplina PRO 2415. Departamento de Engenharia de Produção da EPUSP, 2010.

ZAGO, C. F. ; MESQUITA, M. A. . **Implantação da ferramenta Available to Promise (ATP): um estudo de caso na produção de papel.** In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010, São Carlos. Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010

