

PAULA ANDRADE JÚDICE

**PREVISÃO DE DEMANDA NA GESTÃO LOGÍSTICA DE UM
PRODUTO PERECÍVEL VENDIDO POR MÁQUINA
AUTOMÁTICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica – PUC/Rio, como parte do requisito à obtenção do título de Mestre em Logística.

Orientador: Prof. Nélio Domingues Pizzolato – PUC/Rio
Co-orientador: Prof. Giovane Quadrelli – UCP

Rio de Janeiro
Janeiro de 2005

Paula Andrade Júdice

**Previsão de demanda na gestão logística de um produto
perecível vendido por máquina automática**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial / PUC-Rio

Prof. Giovane Quadrelli

Co-orientador

Departamento de Engenharia Elétrica / UCP

Prof. Leonardo Junqueira Lustosa

Departamento de Engenharia Industrial / PUC-Rio

Prof. Luiz Felipe R. R. Scavarda do Carmo

Departamento de Engenharia Industrial / PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico / PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de janeiro de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da autora, do orientador e da universidade.

Paula Andrade Júdice

Graduou-se em Engenharia de Alimentos pela UFV (Universidade Federal de Viçosa – MG), em 1997. Participou de diversos congressos, simpósios e eventos na área de Engenharia de Alimentos. Atuou em áreas como produção (planejamento e controle), almoxarifado (gestão de estoques) e controle de qualidade em empresas privadas.

Ficha Catalográfica

Júdice, Paula Andrade

Previsão de demanda na gestão logística de um produto perecível vendido por máquina automática / Paula Andrade Júdice ; orientador: Nélio Domingues Pizzolato ; co-orientador: Giovane Quadrelli. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Industrial, 2005.

92 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas

CDD:658.5

A Daniel,
meu grande companheiro
e amor da minha vida.

Agradecimentos:

A Deus, regente da minha vida;

Aos meus pais, Paulo César e Sonia, por todo amor e apoio que sempre me deram em todos os meus projetos profissionais e pessoais;

Aos meus irmãos, Saulus e Claudia, por todos os momentos que passamos juntos;

Ao meu marido Daniel, pela paciência durante todos estes anos em que estamos juntos;

Ao meu sogro José, minha sogra Denise e minha cunhada Adriana e sua família (Julia e Carlinhos), por me receberem como uma filha e irmã;

Aos professores Nélio Domingues Pizzolato e Giovane Quadrelli, pela orientação e conhecimentos transmitidos;

Ao amigo e colega de mestrado Audemir, pela grande ajuda no início do desenvolvimento da Dissertação;

À Gisele, sempre presente durante todo o curso, que se tornou uma grande amiga;

À Gustavo Salomão, diretor da Tok Take, que permitiu a coleta de dados para a realização do estudo de caso;

Aos colegas de sala, pelo apoio durante o curso.

Resumo

Júdice, Paula Andrade; Pizzolato, Nélio Domingues; Quadrelli, Giovane. **Previsão de demanda na gestão logística de um produto perecível vendido por máquina automática.** Rio de Janeiro, 2005. 92p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação analisa o problema da gestão de estoque de sanduíches de uma empresa prestadora de serviços de alimentação, a Tok Take Alimentação Ltda. Para tanto, foi feito um levantamento bibliográfico na área de gestão de estoques e de previsão de demanda. Para o estudo de caso, dados históricos do consumo diário de sanduíches em um determinado cliente foram coletados e submetidos à análise por meio de dois métodos de previsão de demanda: o método de médias móveis dupla e o método de amortecimento direto para dados sazonais. Desta forma, foram determinados dois modelos que possibilitam a previsão de demanda diária deste produto.

Palavras-chave

Previsão; demanda; logística; produtos perecíveis; máquina automática.

Abstract

Júdice, Paula Andrade; Pizzolato, Nélio Domingues; Quadrelli, Giovane. **Demand Forecasting in the Logistics Management of Perishable Products Sold by Vending Machines**. Rio de Janeiro, 2005. 92p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This report analyzes the issue of managing the inventory of sandwiches of a food vending enterprise, Tok Take Alimentação Ltda. For that purpose, a bibliographic survey was made on inventory management and demand forecasting. In the case studied it was found that no gain could be obtained by expanding the replenishment period. Hence the analysis turned its focus to demand forecasting. For the case study, historical data of sandwich consumption at a specific client site were collected and submitted to analysis by means of two forecasting methods namely: double moving average and direct smoothing for seasonal data. After that, a model that enables daily forecasting of that product's demand was determined.

Keywords

Forecasting; demand; logistics; perishable products; vending machines.

Sumário

	Página
1. Introdução	13
1.1. Descrição dos objetivos	14
1.2. Justificativa do trabalho	15
1.3. Metodologia	15
1.4. Estrutura da dissertação	16
2. Descrição do problema	17
2.1. Sobre a empresa	17
2.2. A Tok Take no Rio de Janeiro	19
2.2.1. Estrutura da empresa	19
2.2.2. Distribuição dos sanduíches	20
3. A logística em uma empresa	22
3.1. Definição	22
3.1.1. Atividades primárias	22
3.1.2. Atividades de apoio	23
3.2. A missão da logística	24
3.2.1. Serviços	24
3.2.2. Custo total	25
3.3. O papel do estoque na empresa	25
3.4. Tipos de estoque	27
3.5. Gestão de estoque	28
3.5.1. Classificação de produtos	28
3.5.1.1. Classificação por tipo de demanda	28
3.5.1.2. Classificação abc	30
3.6. Planejamento do estoque	30
3.6.1. Determinando o ponto de ressuprimento	31
3.6.2. Determinando o tamanho do lote de reposição	32
3.6.2.1. Modelo de reposição e lote econômico	32
3.6.2.2. Modelo de revisão periódica	34

3.6.2.3. Definição do estoque de segurança	35
3.6.3. Controle de estoques	37
3.6.3.1. Custos do estoque	37
3.6.3.2. Objetivos do estoque	38
3.6.3.2.1. Objetivos de custo	38
3.6.3.2.2. Objetivos de nível de serviço	38
3.6.3.3. Incertezas	41
3.6.3.3.1. . Determinação do ponto de ressuprimento em face das incertezas	42
4. Previsão de demanda	44
4.1. Introdução	44
4.2. Características da demanda	44
4.2.1. Fatores externos	45
4.2.2. Fatores internos	45
4.3. Características das previsões	45
4.4. Importância estratégica das previsões	46
4.5. Elementos de uma boa previsão	46
4.6. Os passos a serem seguidos no processo de previsão	47
4.6.1. Objetivo da previsão	47
4.6.2. Horizonte de tempo da previsão	47
4.7. Abordagens de previsões	48
4.7.1. Métodos qualitativos	48
4.7.2. Métodos quantitativos	51
4.7.2.1. Modelos de séries temporais	52
4.7.2.1.1. Método da solução ou tentativa simples	53
4.7.2.1.2. Método de médias móveis	54
4.7.2.1.3. Amortecimento exponencial	55
4.7.2.1.4. Avaliação de tendências	57
4.7.2.1.4.1. Equação de tendência	57
4.7.2.1.4.2. Amortecimento exponencial com tendência	58
4.7.2.1.5. Sazonalidade	59

4.7.2.1.6. Método de amortecimento direto	61
4.7.2.1.6.1. Mínimos quadrados ponderados (MQP)	61
4.7.2.1.6.2. Ainda sobre o método de amortecimento direto	63
4.7.2.1.6.3. Método de amortecimento direto para séries sazonais	65
4.7.2.1.6.4. Análise espectral	65
4.7.2.1.6.5. Periodograma	66
4.7.2.1.6.6. Testes de significância	68
4.7.2.1.6.6.1. Teste exato de Fisher	68
4.7.2.1.6.6.2. Teste de Whittle	69
4.7.2.2. Modelos causais	70
4.7.2.2.1. Regressão linear	71
4.8. Controle de previsões	73
5. Estudo de caso	76
5.1. Método de média móvel dupla	77
5.2. Método de amortecimento direto	78
5.2.1. Modelando a série temporal em estudo pelo método de amortecimento direto	79
6. Considerações finais	83
6.1. Análise dos resultados	83
6.2. Conclusão	85
6.3. Perspectiva de novos trabalhos	86
7. Referências bibliográficas	87
7.1. Livros	87
7.2. Sites pesquisados na internet	87
8. Anexos	88
8.1. Anexo 01	88
8.2. Anexo 02	90

Lista de figuras

Figura 2.1 - Organograma da empresa	19
Figura 3.1 - Exemplo de vários tipos de demanda do produto	29
Figura 3.2 - Modelo de ponto de ressuprimento	31
Figura 3.3 - Custos x tamanho do lote de ressuprimento	33
Figura 3.4 - Relação entre investimento e nível de serviço	41
Figura 4.1 - Demanda de um produto acompanhado durante 4 anos com uma tendência de crescimento e sazonalidade indicada	53
Figura 4.2 - Velocidade de ajustamento de uma previsão de acordo com o valor de α	56
Figura 4.3 - Sazonalidade: comparação entre o modelo aditivo e o Multiplicativo, utilizando-se uma tendência linear	60
Figura 4.4 - Quatro valores dos coeficientes de correlação	72
Gráfico 5.1 - Previsão pelo método de média móvel	77
Gráfico 5.2 - Periodograma de Schuster	78
Gráfico 5.3 - Ajuste do modelo de previsão por amortecimento direto	81
Gráfico 5.4 - Previsão 1-passo-a-frente pelo método de amortecimento direto	82
Gráfico 6.1 - Gráfico de controle obtido com o método de média móvel dupla	84
Gráfico 6.2 - Gráfico de controle obtido com o método de Amortecimento direto	84

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Produto x validade	18
Tabela 3.1 - Fator de Segurança x nível de serviço	36
Tabela 4.1 - Aplicações da Previsão de demanda	49
Tabela 4.2 - Somas infinitas	70
Tabela 5.1 - Planilha para cálculo do consumo diário de sanduíches	76
Tabela 5.2 - Picos significativos e suas respectivas frequências	79
Tabela 6.1 - Resultados obtidos pelo método de média móvel dupla	83
Tabela 6.2 - Resultados obtidos pelo método de amortecimento direto	84

1 Introdução

A cada ano que passa, as pessoas buscam mais facilidades em seus dia-a-dia. Visando atender este público, no início da década de 90 foram trazidas dos Estados Unidos, pela Coca-Cola, as primeiras máquinas automáticas (*vending machines*).

Em 1994, com a diminuição da inflação e a estabilização da moeda, as máquinas foram equipadas para receber notas e dar troco, o que as tornaram mais acessíveis e, conseqüentemente mais populares. A partir daí surgiram outras máquinas, como máquinas de café, sucos, snacks (biscoitos e chocolates), iogurtes e sanduíches.

Como a produtividade é um dos principais indicadores de desempenho de uma empresa, até mesmo o tempo gasto em refeições é levado em conta em sua análise. Essa busca pela otimização do tempo abre cada vez mais as portas para o mercado de auto-serviços, tornando o nicho de mercado muito atraente para prestadores de serviços através de máquinas automáticas.

Algumas empresas adotam o sistema de *vending machines* como forma de oferecer serviço de alimentação e otimizar o tempo de almoço dos seus funcionários. Com esse sistema, o funcionário se alimenta sem que tenha que deixar a empresa, reduzindo o índice de atrasos na volta ao trabalho.

Por ser um tipo de serviço relativamente novo no Brasil, não existem estudos referentes à demanda dos produtos disponíveis nas máquinas, nem análise dos dados de venda, de maneira a extrair informações que auxiliem no cálculo da previsão da demanda. Uma estimação mais precisa da demanda permitiria minimizar as falhas de atendimento da demanda e as perdas de produto por vencimento, principalmente quando se trata de produtos com alta perecibilidade, como sanduíches.

O desafio básico da gestão de estoques de produtos para as *vending machines* consiste em estimar o consumo previsto entre dois momentos consecutivos de recebimento destes produtos e a correta elaboração de pedidos de

compra. Estas estimativas tornam-se mais críticas no caso de produtos de alta perecibilidade, como os sanduíches.

Ao se receber um volume Q , de um determinado item, no instante t , o que se deseja é que, durante o intervalo de tempo $(t, t+I)$ até o próximo recebimento a demanda observada D seja o mais próxima possível de Q . Portanto, é desejável que a previsão da demanda D ao longo do espaço de tempo correspondente ao intervalo de ressuprimento da máquina seja a mais precisa possível, de modo que a quantidade reabastecida Q evite perdas decorrentes da falta de sintonia com o consumo previsto D .

Caso $D > Q$, tem-se uma demanda não atendida, com uma resultante insatisfação do cliente. A insatisfação contínua do cliente pode resultar no eventual questionamento do contrato de fornecimento. Caso $D \ll Q$ tem-se o excesso de produtos ofertados, com a possível perda do produto por vencimento da validade.

1.1. Descrição dos objetivos

O objetivo desta dissertação é estudar o comportamento da demanda por produtos alimentícios oferecidos aos consumidores por meio de *vending machines*. A dissertação faz uma descrição dos conceitos básicos de previsão e se concentra em dois modelos de previsão para a análise de dados históricos de venda de sanduíches ao longo do tempo, em um ponto de venda específico, a saber: o método de média móvel dupla e o método de amortecimento direto, considerados mais simples e mais promissores.

A dissertação faz também uma revisão bibliográfica relativa ao controle de estoques, como um elemento fundamental da logística de toda a empresa, e identificando os conceitos e metodologias mais fundamentais.

Finalmente, a dissertação desenvolve um estudo de caso com os dados da Tok Take Alimentação Ltda, uma empresa prestadora de serviço de alimentação através de máquinas automáticas.

1.2. Justificativa do trabalho

Uma vez que as perdas de lanche (sanduíches) podem ser bastante significativas, e sendo a previsão da demanda fundamental na redução destas perdas, a execução deste trabalho é justificada.

A escolha da Tok Take como objeto de estudo deve-se ao fato da autora da dissertação trabalhar nesta empresa, o que lhe permite acesso aos dados necessários, além de ser a pessoa responsável pelo processo de solicitação e distribuição dos produtos.

Para a empresa, este trabalho será de grande valia, uma vez que ela poderá utilizar os resultados obtidos para melhorar seu sistema de pedido de sanduíches aos fornecedores e minimizar as perdas por vencimento do prazo de validade.

Este estudo poderá, futuramente, ser estendido a outros produtos comercializados através de máquinas automáticas, como iogurtes e *snacks*, garantindo a elaboração de pedidos com maior precisão, o que é bastante vantajoso do ponto de vista logístico, por meio da redução de estoques (o que gera também ganhos financeiros, uma vez que a diminuição dos estoques implica em menores custos de estocagem).

Além disso, uma maior precisão nos pedidos faz com que haja menor risco de falta de produto, o que gera aumento da satisfação do cliente.

1.3. Metodologia

Primeiramente foi feita uma pesquisa no intuito de conseguir material bibliográfico nas áreas de logística e previsão de demanda que pudesse ter relação com produtos perecíveis, ou que pudesse ser aplicado no tratamento deste tipo de produto.

Entretanto, a Tok Take não possuía dados históricos diários de consumo de lanches que pudessem ser utilizados neste estudo, portanto, era preciso iniciar o registro destes dados.

O estudo piloto foi restrito aos sanduíches, devido ao seu alto grau de perecibilidade, à grande incerteza relacionada ao seu consumo e à sua grande significância para o cliente, pois, juntamente com o suco, forma o kit básico oferecido pela empresa contratante aos seus funcionários. Igualmente, foi escolhido um ponto de venda como referência, pois a análise de dados de mais de

um ponto de venda geraria um volume de dados muito grande, tornando impossível a análise no orçamento e prazo da pesquisa. Após quatro meses de coleta de dados, iniciou-se sua análise.

Com base nas características dos dados obtidos e do produto em questão, fez-se um levantamento dos métodos de previsão que mais se adequariam ao estudo proposto.

1.4. Estrutura da dissertação

Este trabalho é composto de seis capítulos, sendo este primeiro uma introdução ao assunto proposto.

No segundo capítulo, é feita uma breve descrição da empresa analisada e do sistema de distribuição dos sanduíches.

No terceiro capítulo, descreve-se o papel do estoque em uma empresa.

No quarto capítulo, descreve-se como utilizar a previsão de demanda como uma ferramenta logística para as empresas. Além disso, são apresentados alguns métodos estatísticos de previsão de demanda.

No quinto capítulo, são aplicados os métodos de previsão de demanda selecionados aos dados históricos disponíveis.

No sexto capítulo, faz-se a análise dos resultados obtidos e são dadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

1 Introdução

A cada ano que passa, as pessoas buscam mais facilidades em seus dia-a-dia. Visando atender este público, no início da década de 90 foram trazidas dos Estados Unidos, pela Coca-Cola, as primeiras máquinas automáticas (*vending machines*).

Em 1994, com a diminuição da inflação e a estabilização da moeda, as máquinas foram equipadas para receber notas e dar troco, o que as tornaram mais acessíveis e, conseqüentemente mais populares. A partir daí surgiram outras máquinas, como máquinas de café, sucos, snacks (biscoitos e chocolates), iogurtes e sanduíches.

Como a produtividade é um dos principais indicadores de desempenho de uma empresa, até mesmo o tempo gasto em refeições é levado em conta em sua análise. Essa busca pela otimização do tempo abre cada vez mais as portas para o mercado de auto-serviços, tornando o nicho de mercado muito atraente para prestadores de serviços através de máquinas automáticas.

Algumas empresas adotam o sistema de *vending machines* como forma de oferecer serviço de alimentação e otimizar o tempo de almoço dos seus funcionários. Com esse sistema, o funcionário se alimenta sem que tenha que deixar a empresa, reduzindo o índice de atrasos na volta ao trabalho.

Por ser um tipo de serviço relativamente novo no Brasil, não existem estudos referentes à demanda dos produtos disponíveis nas máquinas, nem análise dos dados de venda, de maneira a extrair informações que auxiliem no cálculo da previsão da demanda. Uma estimação mais precisa da demanda permitiria minimizar as falhas de atendimento da demanda e as perdas de produto por vencimento, principalmente quando se trata de produtos com alta perecibilidade, como sanduíches.

O desafio básico da gestão de estoques de produtos para as *vending machines* consiste em estimar o consumo previsto entre dois momentos consecutivos de recebimento destes produtos e a correta elaboração de pedidos de

compra. Estas estimativas tornam-se mais críticas no caso de produtos de alta perecibilidade, como os sanduíches.

Ao se receber um volume Q , de um determinado item, no instante t , o que se deseja é que, durante o intervalo de tempo $(t, t+I)$ até o próximo recebimento a demanda observada D seja o mais próxima possível de Q . Portanto, é desejável que a previsão da demanda D ao longo do espaço de tempo correspondente ao intervalo de ressuprimento da máquina seja a mais precisa possível, de modo que a quantidade reabastecida Q evite perdas decorrentes da falta de sintonia com o consumo previsto D .

Caso $D > Q$, tem-se uma demanda não atendida, com uma resultante insatisfação do cliente. A insatisfação contínua do cliente pode resultar no eventual questionamento do contrato de fornecimento. Caso $D \ll Q$ tem-se o excesso de produtos ofertados, com a possível perda do produto por vencimento da validade.

1.1. Descrição dos objetivos

O objetivo desta dissertação é estudar o comportamento da demanda por produtos alimentícios oferecidos aos consumidores por meio de *vending machines*. A dissertação faz uma descrição dos conceitos básicos de previsão e se concentra em dois modelos de previsão para a análise de dados históricos de venda de sanduíches ao longo do tempo, em um ponto de venda específico, a saber: o método de média móvel dupla e o método de amortecimento direto, considerados mais simples e mais promissores.

A dissertação faz também uma revisão bibliográfica relativa ao controle de estoques, como um elemento fundamental da logística de toda a empresa, e identificando os conceitos e metodologias mais fundamentais.

Finalmente, a dissertação desenvolve um estudo de caso com os dados da Tok Take Alimentação Ltda, uma empresa prestadora de serviço de alimentação através de máquinas automáticas.

1.2. Justificativa do trabalho

Uma vez que as perdas de lanche (sanduíches) podem ser bastante significativas, e sendo a previsão da demanda fundamental na redução destas perdas, a execução deste trabalho é justificada.

A escolha da Tok Take como objeto de estudo deve-se ao fato da autora da dissertação trabalhar nesta empresa, o que lhe permite acesso aos dados necessários, além de ser a pessoa responsável pelo processo de solicitação e distribuição dos produtos.

Para a empresa, este trabalho será de grande valia, uma vez que ela poderá utilizar os resultados obtidos para melhorar seu sistema de pedido de sanduíches aos fornecedores e minimizar as perdas por vencimento do prazo de validade.

Este estudo poderá, futuramente, ser estendido a outros produtos comercializados através de máquinas automáticas, como iogurtes e *snacks*, garantindo a elaboração de pedidos com maior precisão, o que é bastante vantajoso do ponto de vista logístico, por meio da redução de estoques (o que gera também ganhos financeiros, uma vez que a diminuição dos estoques implica em menores custos de estocagem).

Além disso, uma maior precisão nos pedidos faz com que haja menor risco de falta de produto, o que gera aumento da satisfação do cliente.

1.3. Metodologia

Primeiramente foi feita uma pesquisa no intuito de conseguir material bibliográfico nas áreas de logística e previsão de demanda que pudesse ter relação com produtos perecíveis, ou que pudesse ser aplicado no tratamento deste tipo de produto.

Entretanto, a Tok Take não possuía dados históricos diários de consumo de lanches que pudessem ser utilizados neste estudo, portanto, era preciso iniciar o registro destes dados.

O estudo piloto foi restrito aos sanduíches, devido ao seu alto grau de perecibilidade, à grande incerteza relacionada ao seu consumo e à sua grande significância para o cliente, pois, juntamente com o suco, forma o kit básico oferecido pela empresa contratante aos seus funcionários. Igualmente, foi escolhido um ponto de venda como referência, pois a análise de dados de mais de

um ponto de venda geraria um volume de dados muito grande, tornando impossível a análise no orçamento e prazo da pesquisa. Após quatro meses de coleta de dados, iniciou-se sua análise.

Com base nas características dos dados obtidos e do produto em questão, fez-se um levantamento dos métodos de previsão que mais se adequariam ao estudo proposto.

1.4. Estrutura da dissertação

Este trabalho é composto de seis capítulos, sendo este primeiro uma introdução ao assunto proposto.

No segundo capítulo, é feita uma breve descrição da empresa analisada e do sistema de distribuição dos sanduíches.

No terceiro capítulo, descreve-se o papel do estoque em uma empresa.

No quarto capítulo, descreve-se como utilizar a previsão de demanda como uma ferramenta logística para as empresas. Além disso, são apresentados alguns métodos estatísticos de previsão de demanda.

No quinto capítulo, são aplicados os métodos de previsão de demanda selecionados aos dados históricos disponíveis.

No sexto capítulo, faz-se a análise dos resultados obtidos e são dadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 Descrição do problema

2.1. Sobre a empresa

A Tok Take Alimentação Ltda é uma empresa do ramo de *vending machines*, fundada em 08 de agosto de 1995 na cidade de São Paulo, e que hoje possui 8 unidades espalhadas pelo Brasil (Campinas, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, Brasília, Salvador, Recife e Fortaleza).

Suas mais de 1500 máquinas instaladas oferecem sucos naturais, sanduíches, refrigerantes, biscoitos, doces, chocolates, café e outras bebidas quentes em clubes, hospitais, lojas de departamento, escritórios, indústrias, escolas, universidades, empresas de *call center*, etc.

Atualmente, existem duas modalidades de contrato dos serviços prestados pela Tok Take:

a) máquinas cedidas gratuitamente, ficando a cargo do cliente pagar somente o que consumir – o abastecimento e a assistência técnica são feitos por profissionais treinados da Tok Take. A contratante deverá providenciar local protegido, energia elétrica e água para funcionamento da máquina.

b) máquinas alugadas mediante pagamento mensal, com comercialização pela Tok Take dos produtos para utilização nas máquinas. A assistência técnica está incluída no valor do aluguel. Nesta modalidade de contrato a empresa solicitante deverá disponibilizar um local protegido, energia elétrica e água para funcionamento da máquina, e fazer o abastecimento e a limpeza das máquinas.

Atualmente, o maior cliente da Tok Take é a TNL Contax, uma empresa de *Call Center* que pertence ao grupo Telemar e que viu no auto-serviço a solução para o problema de alimentação de seus funcionários.

Em empresas de *call center* em geral os operadores de *telemarketing* trabalham 6 horas diárias e, com isso, não possuem 1 hora de almoço, mas apenas 15 minutos de intervalo para que possam fazer um lanche. Seguramente, 15 minutos são insuficientes para que o funcionário se desloque do local de trabalho até um restaurante ou lanchonete onde possa se alimentar. Com as máquinas

automáticas dispostas dentro da empresa, este tempo torna-se suficiente. Devido à significância deste cliente, o problema será tratado com base nos dados e no modelo de serviço prestado ao mesmo.

A Contax utiliza a primeira modalidade de contrato descrita, ou seja, a Tok Take faz o abastecimento e a manutenção das máquinas. A utilização das máquinas ocorre da seguinte maneira: cada funcionário da Contax recebe um *smart card* contendo um *chip* que, diariamente, ao ser colocado na máquina e tendo sua senha digitada, recebe créditos sob a forma de pontos, que são utilizados para retirar os produtos desejados das máquinas. Se num dia o funcionário não quiser utilizar seus créditos, eles se acumulam, podendo ser utilizados quando desejar, desde que sua retirada não ultrapasse 35 pontos em um único dia.

Atualmente, existem 5 tipos de máquinas disponíveis neste cliente:

- Sagoma - máquina de café e outras bebidas quentes como chocolate e leite;
- Royal - máquina de refrigerante em lata e suco em embalagem Pet;
- FAS Suco - máquinas de suco, achocolatado e água de coco (todos em embalagens *tetrapack*);
- FAS Lanche - máquinas de sanduíches e iogurtes, e
- Polyvend - máquinas de *snaks* (biscoitos e chocolates).

Como pode ser visto, a variedade de produtos disponíveis nas máquinas é grande, o que torna difícil prever com precisão o que uma pessoa irá consumir. Analisando os produtos disponíveis nas máquinas, pode-se perceber, pela Tabela 2.1, que o de menor vida de prateleira é o sanduíche, daí a preocupação com o planejamento da quantidade deste item a ser comprada a cada pedido.

PRODUTO	CATEGORIA	VALIDADE
SANDUÍCHES	Lanche	5 dias
IOGURTE POLPA DE FRUTAS	Iogurte	45 dias
IOGURTE LÍQUIDO	Iogurte	45 dias
COCA COLA LIGHT LATA	Bebida fria	3 meses
BATATA CHIPS TORCIDA	Snacks	4 meses
SCHIN GUARANÁ	Bebida fria	4 meses
BACONZITOS	Snacks	4 meses
ACHOCOLATADO	Bebida fria	6 meses
BOLINHO BAUDUCCO	Snacks	6 meses
CHOCOLATE COM LEITE	Bebida quente	6 meses
LOOK	Snacks	6 meses
TORCIDA	Snacks	6 meses
BARRA DE CEREAIS	Snacks	1 ano
BEL CHOCOLATE	Snacks	1 ano
COCA COLA LATA	Bebida fria	1 ano
LEITE EM PÓ	Bebida quente	1 ano
SUCO SUFRESH	Bebida fria	1 ano

Tabela 2.1 – Produto x validade

2.2. A Tok Take no Rio de Janeiro

2.2.1. Estrutura da empresa

A estrutura da filial do Rio de Janeiro é composta de uma sede no centro da cidade (parte administrativa e um depósito central), e de outros 5 depósitos localizados nas instalações de clientes, sendo 4 na Contax e 1 na TMKT (outra empresa de *call center* à qual presta serviço). No depósito central é feito todo o recebimento e o armazenamento das mercadorias a serem distribuídas aos diversos clientes.

O organograma da empresa está representado a seguir na Figura 2.1.

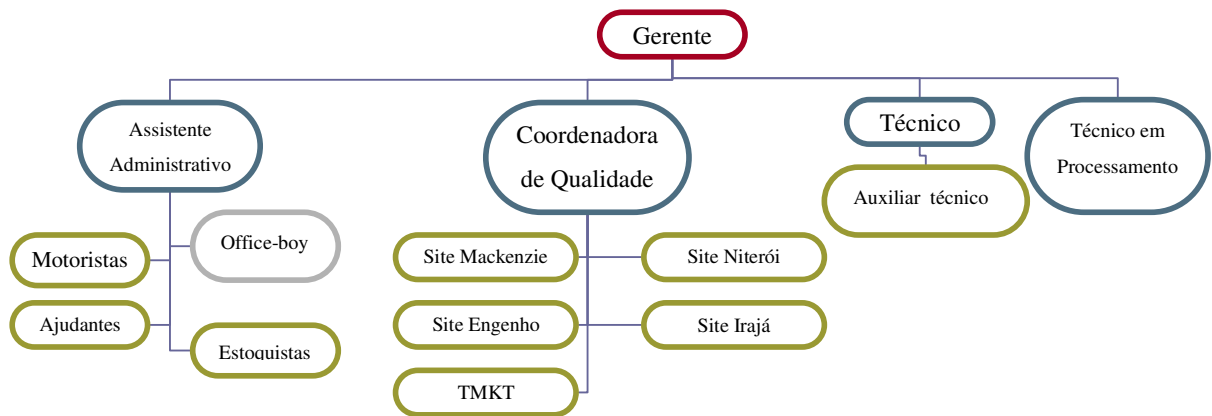


Figura 2.1 – Organograma da empresa

Como mostra a Figura 2.1, a filial do Rio de Janeiro é dividida em 5 áreas: a gerência, o setor administrativo, a qualidade, a área técnica e o processamento. O setor administrativo engloba 1 assistente administrativo, 1 *office-boy*, 2 estoquistas, 2 motoristas e 2 ajudantes de entrega. A área da qualidade é composta pela coordenadora de qualidade, que também responde pelos sites (área operacional). A área técnica inclui, além do técnico em manutenção, um auxiliar técnico. A área de processamento de dados é composta apenas de um técnico em processamento de dados.

A distribuição é feita em carro próprio (a empresa possui dois carros de entrega, sendo um deles parcialmente refrigerado), à exceção dos sanduíches, que são parcialmente distribuídos diretamente pelo fornecedor.

Como mencionado anteriormente, a maior dificuldade no gerenciamento de estoque da Tok Take se refere ao controle dos sanduíches comercializados, uma vez que a demanda é volátil e os lanches possuem vida de prateleira de apenas cinco dias.

2.2.2. Distribuição dos sanduíches

No caso de sanduíches, dentre os clientes da Tok Take, apenas a Contax e a TMKT consumiam este tipo de produto. A Contax, no Rio de Janeiro, possui quatro prédios onde se espalha sua operação, sendo um no centro do Rio (cerca de 2.000 funcionários), um em Engenho de Dentro (aproximadamente 800 funcionários), um em Irajá (perto de 300 funcionários) e o maior deles no centro de Niterói (com quase 4.000 funcionários). Estes prédios são chamados de *sites*.

Pela sua evidente relevância, o estudo de caso foi feito sobre o *site* de Niterói. Neste prédio a Tok Take possui um depósito, onde são estocadas as mercadorias que serão utilizadas no abastecimento das máquinas, e 34 máquinas dispostas em seis salas de lanches.

Tratando-se de sanduíches, eles podem ser consumidos de duas maneiras. A primeira é a retirada da máquina com o uso do cartão de lanche e a outra é através de kit lanche, solicitados pela Contax e retirados na sala de estoque da Tok Take. Para a utilização do cartão o operador precisa introduzi-lo em um leitor e digitar sua senha. Feito isso, automaticamente são creditados os pontos diários à que o operador tem direito. Com os créditos, ele pode retirar o produto que quiser da máquina que desejar. Já os kits são formados de um sanduíche e um suco, e são solicitados pela Contax para alimentação dos operadores em treinamento ou aqueles que vão precisar fazer hora extra, a pedido da empresa.

No início do estudo, os sanduíches eram comprados de dois fornecedores, sendo um em São Paulo (Fili D'oro) e outro no Rio de Janeiro (Comissaria Rio). A Comissaria Rio fazia entrega toda segunda-feira diretamente aos depósitos dos sites. A Fili D'oro fazia entregas de terça a sexta-feira na filial Rio, que depois os distribuía aos sites em veículo próprio.

No intuito de melhorar a qualidade dos dados que originavam a previsão de demanda, ao final de cada dia, alguns dados passaram a ser coletados: quantidade de sanduíches nas máquinas (obtido através da contagem dos estoques nas

máquinas), quantidade de kits lanche entregues, quantidade de lanches no estoque central e o número de perdas do dia (vencimento, danificação, etc).

A coleta dos dados era feita através de telefone, sendo o estoquista responsável por ligar para a coordenadora de qualidade (pessoa responsável pelos pedidos de compra), passando estas informações. A quantidade em estoque no final do dia (máquinas + sala de estoque), somada à quantidade que entrou durante o dia, e subtraída da perda e das amostras, fornece a quantidade consumida (em máquinas e em kits lanche). O pedido de compra então, passou a ser feito com base no consumo diário e semanal, e não mais no pedido anterior. Os pedidos eram enviados aos fornecedores toda quinta-feira, para entrega na semana seguinte.

Para ter um maior controle do estoque e um maior tempo de reação às oscilações da demanda, um novo fornecedor foi desenvolvido no Rio de Janeiro: a Craque do Pão. Este novo fornecedor passou então a entregar sanduíches de segunda à sexta, diretamente nos sites, enquanto a Comissaria Rio passou sua entrega para o sábado.

Além do melhor desempenho logístico, uma vez que os sanduíches não eram mais entregues na filial para serem armazenados e posteriormente distribuídos, a qualidade dos lanches oferecidos aumentou e muito, e o melhor, a um preço de custo mais baixo do que os praticados anteriormente.

O gerenciamento do estoque e os pedidos de compra dos sanduíches ficam a cargo da coordenadora de qualidade, que baseia seu pedido na média aritmética do pedido de compra da semana anterior, e não no consumo, sendo toda a análise feita de modo intuitivo, sem o apoio de softwares ou qualquer outro recurso científico.

Neste trabalho, os dados históricos de consumo serão analisados por dois modelos de previsão de demanda, na intenção de identificar aquele que mais se adequa ao comportamento dos dados e assim conseguir uma previsão de demanda mais precisa, de maneira que os pedidos de compra possam ser baseados nesta previsão.

3 A logística em uma empresa

3.1. Definição

A definição proposta por Ronald Ballou (1993) para logística empresarial é:

“A logística empresarial trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável”.

Segundo ele, esta definição identifica atividades básicas para se atingir os objetivos logísticos de custo e nível de serviço. Estas atividades, também chamadas atividades primárias, são as atividades de transporte, estoques e processamento de pedidos. A seguir, tem-se uma breve descrição dessas atividades.

3.1.1. Atividades primárias

As atividades de transporte, estoque e processamento de pedidos são consideradas de importância primária para o atingimento dos objetivos logísticos de custo e nível de serviço porque, ou contribuem com a maior parcela do custo total da logística, ou são essenciais para a coordenação e cumprimento da tarefa logística.

Transportes

Esta atividade absorve, em média, de um a dois terços dos custos logísticos. É essencial, pois nenhuma firma pode operar sem providenciar a movimentação de suas matérias-primas ou de seus produtos acabados. O transporte refere-se aos vários modos para se movimentar produtos podendo ser rodoviário, ferroviário, aeroviário ou hidroviário, sendo os três primeiros os mais populares.

Estoques

A fabricação de um produto e sua entrega imediata ao cliente nem sempre é viável, pois os custos de transporte são altos, fazendo-se necessária a formação de carga total de um caminhão para justificar seu envio, por isso, estoques são mantidos como forma de ter produtos disponíveis para atender à demanda.

Essa atividade é responsável por aproximadamente um a dois terços dos custos logísticos e por isso sua administração envolve manter seus níveis tão baixos quanto possíveis, ao mesmo tempo em que provê a disponibilidade desejada pelos clientes.

Este item é de fundamental importância no desenvolvimento deste estudo e por isso será descrito mais detalhadamente neste capítulo.

Processamento de pedidos

Comparado aos custos de transporte ou de manutenção de estoques, os custos de processamento de pedidos tendem a ser pequenos. Essa é a atividade primária que inicializa a movimentação de produtos, e a entrega de serviços, e sua importância se deve ao fato de ser um elemento crítico em termos do tempo necessário para levar bens e serviços aos clientes.

3.1.2. Atividades de apoio

Além das atividades primárias, outras atividades, denominadas atividades de apoio, contribuem para a disponibilidade e a condição física de bens e serviços. São elas:

- Armazenagem – trata do espaço para manter estoques;
- Manuseio de materiais – está relacionado à movimentação do produto no local de estocagem;
- Embalagem de proteção – visa à movimentação do produto sem danificá-lo;
- Obtenção – trata do suprimento, ou seja, é a atividade que cuida da seleção de fornecedores, das quantidades a serem compradas, da programação de compras e da forma que o produto será comprado. Por não envolver negociação de preço e avaliação de vendedores, esta função não pode ser confundida com a função de compras;
- Programação de produtos – trata da distribuição (fluxo de saída). Envolve a programação detalhada de produção;

- Manutenção de informação – refere-se à manutenção de uma base de dados com informações importantes para a administração das atividades primárias e de apoio (exemplo, localização de clientes e níveis de estoque).

3.2. A missão da logística

Segundo Bowersox & Closs (2001), “o objetivo da logística é tornar disponíveis produtos e serviços no local onde são necessários, no momento em que são desejados”.

Nota-se que a logística existe para satisfazer às necessidades do cliente, facilitando as operações relevantes de produção e marketing. O difícil é equilibrar as expectativas de serviços e os gastos, de modo a alcançar os objetivos do negócio, pois dependendo do tipo de atividade, da área geográfica de operação e da relação peso/valor dos produtos e materiais, os gastos logísticos podem representar de 5 a 35% do valor das vendas, (Bowersox & Closs, 2001).

3.2.1. Serviços

Se a empresa estiver disposta a investir, é possível alcançar qualquer nível de serviço logístico. Entretanto, deve haver um equilíbrio entre a qualidade do serviço e seus custos. O serviço logístico pode ser medido em termos de (a) disponibilidade, (b) desempenho operacional e (c) confiabilidade do serviço.

Disponibilidade

A disponibilidade está relacionada à manutenção constante de estoque para atender às necessidades de produto do cliente.

É importante ressaltar que, como dito anteriormente, um estoque mais alto implica em maior investimento no próprio estoque.

Desempenho operacional

Está relacionado ao tempo de entrega da mercadoria a partir do recebimento do pedido. Um bom desempenho operacional está relacionado com a velocidade e consistência das entregas, com a flexibilidade em atender solicitações repentinas de seus clientes e com o tempo de recuperação em caso de falha na entrega (produtos avariados, sortimento incorreto etc).

Confiabilidade do serviço

É a medida de qualidade da logística, pois envolve a mensuração precisa da disponibilidade e do desempenho logístico. Um serviço logístico só será confiável se obtiver bom desempenho nos itens anteriores.

3.2.2. Custo total

O custo total é aquele em que estão incluídos todos os gastos necessários para executar as exigências logísticas. O nível adequado de custos logísticos está relacionado com o desempenho desejado do serviço. A obtenção de grande disponibilidade, confiabilidade e desempenho operacional têm um alto custo, porém a chave é o equilíbrio (dificilmente o custo total mais baixo ou o melhor serviço ao cliente é a estratégia logística mais apropriada).

3.3. O papel do estoque na empresa

Como mencionado anteriormente, a manutenção de estoques é utilizada como forma de ter produtos disponíveis para atender à demanda. Mas não é só esta a sua finalidade. Entre elas pode-se destacar (Ballou, 1993):

- melhora no nível de serviço;
- incentivo de economia na produção;
- permite economias de escala nas compras e no transporte;
- age como proteção contra aumentos de preços;
- protege a empresa de incertezas na demanda e no tempo e quantidade de ressuprimento, e
- serve como segurança contra contingências.

Melhorar o nível de serviço

As quantidades a serem estocadas dependem, entre outras coisas, do nível de serviço que se deseja prestar ao cliente. O objetivo é fornecer o serviço desejado, de forma consistente, mantendo o menor estoque possível e com o menor custo total possível. O baixo nível do estoque deve ser compensado com um alto giro dos produtos estocados. Com isso, a empresa ganha com o giro do capital investido e com a garantia da satisfação do cliente.

Incentivar economias na produção

A fabricação de grandes lotes (com o mesmo tamanho) pode contribuir para a redução do custo unitário de produção. Estoques garantem uma produção mais constante, uma vez que agem como reguladores entre a oferta e a demanda.

Permitir economias de escala nas compras e no transporte

O emprego de grandes lotes novamente pode contribuir para a diminuição de custos. Lotes equivalentes à capacidade dos veículos possibilitam descontos no transporte, gerando custos de fretes unitários menores. Da mesma forma, frequentemente descontos são conseguidos na compra de mercadorias em lotes maiores.

Proteção contra alterações nos preços

Quando há previsão de aumento de preços de insumos, compras podem ser antecipadas, o que acaba gerando estoques.

Proteção contra oscilações na demanda ou no tempo e quantidade de ressurgimento

Devido às incertezas na demanda, no tempo e na quantidade de ressurgimento, estoques de segurança são somados aos estoques regulares, como forma de prevenção a possíveis falhas.

Proteção contra contingências

Manter estoques de reserva é uma maneira da empresa se prevenir contra contingências supressoras do ressurgimento, como greves, inundações e incêndios.

Do ponto de vista logístico, o gerenciamento de estoques envolve alto risco e alto impacto, porque, além de um estoque excessivo aumentar os custos, reduzindo a lucratividade de uma empresa, a falta de estoques também gera outros sérios problemas. Em empresas industriais, a falta de produto acabado pode ocasionar perda de vendas e conseqüente insatisfação ao cliente, enquanto a falta de matéria-prima pode até mesmo parar uma linha de produção, aumentando seus

custos e podendo ocasionar a falta do produto acabado e conseqüente perda de vendas.

Para entender a importância atribuída ao estoque, deve-se ter uma visão dos ativos nele investidos. Muitas empresas possuem uma parcela significativa de seus ativos aplicada em estoques, por isso, a redução desses recursos resulta em aumento da lucratividade através da redução do custo financeiro.

A capacidade que as cadeias de suprimento têm de intercâmbio de informações e redução de incertezas na demanda e nos tempos de ciclo contribuem para a redução do estoque.

3.4. Tipos de estoque

Em um ambiente de operações produtivas, pode-se pensar em vários tipos de estoques: (a) estoque de matérias-primas e componentes, (b) estoque de material em processo e (c) estoque de produto acabado.

Estoque de matérias-primas e componentes

É utilizado para regular as variações entre o que é recebido dos fornecedores e o que é solicitado pela produção. Esta variação entre o suprimento e a demanda pode ocorrer devido à falta de confiança no fornecedor em termos da data de entrega e da quantidade a ser entregue, ou devido ao excesso de consumo pela produção.

Estoque de material em processo

Regula possíveis variações nas taxas de produção entre duas etapas subsequentes.

Estoque de produtos acabados

Como nos demais tipos de estoque, serve como regulador entre duas etapas, sendo agora as etapas de produção e de demanda do mercado.

3.5. Gestão de estoques

O controle de estoques é muito importante, pois as empresas trabalham com pequenas margens de lucro e qualquer erro, mesmo que pequeno, na gestão de estoques, pode causar prejuízos.

Para as empresas do varejo a gestão de estoques gira em torno da compra e da venda de produtos acabados, dando especial atenção ao giro de estoque e à lucratividade do produto. O giro de estoque (calculado dividindo-se o valor das vendas anuais pelo valor médio dos estoques) é frequentemente empregado para indicar a velocidade do giro de capital.

O capital absorvido pelo estoque poderia ter sido investido em outras atividades de uso potencial para a empresa, ou seja, há um custo de oportunidade. A importância do aumento da rotatividade do estoque é que libera ativo e economiza esse custo de oportunidade, os custo de manutenção de inventário (geralmente superior a 20% do seu valor médio ao ano).

3.5.1. Classificação de produtos

3.5.1.1. Classificação por tipo de demanda

Uma medida que facilita o controle de estoques e dividi-lo em classes. A classificação, segundo a natureza de sua demanda, é uma das melhores maneiras de classificar estoques.

Demanda permanente

A demanda de um produto é considerada permanente quando não existem grandes picos ou vales de consumo ao longo de um ano, dando a impressão de que estes produtos ainda serão comercializados por um longo tempo. Estoques para este tipo de demanda requerem suprimento contínuo e periódico.

Demanda Sazonal

A principal característica deste tipo de demanda é que pode ser considerada pelo estoque como tendo um único pico. Para produtos com alta sazonalidade, deve-se levar em conta uma previsão acurada da demanda futura.

Demanda Irregular

Determinados produtos apresentam demanda tão irregular que sua previsão de vendas torna-se um grande desafio, principalmente para aqueles produtos com tempo de ressuprimento muito longo ou pouco flexível.

Demanda em declínio

A vida de um produto pode chegar ao fim, encerrando um ciclo de vida. O declínio da demanda pode ser gradual, sendo os estoques diminuídos também gradativamente, ou subitamente, mas deve ser sempre planejado. A previsão de demanda neste caso torna-se menos importante. O fundamental passa a ser o planejamento de quando e quanto deve ser estocado a cada período.

Demanda derivada

Para alguns produtos, sua demanda depende da demanda de produtos acabados que os utilizam, daí a denominação de demanda derivada ou demanda dependente. O estoque de um produto com este tipo de demanda depende da demanda dos produtos acabados e, portanto, sua demanda é calculada a partir da demanda prevista para os produtos acabados que os utilizam.

A Figura 3.1 mostra uma comparação entre os tipos de demanda descritos acima.

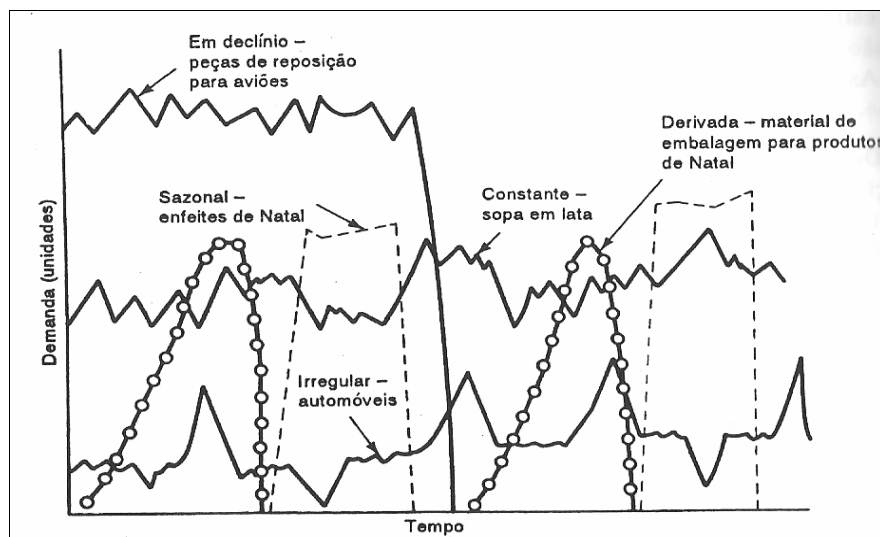


Figura 3.1 – Exemplo de vários tipos de demanda do produto

Fonte: Ballou, 1993 (p.210)

3.5.1.2. Classificação abc

Este tipo de classificação agrupa produtos com características similares, a fim de facilitar seu gerenciamento. Esta classificação deve ser compatível com a estratégia da empresa e com os objetivos de prestação de serviços aos clientes.

Esta classificação se baseia em fatores como vendas, valor dos estoques, contribuição para o lucro, rotação (giro) e natureza do produto. A classificação por vendas, por ser a mais utilizada, será a tratada aqui.

Classificação por vendas

Os produtos são classificados com base no valor das vendas e relacionados em ordem decrescente. Na maioria das empresas, um grande valor de vendas é obtido por um pequeno número de itens, sendo a proporção 80/20, ou seja, 80% do valor de vendas é gerado por 20% dos itens. Esta proporção é conhecida como regra 80/20 ou como lei de Pareto.

Após a ordenação por valor de vendas, os grupos são formados e identificados. O grupo composto por produtos de alto volume ou alta rotação é geralmente identificado pela letra “C”. O grupo dos produtos de volume e rotação moderados recebe a letra “B” e os produtos de baixo volume ou baixa rotação são classificados na categoria “A”. A partir desta classificação, surgiu a denominação análise ABC, dada a este sistema.

Este sistema de classificação orienta o estabelecimento de estratégias de estoque. Assim, por representarem o menor volume de capital aplicado em estoques, os produtos classificados como “C”, são normalmente escolhidos para prestação de maiores níveis de serviço aos clientes, o que faz com que o estoque de segurança destes produtos seja mais alto.

3.6. Planejamento do estoque

No planejamento do estoque, três aspectos são fundamentais: (a) quando fazer o pedido de ressuprimento, (b) quanto pedir e (c) definir procedimentos de controle.

A definição de quando e quanto pedir é importante para que o estoque possa atender às necessidades da demanda. A maneira como estas questões serão

definidas é o que diferencia os diversos sistemas de gestão de estoques disponíveis. Um único centro de distribuição será considerado, uma vez que a demanda e as condições de ressuprimento costumam ser diferentes para cada local.

3.6.1. Determinando o ponto de ressuprimento

Uma forma de se determinar quando pedir constitui o conhecimento do ponto de ressuprimento. A finalidade do ponto de ressuprimento (ou ponto de reposição) é dar início ao processo de ressuprimento com antecipação suficiente para não ocorrer falta de material durante o período mínimo de ressuprimento, conhecido como *lead time*.

O ponto de ressuprimento, definido por item e por centro de distribuição, pode ser estabelecido em unidades ou em dias de suprimento. A Figura 3.2 mostra o comportamento típico de consumo e reposição de um item em estoque no sistema de quantidade fixa com período variável.

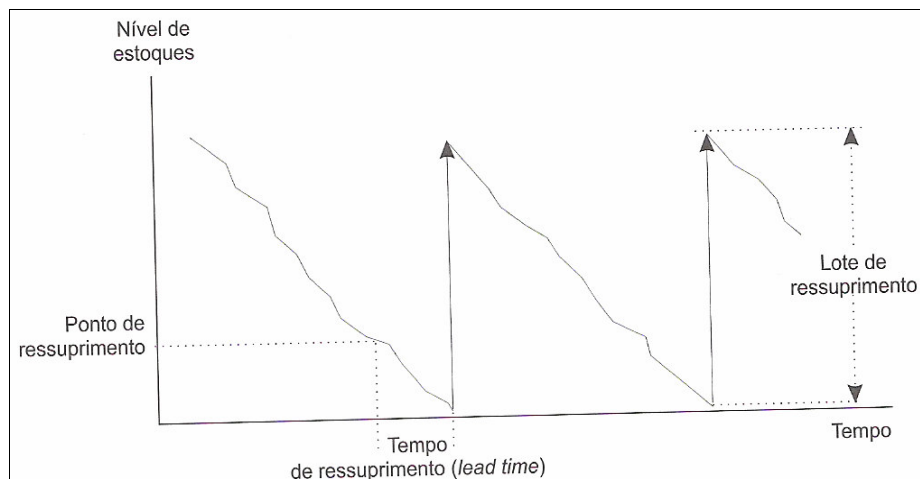


Figura 3.2 – Modelo de ponto de ressuprimento.

Fonte: Corrêa e outros, 2001 (p.58)

Em condições de certeza, ou seja, quando a taxa de consumo (demanda) e o tempo de ressuprimento (*lead time*) são conhecidos, o ponto de ressuprimento é calculado através da fórmula:

$$PR = D * LT \quad (3.1)$$

onde

PR = ponto de ressuprimento (em unidades de produto)

D = demanda diária média

LT = duração média do tempo de ressuprimento

Esta fórmula parte do princípio de que a chegada do ressuprimento acontecerá quando a última unidade de produto do estoque for expedida para o cliente.

Em condições de incerteza, a formação de um estoque adicional, chamado estoque de segurança, torna-se necessária. Este estoque é utilizado quando a demanda pode superar as quantidades mantidas em estoque, ou quando o tempo de ressuprimento pode ser maior que o esperado, ou mais propriamente, quando a demanda durante o tempo de resuprimento pode ser maior do que a demanda esperada.

Quando a manutenção deste estoque é necessária, o ponto de ressuprimento passa a ser calculado através da seguinte fórmula:

$$PR = D * LT + ES \quad (3.2)$$

onde

PR = ponto de ressuprimento (em unidades de produto)

D = demanda diária média

LT = duração média do tempo de ressuprimento

ES = estoque de segurança

O cálculo do estoque de segurança será tratado mais adiante.

3.6.2. Determinando o tamanho do lote de reposição

3.6.2.1. Modelo de estoques e lote econômico

A determinação do tamanho do lote de ressuprimento visa o equilíbrio entre o custo de manutenção de estoque (custo de oportunidade e outros de armazenagem) e o custo de emissão e colocação de pedidos a fornecedores (custo fixo de se fazer o pedido). Estas relações básicas estão ilustradas na Figura 3.3.

Os custos de armazenagem (CA) são calculados multiplicando o estoque médio (tamanho do lote Q dividido por dois) pelo custo unitário anual de estocagem (C_e):

$$CA = C_e * \frac{Q}{2} \quad (3.3)$$

Os custos de pedido (CP) são calculados multiplicando os custos fixos de um pedido (C_f) pelo número total de pedidos feitos ao longo do ano (demanda anual (D) dividida pelo tamanho do lote (Q):

$$CP = C_f * \frac{D}{Q} \quad (3.4)$$

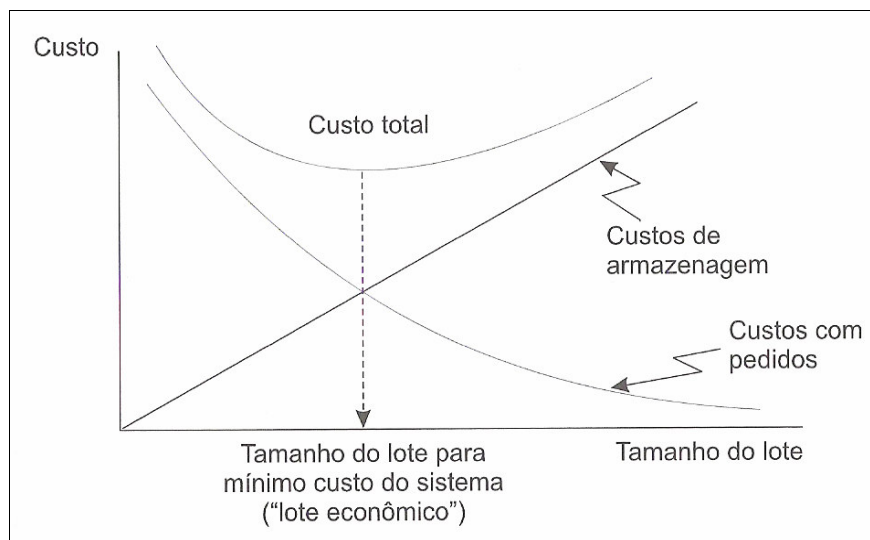


Figura 3.3 – Custos x tamanho do lote de ressuprimento.

Fonte: Corrêa e outros, 2001 (p.61)

A soma dos custos de armazenagem e dos custos de pedido resulta no valor do custo total. O ponto em que o custo total é mais baixo determina o tamanho do lote denominado lote econômico de reposição.

Assim o tamanho do lote econômico de reposição é dado pela fórmula de lote econômico de compra:

$$Q_E = \sqrt{\frac{2 * D * C_f}{C_e}} \quad (3.5)$$

onde

Q_E = Lote econômico

D = Demanda anual

C_f = Custos fixos de um pedido

C_e = Custo unitário anual de estocagem

Esta fórmula, porém, considera algumas hipóteses que restringem sua aplicação: (a) atendimento de toda demanda; (b) taxa de demanda conhecida, constante e contínua; (c) tempos de ressurgimento conhecidos e constantes; (d) valor constante do produto em estoque; (e) horizonte de planejamento infinito; (f) ausência de interação com outros itens do estoque; (g) inexistência de estoque em trânsito; (h) disponibilidade ilimitada de capital e espaço de armazenagem e (i) não perecibilidade. Algumas destas restrições podem ser superadas mediante cálculos complementares.

3.6.2.2. Modelo de revisão periódica

O método de determinação do tamanho do lote de reposição apresentado anteriormente é também conhecido como ‘quantidade fixa, período variável’. Seu funcionamento não é tão eficaz quando mais de um produto é comprado do mesmo fornecedor em instantes diferentes (o que prejudica a obtenção de vantagens adquiridas com grandes volumes).

Nestes casos, um outro método é aplicado, conhecido como ‘quantidade variável, período fixo’ ou ‘reposição periódica’.

Este modelo funciona da seguinte forma: a posição do estoque do item é verificada periodicamente, em um período de revisão (P) e com base na diferença entre um nível máximo (M) e o nível de estoque encontrado (E), encontra-se a quantidade a ser solicitada.

O cálculo da quantidade a ser pedida é feito através da fórmula a seguir:

$$Q = M - (E + QP) \quad (3.6)$$

onde

Q = Quantidade a pedir

M = Estoque máximo

E = Estoque encontrado

QP = Quantidade pendente (solicitada anteriormente)

O nível máximo é definido através da equação a seguir:

$$M = D * (P + LT) + ES \quad (3.7)$$

onde

M = Estoque máximo

D = Taxa de demanda

P = Período de revisão

LT = tempo de ressuprimento

ES = Estoque de segurança

3.6.2.3. Definição do estoque de segurança

Como mencionado anteriormente, o estoque de segurança é o estoque mantido para suprir as flutuações da demanda durante o período de ressuprimento. A quantidade de estoque de segurança a ser mantida é função do nível de incerteza da demanda. Por isso, é necessário conhecer as características das variações da demanda em torno da média.

Supondo que a demanda real, a cada período de tempo, PP, se comporta como uma variável aleatória normal independente, precisa-se descobrir os valores da média (μ) e do desvio-padrão (σ), valores característico de uma distribuição normal.

De posse destes valores é possível determinar qual o nível de estoque de segurança necessário para atender a determinado nível de serviço para um sistema com ponto de ressuprimento. A relação entre nível de serviço e estoque de segurança é dada por:

$$ES = FS * \sigma * \left[\frac{LT}{PP} \right]^{-1/2} \quad (3.8)$$

onde

FS = fator de segurança, que é função do nível de serviço que se pretende

σ = desvio-padrão estimado para a demanda futura em um período de tempo

PP

LT = *Lead time* de ressuprimento

PP = periodicidade à qual se refere o desvio-padrão

O fator de segurança é um valor tabelado para vários possíveis níveis de serviço, neste caso definido como a probabilidade de não haver faltas num ciclo de estoque (ver Tabela 3.1):

Nível de serviço	Fator de serviço
50%	0
60%	0,254
70%	0,525
80%	0,842
85%	1,037
90%	1,282
95%	1,645
96%	1,751
97%	1,880
98%	2,055
99%	2,325
99,9%	3,100
99,99%	3,620

Tabela 3.1 – Fator de segurança x nível de serviço.

Fonte: Corrêa e outros, 2001 (p.65)

No caso de modelos de previsão periódica, o estoque de segurança é calculado de forma similar ao calculado em sistemas de reposição e lote econômico (como descrito acima). A diferença principal está no período de incerteza, que além do lead time passa a considerar também o período de revisão. A fórmula para o cálculo do estoque de segurança em modelos de previsão periódica é:

$$ES = FS * \sigma * \sqrt{(P + LT) / PP} \quad (3.9)$$

onde

FS = Fator de segurança

σ = desvio-padrão dos erros de previsão

P = Período de revisão

LT = *Lead time*

PP = período a que se refere o desvio-padrão dos erros de previsão

3.6.3. Controle de estoques

Algumas características são comuns a todos os tipos de estoque: matérias-primas, produtos em processo ou produtos acabados. São elas: (a) os custos do estoque, (b) os objetivos do estoque e (c) a previsão de incertezas.

3.6.3.1. Custos do estoque

As três categorias de custos associadas aos estoques são: (a) custos de manutenção, (b) custos de compra e (c) custos de falta de estoque.

Custos de manutenção de estoques

São todos os custos necessários para se manter o estoque de uma quantidade de produto disponível por um período de tempo. Os seguintes itens são incluídos no custo de manutenção de estoques:

- a) custo de oportunidade do capital – este custo deve ser levado em conta quando se fala em custo de manutenção de estoques, porque o estoque imobiliza capital que poderia ser aplicado de forma alternativa.
- b) custo associado ao seguro - este custo é indiretamente relacionado com a quantidade de mercadoria mantida. É em geral calculado com base na estimativa de risco, ou exposição a risco em determinado período.
- c) custo de armazenagem - é aquele relacionado com a quantidade de estoque mantida, sem considerar o custo de manuseio dos produtos. É atribuído especificamente aos produtos, pois não tem relação direta com o valor do estoque. O rateio do total gasto na armazenagem deve ser determinado para cada nível de estoque.
- d) Custo relacionado ao risco de manter estoques – são os custos de perdas devidas à deterioração, obsolescência, dano e furto e que não estão cobertos pelo seguro.

Custos de compra

São todos os custos necessários para a aquisição de produtos para a reposição do estoque. Entre eles estão: (a) o custo de processar o pedido; (b) o

custo para enviar o pedido ao fornecedor; (c) o custo de preparação da produção; (d) o custo de manuseio na recepção de mercadorias; e (e) o preço da mercadoria.

Custos de falta

A falta de produto para suprir a demanda pode incorrer em dois tipos de custo: (a) o custo de vendas perdidas; e (b) o custo de atrasos.

- a) Custo de vendas perdidas – na falta de disponibilidade de um produto solicitado por um cliente, este pedido pode ser cancelado, gerando custos como o lucro perdido na venda e a perda de lucro futuro, uma vez que a má impressão causada pode fazer com que futuramente este cliente deixe de fazer outros pedidos.
- b) Custo de atrasos – Caso o cliente aceite a entrega posterior, custos, como transporte extraordinário e manuseio, são assumidos pela empresa.

3.6.3.2. Objetivos do estoque

3.6.3.2.1. Objetivos de custo

Em relação aos custos, o objetivo do estoque é balancear os custos de manutenção de estoques, de aquisição e de faltas, de modo que se obtenha o menor custo total.

3.6.3.2.2. Objetivos de nível de serviço

Como, hoje em dia, os produtos comercializados tendem a se igualar em termos de especificações e vantagens para o cliente, as empresas se viram obrigadas a buscar meios de se diferenciarem umas das outras. Uma das maneiras encontradas foi a diferenciação pelo nível de serviço oferecido ao cliente.

Assim, na cadeia de suprimentos, o sistema logístico deve, ao mesmo tempo, gerar transações de menor custo total e maximizar o serviço ao cliente.

Segundo La Londe: “O serviço ao cliente é um processo cujo objetivo é fornecer benefícios significativos de valor agregado à cadeia de suprimento de maneira eficiente em termos de custo”.

Quando se fala de serviço ao cliente, refere-se a todas as atividades envolvidas no processo de recebimento, processamento, entrega e faturamento do pedido do cliente, bem como a pontualidade e confiabilidade na entrega de materiais, de acordo com a expectativa do cliente.

Segundo Bowersox (2001), o serviço ao cliente pode ser medido a partir de três fatores fundamentais: disponibilidade, desempenho e confiabilidade.

Disponibilidade

É a capacidade de ter o produto em estoque para o pronto atendimento das necessidades do cliente. A maneira mais simples de gerenciar a disponibilidade é manter estoques em locais próximos ao cliente. Este estoque pode ser dividido em estoque básico e estoque de segurança.

O estoque básico é aquele dimensionado para atender às demandas básicas do cliente. O estoque de segurança, entretanto, tem a função de atender às demandas acima dos volumes previstos, compensando erros de previsão e amenizando atrasos de entrega de reabastecimento do estoque básico. Assim, quanto maior for o comprometimento da empresa contra faltas de estoque, maior será o estoque de segurança.

O grau de disponibilidade pode ser medido através de três fatores:

- a) Frequência de faltas de estoque – uma falta de estoque ocorre quando a demanda ultrapassa a quantidade de um produto que está disponível. A frequência com que isto ocorre é a chamada frequência de faltas de estoque. Entretanto, esta medida não leva em conta a importância do produto em falta.
- b) Índice de disponibilidade – este índice leva em conta a quantidade pedida pelo cliente e a quantidade que se tem disponível, ou seja, se o cliente solicitou 100 unidades de determinado produto e o fornecedor possui apenas 95 em estoque, significa que o índice de disponibilidade é de 95%. Para medir corretamente este índice é preciso avaliar o desempenho por um período de tempo, levando em conta vários pedidos do cliente. Um índice de disponibilidade pode ser bom para determinado produto e ruim para outro, por isso, a importância do produto para o cliente deve ser levada em consideração na avaliação deste índice, ou seja, a falta de um produto de baixo giro pode não significar transtornos ao cliente, enquanto que a falta de um produto essencial para ele pode criar grande insatisfação.
- c) Expedição de pedidos completos – avalia a capacidade da empresa de ter em estoque todos os itens solicitados pelo cliente.

Desempenho

O desempenho operacional está relacionado com o prazo de execução esperado e o efetivamente cumprido. Pode ser medido através de:

- a) Velocidade – relacionada à velocidade desde a colocação de um pedido até sua entrega ao cliente. A velocidade de entrega depende da negociação feita com o cliente, uma vez que, normalmente, uma maior rapidez na entrega significa custo mais alto.
- b) Consistência – é a capacidade de cumprimento constante dos prazos de entrega pré-estabelecidos. A consistência é fundamental, uma vez que a falta da mesma significa a necessidade de um estoque de segurança maior como prevenção aos atrasos na entrega.
- c) Flexibilidade – é a capacidade que a empresa possui de lidar com solicitações extraordinárias de serviço dos clientes. Alguns exemplos de solicitações extraordinárias são: mudanças no destino de entrega, introdução de novos produtos ou retirada de comercialização de produtos, modificação ou customização de produtos dentro do sistema logístico, entre outros.
- d) Falhas e recuperação – nenhuma empresa é à prova de falhas, por isso é fundamental que existam planos de contingência a serem executados no caso de detecção de algum erro.

Confiabilidade

A confiança no fornecedor tem sido uma busca constante por parte do cliente. A forma mais eficaz de se conquistar essa confiança está na troca de informações precisas sobre informações logísticas e status do pedido. Situações de falta são até mesmo toleradas pelos clientes, desde que tenham sido devidamente informadas, com a antecedência adequada.

Cada empresa deve, antes de tudo, determinar qual é o nível de serviço que deseja atingir para cada cliente. Isso é fundamental, pois quanto mais alto o nível de serviço, maiores os custos envolvidos na sua manutenção (maiores estoques de segurança, meios de transporte mais eficientes, um número maior de unidades de armazenagem e distribuição etc) e nem todos os clientes estão dispostos a pagar por eles.

A definição do nível de serviço a ser atendido influencia diretamente na questão dos custos, pois, com a disponibilidade de estoque, os custos de aquisição e de manutenção de estoques deverão se ajustar, de modo que sua soma seja minimizada.

O aumento do nível de estoque disponível para atender ao nível de serviço determinado deve ser feito com cautela, devido ao seu efeito sobre o capital investido (como mostra a Figura 3.4).

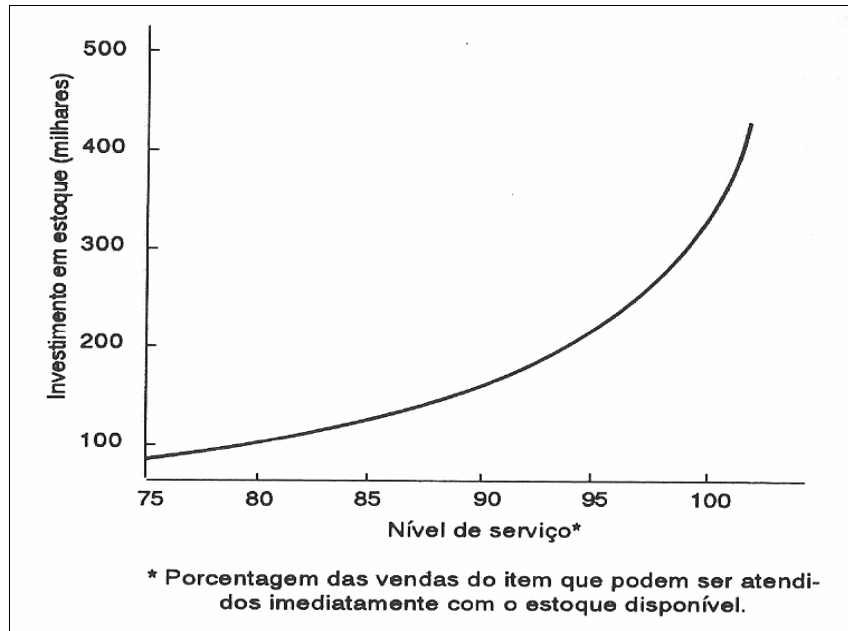


Figura 3.4 – Relação entre investimento e nível de serviço.

Fonte: Ballou, 1993 (p.214)

3.6.3.3. Incertezas

O controle do nível de estoques encontra dificuldades quando se trata da quantidade a ser armazenada, uma vez que não se sabe a quantidade que será demandada, nem quando chegarão os suprimentos para abastecimento do estoque. Portanto, há dois tipos de incertezas que têm influência direta na gestão de estoques: (a) incertezas da demanda e (b) incertezas do tempo de ressuprimento.

Incertezas de demanda

A previsão de demanda é de fundamental importância no planejamento empresarial, por isso muitos estudos são dedicados ao desenvolvimento de métodos de previsão. No controle de estoques, a projeção de vendas passadas é o método de previsão de demanda mais utilizado.

Sob condições de incerteza da demanda, o estoque médio é determinado como sendo a metade da quantidade do pedido mais o estoque de segurança.

Como mencionado anteriormente, a técnica de previsão com o auxílio da distribuição normal baseia-se no desvio-padrão das observações em torno da média central.

Incertezas do tempo de ressuprimento

As faltas de estoque também podem ocorrer devido a atrasos na entrega de produtos por parte dos fornecedores, ou seja, pelo aumento do tempo de ressuprimento, por isso, este tempo também deve ser previsto.

A previsão do tempo de ressuprimento é feita de forma mais simples que as utilizadas na previsão de demanda, sendo muitas vezes obtida através do cálculo do tempo médio (com base em tempos passados) e sua variabilidade.

Todos os métodos de previsão de vendas podem ser usados no cálculo de previsões de tempo de ressuprimento, desde que existam dados históricos destes tempos de ressuprimento ou que dados periódicos sejam coletados a fim de se obter uma série temporal.

3.6.3.3.1. Determinação do ponto de ressuprimento em face das incertezas

Ao definir o estoque de segurança, o impacto conjunto da variação do lead time e da demanda diária deve ser calculado se o tempo de ressuprimento e a demanda diária são consideradas independentes a curto prazo. O cálculo pode ser feito através da utilização do desvio-padrão combinado destes dois itens. Assim, o desvio-padrão é calculado pela fórmula:

$$\sigma_c = \left(LT * S_d^2 + D^2 * S_{lt}^2 \right)^{1/2} \quad (3.10)$$

onde

σ_c = desvio-padrão da combinação de probabilidades

LT = tempo de ressuprimento

S_{lt} = desvio-padrão do tempo de ressuprimento

D = demanda diária

S_d = desvio-padrão da demanda diária

Após a determinação de σ_c , o índice de disponibilidade deve ser determinado. Este índice corresponde ao objetivo desejado de serviço ao cliente e é medido pelo tamanho da falta de estoque e não pela probabilidade de sua ocorrência.

$$IDP = 1 - \left(\frac{f(k) * \sigma_c}{Q} \right) \quad (3.11)$$

em que:

IDP = índice de disponibilidade de produto

$f(k)$ = função de distribuição normal

σ_c = desvio-padrão combinado

Q = quantidade de pedido de ressuprimento

De posse do valor de $f(k)$ e com o auxílio de uma tabela, encontra-se o valor de k , que é então usado no cálculo do estoque de segurança através da equação:

$$ES = k * \sigma_c \quad (3.12)$$

onde

ES = Estoque de segurança

k = desvio da variável normal padronizada que corresponde a $f(k)$

σ_c = desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento

4 Previsão de demanda

4.1. Introdução

Ao procurar em um dicionário o significado da palavra prever, percebe-se que tem o sentido de ver antecipadamente, conjeturar, supor, profetizar, prognosticar, predizer (Aurélio). Pois é exatamente isto que se busca quando se quer prever a demanda de determinado produto ou serviço.

Todos os dias, decisões são tomadas sem que se saiba o que acontecerá no futuro. Compras de matéria-prima são feitas sem que se saiba como serão as vendas; investimentos são feitos sem que se saiba quais serão os lucros etc.

Em uma empresa, as previsões servem de base para o planejamento, sejam de níveis de estoque, de capacidade produtiva, de compras e, até mesmo de orçamentos e de construções de novas instalações.

Uma boa previsão pode auxiliar, entre outras coisas, na redução do *lead time* e dos níveis de estoque em uma empresa. Com isso, a busca por boas estimativas do futuro é o principal objetivo das previsões.

William J. Stevenson (2001) destaca duas aplicações para a previsão: planejar o sistema e planejar a utilização do sistema. O planejamento do sistema engloba decisões de longo prazo, como localização de instalações e tipos de equipamentos a serem utilizados. Por outro lado, o planejamento da utilização do sistema trata de decisões a curto e médio prazo, onde se estabelece o nível de estoque, utilização da mão-de-obra etc.

Nesta dissertação, será tratada apenas a previsão da demanda visando sua aplicação na gestão de estoques.

4.2. Características da demanda

Uma das coisas mais difíceis de prever é a demanda do consumidor. Ela pode mudar drasticamente devido a fatores que não se podem controlar, tais como suas preferências, sua renda no período, os preços dos demais produtos e, sobretudo, o preço do próprio produto.

Estes fatores podem ser divididos em externos e internos.

4.2.1. Fatores externos

Fatores externos, como mudanças climáticas e alterações na economia influenciam positiva ou negativamente a demanda. Por exemplo, altas temperaturas no inverno podem fazer com que as vendas de produtos de praia aumentem neste período, que não é característico a este tipo de produto. Por outro lado, a desvalorização da moeda de um país pode diminuir o poder de compra da população, fazendo com que as vendas caiam. Nota-se que os fatores externos não estão sob o controle da gerência.

4.2.2. Fatores internos

Produzir determinado produto em seu período de pico de consumo pode ser muito oneroso. Para incentivar seu consumo antes ou depois do pico, algumas empresas recorrem a promoções. Decisões como esta são exemplos de fatores internos que influenciam a demanda. A retirada de um item do mix de produtos e o aumento de preços de venda são outros exemplos destes fatores.

4.3. Características das previsões

Os métodos de previsão são geralmente baseados em modelos estatísticos que usam dados históricos, ou métodos qualitativos baseados em experiências gerenciais.

Existem diversos métodos de previsão, mas algumas características independem do método utilizado. São elas:

- a) Os métodos de previsão admitem que o sistema de causas subjacentes continua o mesmo com o passar do tempo - no entanto, mudanças ocorrem e o gerente deve estar atento a estas possíveis mudanças e preparado para reconsiderar previsões feitas considerando as condições estáveis;
- b) Dificilmente um valor real será igual à previsão – a demanda é influenciada por diversas variáveis, por isso é preciso sempre levar em conta as imprecisões;
- c) As previsões feitas para grupos de itens geralmente são mais precisas, pois os erros para cada item acabam se compensando – um exemplo de aplicação de previsões em grupo é a previsão de uma matéria-prima comum a diversos produtos;

- d) A exatidão da previsão depende do seu horizonte temporal - previsões de curto prazo são geralmente mais precisas, pois englobam um número menor de incertezas.

4.4. Importância estratégica das previsões

O propósito da previsão é reduzir o risco da tomada de decisão. As previsões estão geralmente erradas, mas a magnitude destes erros depende do método utilizado. Com o aumento dos recursos empregados na determinação da previsão, estes erros podem ser reduzidos.

As previsões de demanda influenciam as decisões em diversas áreas. Como exemplo, será destacado seu impacto em três atividades: (a) recursos humanos, (b) capacidade e (c) gestão da cadeia de fornecimento.

Recursos Humanos

Contratação, treinamento e dispensa de trabalhadores são atividades que dependem da demanda futura. Se o departamento de recursos humanos contratar empregados adicionais sem a devida antecedência, o volume de treinamento decai e a qualidade da força de trabalho é prejudicada.

Capacidade

Quando a capacidade é inadequada, as deficiências resultantes podem significar entregas não-confiáveis, perda de clientes e de participação de mercado.

Relação com Fornecedores

As boas relações com os fornecedores e as conseqüentes vantagens de preços de materiais e peças dependem de boa coordenação e de previsões acuradas.

4.5. Elementos de uma boa previsão

Boas previsões são de fundamental importância para uma empresa, pois “a previsão é a única estimativa da demanda até que a demanda se torne conhecida” (Heizer & Render – 1999).

Para ser considerada boa, uma previsão deve possuir as seguintes características:

- a) O horizonte de previsão deve ser suficiente para permitir a implementação de possíveis mudanças;
- b) Deve mostrar de forma clara seu grau de exatidão, para que os efeitos de erros possam ser avaliados e minorados;
- c) A previsão deve ser confiável. Uma previsão ruim pode gerar desconfiança nos usuários a cada nova previsão;
- d) Deve ser expressa em unidades significativas para os usuários;
- e) Deve se feita por escrito, pois assim permitirá a comparação com os resultados reais obtidos;
- f) Por fim, o método escolhido deve ser de fácil compreensão e utilização.

4.6. Os passos a serem seguidos no processo de previsão

De acordo com William J. Stevenson (2001), o processo de previsão deve seguir os passos descritos a seguir.

- 1) Determinar o objetivo da previsão;
- 2) Determinar o horizonte de tempo da previsão;
- 3) Selecionar o modelo a ser empregado;
- 4) Coletar os dados necessários;
- 5) Elaborar a previsão;
- 6) Analisar os resultados.

4.6.1. Objetivo da previsão

A determinação do objetivo da previsão está ligada a algumas perguntas: Qual o propósito da previsão? Quando ela será necessária? As respostas a estas perguntas indicam o grau de detalhe exigido para a previsão, o volume de recursos necessários (exemplo, mão-de-obra) e o grau de exatidão necessário.

Três variáveis de tempo são fundamentais no processo de previsão: o período da previsão (é a unidade de tempo básica que será utilizada), o horizonte da previsão (é o número de períodos futuros que determinará a previsão) e o intervalo da previsão (é a frequência com a qual novas previsões serão realizadas).

4.6.2. Horizonte de tempo da previsão

As previsões podem ser classificadas pelo horizonte de tempo que abrangem. Segundo Krajewski & Ritzman (1996), os horizontes de tempo são divididos em três categorias:

Previsões em curto prazo

Geralmente menor que três meses, as previsões de curto prazo costumam ser mais precisas que as demais, pois o tempo de reação às mudanças é menor. É utilizado para a previsão de demanda de produtos e serviços individuais, como o planejamento de compras de determinado produto e a programação de tarefas;

Para esse tipo de previsão de curto prazo, e voltados para fins operacionais, os métodos de séries temporais são os mais indicados, pois são de baixo custo e com um nível de precisão adequada. Embora métodos causais sejam mais precisos, seu custo é mais alto e o tempo requerido para desenvolvimento do modelo é maior, tornando inviável a espera para a obtenção dos resultados. Na falta de dados históricos são utilizados métodos baseados na experiência das pessoas envolvidas.

Previsões em médio prazo

Uma previsão de médio prazo geralmente se estende por três meses a dois anos e seu nível de detalhe é menor do que no curto prazo. São, na maioria das vezes, utilizados para planejamento de capacidade, planejamento de vendas e orçamento financeiro, entre outros.

Os métodos causais são os mais indicados para este tipo de previsão. Os métodos baseados em julgamentos também podem ser utilizados, entretanto, são geralmente utilizados em casos em que não existam dados históricos.

Previsões em longo prazo

Estendem-se por mais de dois anos e são utilizados para a previsão de demanda de grupos de produtos e serviços que, ao contrário da análise individual feita no curto prazo, não necessitam tanta precisão. Planejamento de novos produtos, localização ou expansão de instalações, pesquisa e desenvolvimento etc, são alguns exemplos de aplicação de previsões de longo prazo.

Os métodos subjetivos são os mais usados neste tipo de previsão. Pode também ser usada uma combinação de métodos subjetivos com métodos causais,

uma vez que, na utilização métodos matemáticos, o bom senso e a experiência gerencial influenciam, e muito, as tomadas de decisão.

4.7. Abordagens de previsões

Existem duas abordagens usadas para se fazer previsões: a qualitativa e a quantitativa. A abordagem qualitativa leva em conta informações subjetivas como a intuição, as emoções e opiniões pessoais, portanto, impossíveis de serem quantificadas.

A abordagem quantitativa, por sua vez, envolve a análise de dados objetivos e utiliza uma série de modelos matemáticos, baseados em dados históricos (modelos de séries temporais) e/ou variáveis causais (aplicadas a modelos de correlação), como forma de prever a demanda.

A Tabela 4.1 mostra quando cada método de previsão pode ser usado de acordo com o horizonte de planejamento.

Aplicação	Horizonte de tempo		
	Curto Prazo (0 a 3 meses)	Médio Prazo (3 meses a 2 anos)	Longo Prazo (mais de 2 anos)
Previsão quantitativa	Produtos ou serviços individualmente	Vendas totais; Grupos ou famílias de produtos	Vendas totais
Área de decisão	Gerenciamento de estoques; Planejamento da força de trabalho; Planejamento mestre da produção	Planejamento de pessoal; Planejamento mestre da produção; Setores de compras e distribuição.	Locação de novas fábricas; Planejamento de capacidade; Gerenciamento de processo.
Método de previsão	Séries temporais; Métodos causais; métodos subjetivos.	Métodos causais; Métodos subjetivos.	Métodos causais; Métodos subjetivos.

Tabela 4.1 – Aplicações da Previsão de Demanda

Fonte: Krajewski & Ritzman, 1996 (p.458)

4.7.1. Métodos qualitativos

Como dito anteriormente, esses métodos baseiam-se em julgamentos e opiniões. Os dados para elaboração da previsão podem ser obtidos das seguintes

maneiras: opinião de especialistas, informações de pessoas que estão em contato direto com o cliente, pesquisa do mercado consumidor e informações das áreas de venda, gerentes e executivos.

Este tipo de análise é muito freqüente quando não existem dados históricos disponíveis, quando os dados existem, mas não há tempo para analisá-los, ou quando ocorrem mudanças e os dados disponíveis tornam-se desatualizados ou indisponíveis.

Nesta seção, serão considerados quatro dos melhores métodos em uso: estimativas de força de venda, opiniões de executivos (ou julgamento de especialistas), pesquisas de mercado e o método Delphi.

Estimativas de força de venda

Este método reúne estimativas de demandas futuras feitas por profissionais de vendas. Cada vendedor faz sua estimativa e estas estimativas são posteriormente reunidas para formar uma previsão geral.

As vantagens desta abordagem são: (1) pelo contato direto com o cliente os vendedores conseguem boas informações a respeito de qual produto ou serviço os clientes irão querer e em que quantidades; (2) os territórios de venda geralmente são divididos por bairros ou regiões e estas informações podem ser muito úteis para as áreas de controle de estoque e distribuição; (3) as previsões da cada área podem ser combinadas para se ter previsões regionais ou nacionais.

As desvantagens são: (1) estas pessoas podem ser altamente influenciadas por acontecimentos recentes, ou seja, fazerem uma previsão pessimista em consequência de pedidos de vendas baixos (ou o contrário, uma previsão muito otimista após um período de vendas altas); (2) vendedores podem não conseguir diferenciar o que os clientes querem do que os clientes precisam; (3) Se a empresa utiliza a venda como medida de performance, um vendedor pode subestimar suas previsões para fazer sua performance parecer boa quando ele exceder as vendas previstas, ou ele pode trabalhar apenas até atingir as vendas mínimas requeridas.

Opiniões de executivos

Neste método, um grupo de executivos ou gerentes se reúne para fazer uma previsão em conjunto. Este tipo de previsão é comum quando um novo produto é lançado no mercado, ou quando se faz uma promoção de vendas.

Tem a vantagem de reunir pessoas de diversas áreas, porém tem a desvantagem de poder diminuir a pressão de se obter uma boa previsão, uma vez que a responsabilidade recai sobre várias pessoas.

Pesquisas de mercado

Este método consiste em buscar opiniões de consumidores ou de consumidores potenciais. Tem a vantagem de se obter informação diretamente de quem decide a demanda, porém uma pesquisa pode ser bastante dispendiosa e demorada, além de requerer muita habilidade e conhecimentos para que seja feita corretamente.

Método Delphi

É um método que se baseia em informações obtidas através de um questionário, que é distribuído entre pessoas que possam contribuir significativamente com o objetivo da previsão. A cada etapa é feito um novo questionário baseado nas respostas anteriores. Todas as respostas são individuais e não identificadas (dando total liberdade àqueles que estão respondendo). A finalidade é a obtenção de uma previsão consensual.

Uma de suas mais úteis aplicações é na previsão tecnológica, mas pode também ser utilizada em previsões de vendas de novos produtos.

4.7.2. Métodos quantitativos

Existem duas categorias de métodos quantitativos de previsão: (1) modelos de séries temporais e (2) modelos causais (ou de correlação).

4.7.2.1. Modelos de séries temporais

Uma série temporal é uma seqüência cronológica de observações registradas em intervalos regulares (por exemplo, a cada hora, dia, semana, mês, trimestre ou ano). Modelos para descrever séries temporais procuram projetar para o futuro experiências do passado, através de dados históricos de séries temporais.

A análise dos dados de uma série temporal requer que seja identificado o comportamento da série. A maneira mais fácil de fazer esta análise é projetando os dados da série em um gráfico. Normalmente, um ou mais dos quatro componentes a seguir podem então se apresentar: (1) uma tendência, (2) variações sazonais, (3) um padrão de ciclos e (4) variação aleatória.

Tendência

É o movimento gradual dos dados para cima ou para baixo ao longo do tempo. Modificações de renda e da população podem provocar alterações deste tipo.

Sazonalidade

É um padrão de dados que se repete depois de um período de dias, semanas, meses ou trimestres.

Ciclos

São variações em forma de onda, de duração superior a um ano. Eles costumam ser vinculados aos ciclos de negócio, sendo constantemente associados a uma variedade de condições econômicas, políticas, e até mesmo agrícolas.

Variação aleatória

São alterações nos dados causadas pelo acaso e por situações incomuns. Elas não têm um padrão, de modo que não podem ser previstas.

A Figura 4.1 apresenta uma demanda durante um período de quatro anos. Nela, podem ser observados a média, a tendência, os componentes sazonais e as

variações aleatórias em torno da curva de demanda. A demanda média é a soma da demanda de cada período dividida pelo número de períodos observados.

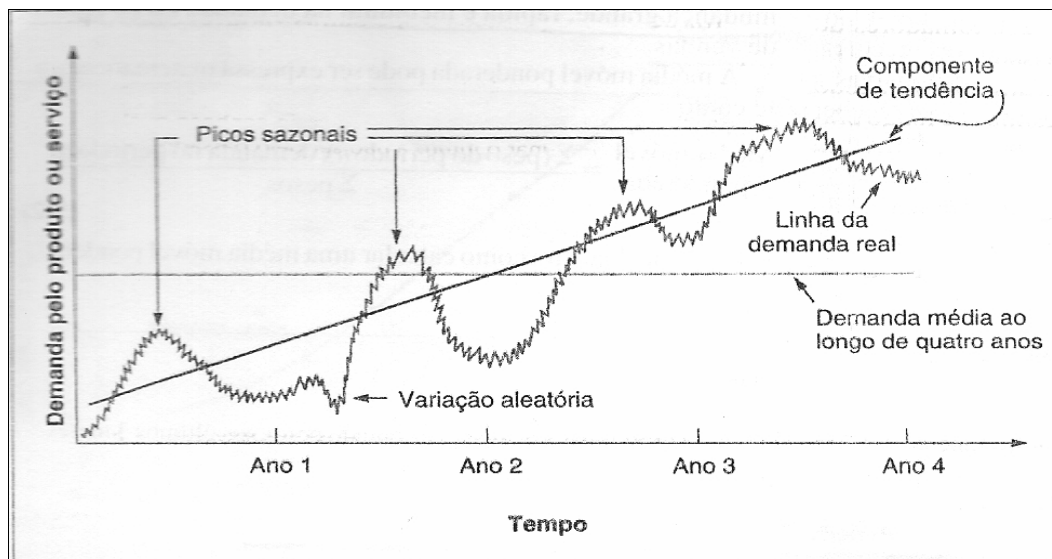


Figura 4.1 – Demanda de um produto acompanhado durante 4 anos com uma tendência de crescimento e sazonalidade indicada.

Fonte: Heinzer & Render, 1999 (p.107)

“É importante ressaltar que uma previsão de demanda deve ser baseada na demanda histórica, e não nas vendas verificadas no passado. As vendas só representam a verdadeira demanda quando ela é inferior ao volume de bens e serviços disponíveis para a venda. Analogamente, quando existem pedidos pendentes, as saídas de mercadorias não refletirão a demanda verdadeira; neste caso, as datas/momentos das saídas de mercadorias não corresponderão aos momentos em que ocorreu a demanda”. (Stevenson, 2001)

Alguns exemplos de previsões de séries temporais são: solução ou tentativa simples, médias móveis, suavizamento exponencial e projeções de tendências.

4.7.2.1.1. Método da solução ou tentativa simples

Este método é também conhecido como método das previsões ingênuas. É o meio mais fácil de se fazer uma previsão, pois o valor da previsão é sempre o valor real do período anterior. Algumas vantagens deste método são o baixo custo, a rapidez e a facilidade de compreensão. A desvantagem é que é incapaz de gerar previsões exatas.

Este método pode também ser aplicado a uma série que apresenta uma tendência ou sazonalidade

4.7.2.1.2. Método de médias móveis

Os dados históricos normalmente contêm um certo grau de variação aleatória imprevisível, que provém da influência combinada de muitos fatores, de importância relativamente baixa.

Por este método a previsão é calculada por alguns valores reais de dados históricos. Os métodos de previsão baseados em médias diminuem a amplitude das flutuações presentes em uma série temporal, porque, por meio das médias, ocorre uma compensação entre os valores mais altos e os mais baixos da série de dados.

A média móvel (MM_n) pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$MédiaMóvel(MM_n) = \frac{\sum \text{demanda_real_últimos_n_períodos}}{n} \quad (4.1)$$

em que n é o número de períodos da média móvel, ou seja, MM_3 significa que a média foi calculada através dos valores dos 3 últimos períodos. A cada período o cálculo da média móvel é feito somando-se o novo valor e subtraindo-se o valor mais antigo.

O número de períodos utilizados no cálculo da média móvel determina seu grau de sensibilidade. Desta forma, quanto menor for o número de dados (períodos), mais flutuante é a média, ou seja, a previsão se ajustará rapidamente às eventuais variações no valor da demanda real. Ao contrário, quanto maior for o número de dados, mais suave será a curva e, portanto, menos sensível às eventuais variações.

As vantagens deste método são a facilidade de cálculo e compreensão. As desvantagens são que todos os valores que entram no cálculo da média são ponderados igualmente e que, como os dados são aproximadamente constantes, ao longo do tempo os efeitos de sazonalidade e de tendência são desprezados.

Quando se quer dar maior ênfase aos valores mais recentes, pode-se usar pesos, tornando a média móvel ponderada. Isso permite tornar a reação às mudanças de comportamento ainda mais rápida.

A escolha dos pesos exige experiência, uma vez que não há uma fórmula para determiná-los. A única regra que deve ser seguida é a adoção de pesos maiores para os valores mais recentes (e supostamente mais significativas) da série temporal, de maneira que a soma dos pesos seja sempre igual a 1.

Matematicamente, a média móvel ponderada pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\text{MédiaMóvelPonderada} = \frac{\sum (\text{peso}_{\text{período}_n}) * (\text{demanda}_{\text{real}_{\text{período}_n}})}{\sum \text{pesos}}$$

Considerando a média móvel das médias móveis obtém-se uma Média Móvel Dupla expressa pela equação a seguir:

$$\text{MédiaMóvelDupla}(MMD_n) = \frac{\sum \text{média}_{\text{móvel}_{\text{nos}_{\text{últimos}_n}_{\text{períodos}}}}}{n}$$

Neste método, a previsão é feita através da fórmula:

$$\text{Previsão} = 2 * MM_n - MMD_n + \left(\frac{2}{N-1} \right) * (MM_n - MMD_n)$$

4.7.2.1.3. Amortecimento exponencial

É um método mais sofisticado de utilizar médias móveis, porém ainda de fácil utilização e compreensão. Tem a característica de dar maior importância aos valores mais recentes das séries.

Uma grande vantagem deste método é o pequeno número de informações que precisam ser guardadas. Cada nova previsão é calculada somando-se a previsão anterior com um percentual da diferença entre o valor real e o valor previsto para o mesmo período. Este cálculo pode ser assim representado:

$$\text{Nova previsão} = \text{Previsão anterior} + \alpha (\text{demanda real} - \text{previsão anterior})$$

onde a diferença (demanda real – previsão anterior) representa o erro de previsão e α é a constante de suavização.

Matematicamente podemos escrever:

$$P_t = P_{t-1} + \alpha * (R_{t-1} - P_{t-1}) \quad (4.2)$$

onde

P_t = Previsão para o período t

P_{t-1} = Previsão para o período anterior (t-1)

α = Constante de suavizamento ($0 \leq \alpha \leq 1$)

R_{t-1} = Demanda real no período t-1

A constante α é uma fração do erro de previsão. Quando α é elevada, atribui-se maior valor aos dados mais recentes, o que torna a previsão mais sensível ao valor real, e quando o valor da constante é baixo, os dados passados tornam-se mais importantes e mais lentamente a previsão se ajustará à demanda real, como mostra a Figura 4.2.

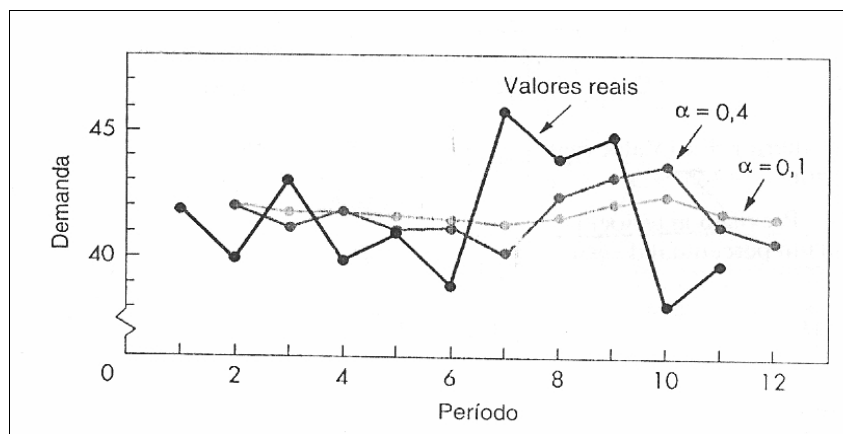


Figura 4.2 – Velocidade de ajustamento de uma previsão de acordo com o valor de α .

Fonte: Stevenson, 1999 (p.72)

A escolha de α é geralmente feita através de processos de tentativa e erro e os valores comumente utilizados variam de 0,05 a 0,50.

Este método é amplamente utilizado devido à facilidade com que o sistema de ponderação pode ser modificado, alterando-se o valor de α . Muitos softwares fazem automaticamente a mudança do valor de α se os erros de previsão se tornarem muito elevados.

O amortecimento exponencial requer uma estimativa inicial da média. Existem duas maneiras mais usuais de se conseguir esta estimativa inicial: usar a demanda do último período como a estimativa ou, se dados históricos estiverem disponíveis, calcular a média de demandas de alguns períodos recentes.

4.7.2.1.4. Avaliação de tendências

Uma série temporal pode apresentar uma tendência (linear ou não) que o simples lançamento dos dados em um gráfico pode revelar. Quando é verificada a presença de uma tendência, dois métodos são frequentemente utilizados na elaboração da previsão. Um é a utilização de uma equação de tendência e o outro é uma extensão do amortecimento exponencial.

4.7.2.1.4.1. Equação de tendência

Esta técnica projeta no futuro a tendência de uma série temporal baseada em dados históricos.

Serão tratadas apenas de equações de tendência lineares, que podem ser expressas através da seguinte equação:

$$y_t = a + b * t \quad (4.3)$$

onde

y_t = previsão para o período t

a = valor de y_t para $t = 0$

b = inclinação da reta

t = número de períodos (a partir de $t = 0$)

Esta reta pode ser traçada no gráfico a partir de dois pontos. Um deles é o valor de a , ou seja, valor para y_t em que $t = 0$. O outro ponto pode ser calculado

substituindo-se a variável t por um valor qualquer (sabendo-se os valores de a e b).

Os valores de a e de b podem ser calculados a partir dos dados históricos, através das expressões:

$$b = \frac{n * \sum t * y - \sum t * \sum y}{n * \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad (4.4) \quad \text{e} \quad a = \frac{\sum y - b * \sum t}{n} \quad (4.5)$$

onde

n = número de períodos

y = cada valor da série temporal

4.7.2.1.4.2. Amortecimento exponencial com tendência

Um amortecimento exponencial simples não pode ser usado quando uma série temporal apresenta uma tendência (Stevenson, 1999), pois os valores previstos estarão defasados em relação à tendência. Para isto, é utilizado o amortecimento exponencial com tendência. Para saber qual método deve ser utilizado, basta colocar os dados em um gráfico.

O cálculo da previsão será feito através seguinte da equação:

$$PAT_{t+1} = S_t + T_t \quad (4.6)$$

onde

S_t = Previsão ajustada exponencialmente

T_t = Estimativa da tendência

e

$$S_t = PAT_t + \alpha * (R_t - PAT_t)$$

$$T_t = T_{t-1} + \beta * (PAT_t - PAT_{t-1} - T_{t-1})$$

onde

α e β são coeficientes de ajustamento e R_t é o valor realmente observado no período t . Os valores de α e β são geralmente escolhidos por tentativa e erro.

Além das tendências, outros padrões podem ser verificados ao se plotar os dados de uma série temporal em um gráfico. Entre estes padrões estão a

sazonalidade e os ciclos. Um pouco a respeito de cada um deles será comentado posteriormente.

4.7.2.1.5. Sazonalidade

Uma variação sazonal é verificada quando os valores aumentam e diminuem, com regularidade, em torno de uma média, por um período inferior a 1 ano (horas, dias, semanas ou meses). Cada período de tempo é chamado de “estação”.

Alguns exemplos de sazonalidade são variações em decorrência de férias, feriados, e do clima (verão, inverno, etc).

A sazonalidade de uma série temporal é expressa em termos do valor do desvio que os valores reais têm em relação ao valor médio da série. Se a série tende a variar em torno de um valor médio, então a sazonalidade é expressa em termos desta média (ou de uma média móvel); se uma tendência está presente, a sazonalidade é expressa em termos do valor sobre a linha de tendência.

No planejamento e na programação de vendas no varejo, conhecer as variações sazonais é muito importante. Outra aplicação importante é no planejamento da capacidade de sistemas projetados para suportar cargas de pico (por exemplo, rodovias e transportes públicos).

O modelo mais simples de se avaliar a sazonalidade na previsão de demanda é utilizar a demanda real do último período correspondente à mesma estação, como no modelo de previsões ingênuas. Por exemplo, se quiser prever o número de pessoas que vai a um determinado cinema no domingo à tarde, deve-se tomar o valor do último domingo neste período. Esta abordagem pode ser usada isoladamente, ou servir como padrão de referência para a avaliação de outros métodos mais refinados.

A sazonalidade pode também ser avaliada por dois métodos: o aditivo e o multiplicativo (ambos ilustrados na Figura 4.3). No modelo aditivo, uma quantidade, que representa a sazonalidade, é somada ou subtraída da média da série, a fim de incorporar a sazonalidade. No modelo multiplicativo, a sazonalidade vem expressa por uma porcentagem do valor médio (ou do valor sobre a linha de tendência), que é então multiplicado pelo valor da série

(Stevenson, 1999). O método multiplicativo é muito mais utilizado, por isso será descrito a seguir.

Nas etapas descritas aqui foram utilizadas médias simples de demandas passadas, embora métodos mais sofisticados de se calcular a média pudessem ter sido usados, como médias móveis ou suavizamento exponencial. A descrição abaixo se baseia em uma empresa que tem estações de 1 mês.

- 1) Calcular a demanda histórica média de cada estação (mês) somando a demanda daquele mês em cada ano e dividir pelo número de anos de dados disponíveis.
- 2) Calcular a demanda média de todos os meses, dividindo a demanda média anual total pelo número de estações.
- 3) Calcular um índice sazonal para cada estação, dividindo a demanda histórica real daquele mês (etapa 1) pela demanda média de todos os meses (etapa 2).
- 4) Estimar a demanda anual total do próximo ano.
- 5) Dividir esta estimativa da demanda anual total pelo número de estações e depois multiplicar o resultado pelo índice sazonal daquele mês. Tem-se assim, a previsão sazonal.

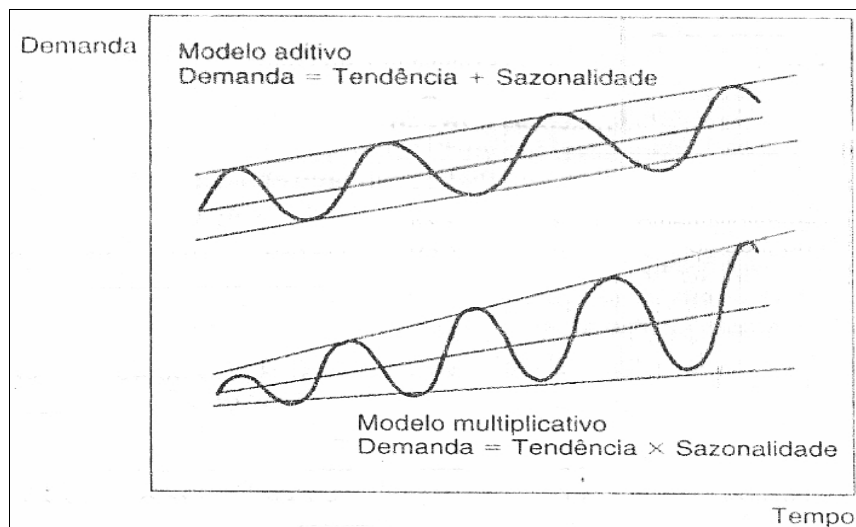


Figura 4.3 – Sazonalidade: comparação entre o modelo aditivo e o multiplicativo, utilizando-se uma tendência linear.

Fonte: Stevenson, 1999 (p.77)

4.7.2.1.6. Método de amortecimento direto

Este método amortece os antigos coeficientes do modelo com o erro de previsão do período corrente para obter os novos coeficientes e é muito eficiente computacionalmente.

Em seu desenvolvimento são utilizados mínimos quadrados ponderados, sabendo-se que os quadrados dos erros são ponderados de acordo com a sua “idade”.

Pode-se assumir o seguinte modelo geral para uma série temporal:

$$Z_t = \sum_{i=1}^k a_i * f_i(t) + e_t, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4.7)$$

onde

a_i $i = 1, \dots, K$ são os coeficientes do modelo

$f_i(t)$ $i = 1, \dots, K$ são funções no tempo

e_t são erros aleatórios com média nula e variância constante (σ_e^2)

A série histórica deve ter, pelo menos, tantas observações quantas forem as variáveis independentes ($T \geq k$).

Os vetores podem ser então definidos como:

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix}, \quad f = \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ \vdots \\ f_k(t) \end{bmatrix}$$

Com isso, pode-se escrever:

$$Z_t = f^T(t) * a + e_t \quad (4.8)$$

4.7.2.1.6.1. Mínimos quadrados ponderados (MQP)

Segundo Montgomery & Johnson (1976), observações mais próximas do período de tempo corrente T podem ser mais importantes para a estimação de **a** do

que observações em um passado distante, isto é, os dados recentes podem ser mais indicativos do verdadeiro comportamento do processo. Em tais situações, é mais usual ponderar os erros distantes do período de tempo corrente, de forma que observações mais antigas recebam proporcionalmente menos peso.

Portanto, o estimador de \mathbf{a} que minimiza a soma ponderada dos quadrados dos erros deve ser encontrado.

Este estimador é definido como aquele obtido pela minimização da seguinte função objetivo:

$$SS_E = \sum_{t=1}^T w_n^2 * e_t^2 = \sum_{t=1}^T w_n^2 [Z_t - f^T(t) * a]^2 \quad (4.9)$$

onde

Z vetor (Tx1);
 $f(t)$ matriz (TxK);
 e vetor (Tx1);
 w matriz (TxT)

Pode-se então escrever:

$$Z = f(T) * a + e \quad (4.10)$$

Com isso, a função objetivo passa a ser escrita da seguinte forma:

$$SS_E = (w * e)^T * (w * e) = e^T * w^2 * e = [Z - f(T) * a]^T * w^2 * [Z - f(T) * a]$$

Diferenciando-se SS_E em relação ao vetor \mathbf{a} , igualando a zero e resolvendo o sistema para \mathbf{a} , obtemos os estimadores de \mathbf{a} no instante T ($\hat{a}(T)$).

$$\hat{a}(T) = G^{-1}(T) * g(T)$$

(4.11)

onde

$G(T) = [wf(T)]^T * [wf(T)]$ matriz (KxK)
 $g(T) = f^T(T) * w^2 * Z$ vetor (Kx1)

A variância de $\hat{a}(T)$ é:

$$V = \text{var}[\hat{a}(T)] = E\left\{[\hat{a}(T) - a] * [\hat{a}(T) - a]^T\right\}$$

E os estimadores MQP de \mathbf{a} acima são não tendenciosos, isto é:

$$E[\hat{a}(T)] = \mathbf{a}$$

O amortecimento direto é um método eficiente de atualização dos coeficientes do modelo que não requer refazer os cálculos de $G^{-1}(T)$ a cada período. Neste caso, a função objetivo SS_E torna-se:

$$SS_E = \sum_{j=0}^{t-1} w_{T-j, T-j}^2 [Z_{T-j} - f^T(-j) * a(T)]^2$$

4.7.2.1.6.2. Ainda sobre o método de amortecimento direto

Considerando que a matriz dos pesos, w é a matriz diagonal $T \times T$:

$$W^2 = \begin{bmatrix} \beta^{T-1} & & & 0 \\ & \beta^{T-2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \beta \\ 0 & & & & 1 \end{bmatrix}$$

onde $0 < \beta < 1$ é o fator de desconto.

Supondo que $f_i(t)$ são funções matemáticas do tempo tais que o valor de qualquer uma delas no instante “ $t + 1$ ” pode ser expresso como uma combinação linear das k funções no instante t , ou seja:

$$f_i(t+1) = L_{i1}f_1(t) + L_{i2}f_2(t) + \dots + L_{ik}f_k(t), \quad i = 1, \dots, k \text{ para todo } t = 1, 2, \dots \quad (4.12)$$

Sendo a matriz de transição L , a matriz dos coeficientes da combinação linear, tem-se:

$$f(t+1) = L * f(t) \quad (4.13)$$

É provado que as únicas funções no tempo que admitem tal formulação são as funções polinomiais, exponenciais e trigonométricas.

Tem-se ainda:

$$f(t) = L^t f(0) \quad (4.14)$$

Se $f_i(t)$ são funções polinomiais e/ou trigonométricas do tempo, existirá sempre um valor estacionário de $G(t)$, denotado por G , assim definido:

$$G = \lim_{T \rightarrow \infty} G(T) = \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j * f(-j) * f^T(-j) \quad (4.15)$$

Com a utilização desta equação os cálculos ficam muito reduzidos, uma vez que necessita-se inverter somente uma vez a matriz G na estimação dos parâmetros.

$$\text{Os estimadores } \hat{a}(T) = L^T * \hat{a}(T-1) + h * e_1(T) \quad (4.16)$$

onde

$$\begin{aligned} e_1(T) &= Z_T - \hat{Z}_{T-1} \\ h &= G^{-1} * f(0) \text{ (vetor de amortecimento)} \end{aligned} \quad (4.17)$$

A previsão τ passos-à-frente pode ser obtida do modelo (com origem deslocada), fornecendo:

$$\hat{Z}_T(\tau) = E\{Z_{T+\tau} | Z_T\} = f^T(\tau) * \hat{a}(T) = \sum_{i=1}^k \hat{a}(T) * f_i(\tau) \quad (4.18)$$

4.7.2.1.6.3. Método de amortecimento direto para séries sazonais

Muitas séries temporais não podem ser adequadamente modeladas por um modelo puramente polinomial. Dentre estas séries temporais estão as que possuem uma variação sazonal.

Para se representar as componentes sazonais, basta que as funções do tempo $f_i(t)$ sejam funções trigonométricas (tais como seno e cosseno) e evidentemente que também satisfaçam as restrições da formulação.

4.7.2.1.6.4. Análise espectral

Para a análise da série histórica do presente trabalho, foi escolhido um modelo linear mais sazonal.

Na modelagem da parte sazonal foi adotado um critério no qual o número de pares seno/cosseno (m) e suas respectivas frequências angulares (w_j) não eram inicialmente conhecidas.

Para a determinação das frequências angulares, um método bastante empregado é a realização de uma análise espectral através de um Periodograma .

Suponha que Z_1, Z_2, \dots, Z_N é uma série temporal com período N , isto é, que o padrão observado para $N+1 \leq t \leq 2N$, para $2N+1 \leq t \leq 3N$, etc, então Z_t pode ser escrita como a soma de harmônicas ou Série de Fourier:

$$Z_t = \sum_{j=0}^{[N/2]} [a_j \cos(w_j t) + b_j \text{sen}(w_j t)] \quad (4.19)$$

onde

$[N/2]$ é o maior inteiro menor ou igual a $N/2$ (ou seja, $[N/2] = N/2$ se N é par e $[N/2] = (N-1)/2$ se N é ímpar

$$w_j = 2 * \pi * j / N, \quad j = 0, 1, \dots, [N/2]$$

Esta Série de Fourier, entretanto, não é realista, pois na prática fenômenos estritamente periódicos raramente são encontrados, nem adequado, pois estatisticamente não faz sentido “ajustar” um modelo com N parâmetros a uma série com N termos.

O primeiro passo para tornar a representação mais adequada consiste em supor que há um número restrito de sinusóides e que há um erro sobreposto. Isto conduz ao modelo de tendência cíclica:

$$Z_t = \sum_{p=0}^{\lfloor N/2 \rfloor} [a_p \cos(w_p t) + b_p \text{sen}(w_p t)] + e_t \quad (4.20)$$

onde e_t representa o erro, isto é, uma série puramente aleatória com $E[e_t] = 0$ e variância constante.

Para uma série sazonal, o investigador pode ter diferentes posições na hora de ajustar o modelo 4.20.

Uma primeira posição é aquela em que se supõe conhecidas *a priori* as frequências das sinusóides, em um número m , que contribuem significativamente para a variância do processo observado.

Designando por w_p , $p=1,2,\dots,m$ essas frequências e supondo, sem perda de generalidade, que $\sum_{p=1}^m Z_t = 0$, o modelo 4.20 passa a ter a forma:

$$Z_t = \sum_{p=1}^m [a_p \cos(w_p t) + b_p \text{sen}(w_p t)] + e_t \quad (4.21)$$

4.7.2.1.6.5. Periodograma

Como não se conhece o número m de sinusóides significativas, nem suas respectivas frequências, utiliza-se o Periodograma na determinação destes parâmetros. O Periodograma de Schuster é a técnica geralmente utilizada.

Dada uma série temporal com N termos, o Periodograma é definido no intervalo $[-\pi, \pi]$ como:

$$I_N(w) = \frac{N}{2} [a^2(w) + b^2(w)] \quad (4.22)$$

onde

$$a(w) = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N Z_t \cos(wt) \quad (4.23)$$

$$b(w) = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N Z_t \text{sen}(wt) \quad (4.24)$$

ou, de forma mais compacta:

$$I_N(w) = \frac{2}{N} \left| \sum_{t=1}^N Z_t e^{-iwt} \right|^2 \quad (4.25)$$

onde Z_t é a série temporal $t = 1, 2, \dots, [N/2]$

Apesar da definição ser feita no intervalo $[-\pi, \pi]$, o cálculo das ordenadas do periodograma é feito apenas para um conjunto finito de abscissas. A prática usual é considerar a Série de Fourier e calcular:

$$I_j = I_N(w_j), \quad w_j = 2\pi j/N, \quad j = 0, 1, \dots, [N/2]$$

Quando se utiliza um valor w_j que coincide com uma das frequências desconhecidas w_p^* , temos:

$$a(w_j) = \hat{a}_p, \quad b(w_j) = \hat{b}_p$$

$$\begin{aligned} E\{I_j\} &= \frac{N}{2} \left[E\{\hat{a}_p\}^2 + E\{\hat{b}_p\}^2 \right] \\ &= \frac{N}{2} \left[\left(E\{\hat{a}_p\} \right)^2 + \text{var}\{\hat{a}_p\} + \left(E\{\hat{b}_p\} \right)^2 + \text{var}\{\hat{b}_p\} \right] \\ &= \frac{N}{2} (a_p^2 + b_p^2) + 2\sigma_e^2, \quad \text{se } w_j = w_p^* \end{aligned} \quad (4.26)$$

Quando se utiliza um valor w_j diferente de qualquer uma das frequências w_p^* , tem-se:

$$E\{I_j\} = 2\sigma_e^2, \quad \text{se } |w_j - w_p^*| > 0, \quad p = 1, 2, \dots, m$$

Assim, é de se esperar que o Periodograma apresente um ‘pico’ de ordem 0 (N) quando calculado para uma frequência que coincida exatamente com uma das

verdadeiras freqüências w_p^* , e se mantenha de ordem 0 (1) quando tal não se verifica.

4.7.2.1.6.6. Testes de significância

Para se estudar a significância estatística dos máximos do Periodograma, a hipótese nula consiste em admitir que o mesmo foi calculado para uma realização de ruído branco gaussiano com oscilações puramente aleatórias, isto é, que $Z_t \equiv e_t$, $t = 1, 2, \dots, N$ são variáveis aleatórias i.i.d. com $Z_t \sim N(0, \sigma^2)$, $\sigma^2 = \sigma_e^2$

Considere o maior dos ‘picos’ observados do Periodograma em termos numéricos concretos. Pode-se então escrever:

$$I_{\max} = \max_{1 \leq j \leq [N/2]} I_j = I_N(w_{\max}), \quad w_{\max} \in \{w_1, w_2, \dots, w_{[N/2]}\}$$

Este ‘pico’ é significativo se, na hipótese nula, a probabilidade de se obter um ‘pico’ ainda maior a partir de uma outra realização qualquer (amostra) é muito pequena. Em termos genéricos, a probabilidade seria:

$$P\{I_{\max} \geq g\} = P\left\{\frac{I_{\max}}{\sigma^2} \geq g\right\}, \quad g = I_{\max}/\sigma^2$$

é a significância do máximo observado no Periodograma.

4.7.2.1.6.6.1. Teste exato de Fisher

Considere a estatística

$$T = \frac{I_{\max}}{\sum_{j=1}^{[n/2]} I_j},$$

que não envolve σ^2 - parâmetro de escala tanto do numerador como do denominador. Fisher mostrou que na hipótese nula, temos:

$$P\{T > g\} = \sum_{j=1}^G (-1)^{j-1} \binom{[N/2]}{j-1} (1-jg)^{[N/2]-1}, \quad g > 0 \quad (4.27)$$

onde G é o maior inteiro menor do que $1/g$. Usando-se o primeiro termo da equação acima obtém-se uma boa aproximação:

$$P\{T > g\} \approx \left[\frac{N}{2}\right](1-g)^{[N/2]-1} \quad (4.28)$$

4.7.2.1.6.6.2. Teste de Whittle

Whittle sugeriu que o Teste de Fisher podia estender-se ao estudo da significância dos ‘picos’ de 2ª ordem, 3ª ordem, etc. Suponha-se que I_{\max} seja significativo e I'_{\max} seja o pico de 2ª ordem, então, com

$$T' = \frac{I'_{\max}}{\left\{ \sum_{j=1}^{[N/2]} I_j \right\} - I_{\max}}$$

pode-se determinar a probabilidade $P\{T' > g\}$ substituindo-se N por $N-1$ na expressão 4.26. Se o ‘pico’ de 2ª ordem é significativo passa-se ao ‘pico’ de 3ª ordem, com a devida adaptação, e assim sucessivamente.

O número de ‘picos’ significativos corresponde ao valor de ‘m’ na expressão 4.21.

Após a determinação do número de ‘picos’ significativos, escreve-se o modelo de amortecimento direto utilizando-se a equação 4.21.

Utilizando $f(t+1) = L * f(t)$ faz-se a transposta de L e usando-se a equação (4.15) e a tabela 4.2 abaixo, calcula-se G . De posse do valor de G e de $f(0)$ calcula-se o valor de h (equação 4.17).

FORMA	SOMA
$\sum_{k=0}^{\infty} \beta^k$	$\frac{1}{1-\beta}$
$\sum_{k=0}^{\infty} k * \beta^k$	$\frac{\beta}{(1-\beta)^2}$
$\sum_{k=0}^{\infty} k^2 * \beta^k$	$\frac{\beta * (1+\beta)}{(1-\beta)^3}$
$\sum_{k=0}^{\infty} \beta^k * \text{sen}(w * k)$	$\frac{\beta * \text{sen} w}{1 - 2 * \beta * \cos w + \beta^2}$
$\sum_{k=0}^{\infty} \beta^k * \cos(w * k)$	$\frac{1 - \beta * \cos w}{1 - 2 * \beta * \cos w + \beta^2}$
$\sum_{k=0}^{\infty} k * \beta^k * \text{sen}(w * k)$	$\frac{\beta * (1 - \beta^2) * \text{sen} w}{(1 - 2 * \beta * \cos w + \beta^2)^2}$
$\sum_{k=0}^{\infty} k * \beta^k * \cos(w * k)$	$\frac{2 * \beta^2 - \beta(1 + \beta^2) * \cos w}{(1 - 2 * \beta * \cos w + \beta^2)^2}$
$\sum_{k=0}^{\infty} \beta^k * \text{sen}(w_1 * k) * \text{sen}(w_2 * k)$	$\frac{1}{2} \left[\frac{1 - \beta * \cos(w_1 + w_2)}{1 - 2 * \beta * \cos(w_1 + w_2) + \beta^2} - \frac{1 - \beta * \cos(w_1 - w_2)}{1 - 2 * \beta * \cos(w_1 - w_2) + \beta^2} \right]$
$\sum_{k=0}^{\infty} \beta^k * \cos(w_1 * k) * \cos(w_2 * k)$	$\frac{1}{2} \left[\frac{1 - \beta * \cos(w_1 + w_2)}{1 - 2 * \beta * \cos(w_1 + w_2) + \beta^2} + \frac{1 - \beta * \cos(w_1 - w_2)}{1 - 2 * \beta * \cos(w_1 - w_2) + \beta^2} \right]$
$\sum_{k=0}^{\infty} \beta^k * \text{sen}(w_1 * k) * \cos(w_2 * k)$	$\frac{1}{2} \left[\frac{\beta * \text{sen}(w_1 + w_2)}{1 - 2 * \beta * \cos(w_1 + w_2) + \beta^2} + \frac{\beta * \text{sen}(w_1 - w_2)}{1 - 2 * \beta * \cos(w_1 - w_2) + \beta^2} \right]$

Tabela 4.2 – Somas Infinitas

Fonte: Montgomery & Johnson, 1976 (p.91)

4.7.2.2. Modelos causais

Métodos causais são usados quando dados históricos estão disponíveis e a relação entre o fator a ser previsto e outros fatores, externos ou internos (por exemplo, ações do governo ou promoções) podem ser identificados.

A forma mais simples e mais amplamente utilizada de regressão envolve uma relação linear entre duas variáveis (regressão linear).

4.7.2.2.1. Regressão linear

Como mencionado anteriormente, os modelos de previsão causais não utilizam apenas séries históricas, mas consideram diversas variáveis que influenciam aquela que está sendo avaliada.

Na regressão linear, uma variável, chamada variável dependente, é relacionada a uma ou mais variáveis independentes por uma equação linear.

Neste método, procura-se a equação de uma reta, geralmente usando o método dos mínimos quadrados, que mostre os efeitos de uma variável sobre outra (as equações utilizadas nos cálculos são as mesmas da equação de tendência – item 4.7.2.1.4.1).

O objetivo da análise de regressão linear é encontrar valores para a e para b que minimizem a soma dos quadrados dos desvios entre os pontos dados e a reta considerada (equações 4.4 e 4.5).

Análises de regressão também geram medidas de acurácia da previsão. As três medidas mais comumente utilizadas são o coeficiente de correlação, o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa.

Coefficiente de correlação

A correlação avalia a intensidade e a direção da relação entre as duas variáveis. Esta intensidade pode ser expressa pelo coeficiente de correlação, r .

$$r = \frac{n * (\sum x * y) - (\sum x) * (\sum y)}{[n * (\sum x^2) - (\sum x)^2]^{1/2} * [n * (\sum y^2) - (\sum y)^2]^{1/2}} \quad (4.29)$$

Os valores de r podem variar de -1, indicando que um acréscimo em uma variável causa o decréscimo na outra, à +1, indica que a alteração em uma variável implica em uma variação na outra (na mesma direção). Se o valor de r for próximo de zero significa que a relação linear entre as duas variáveis é baixa. A Figura 4.4 mostra graficamente o efeito do valor de r na relação entre as variáveis.

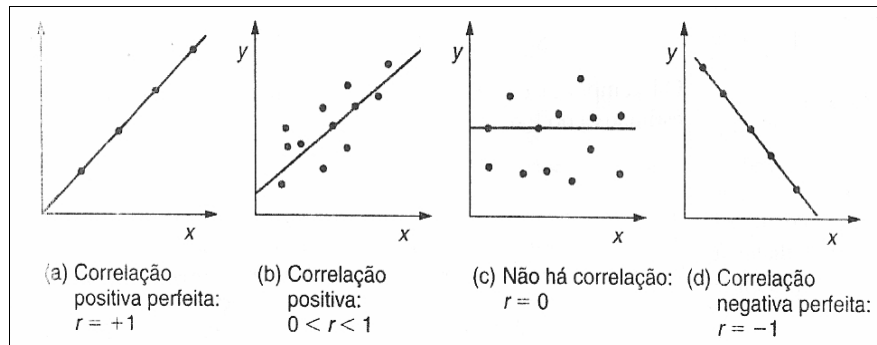


Figura 4.4 – Quatro valores dos coeficientes de correlação

Fonte: Stevenson, 1999 (p.77)

Coefficiente de determinação

O coeficiente de determinação fornece uma medida de quão bem uma linha de regressão se ajusta aos dados e é calculado elevando-se o valor do coeficiente de correlação ao quadrado (r^2). O valor de r^2 será sempre positivo no intervalo $0 \leq r^2 \leq 1$

Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa mede o grau de exatidão das estimativas de regressão, ou seja, o erro da variável dependente em relação à linha de regressão, e não em relação à média.

A equação usada em seu cálculo é a mesma usada para o cálculo de desvio-padrão que encontramos em livros de estatística.

$$S_{y,x} = \frac{[\sum (y - y_c)^2]^{1/2}}{(n - 2)^{1/2}} \quad (4.30)$$

onde

y = valor de y de cada dado

y_c = valor calculado da variável dependente, a partir da equação de regressão

n = número de pontos de dados

Análises de regressão podem fornecer poderosa orientação para importantes decisões no gerenciamento de operações, como gerenciamento de estoques, planejamento de capacidade e gerenciamento de processos.

As desvantagens deste método são a necessidade de uma quantidade considerável de dados para se estabelecer a relação, o fato de todas as observações terem o mesmo peso e o fato da regressão linear simples se aplicar apenas a relações lineares com uma única variável independente.

4.8. Controle de previsões

A previsão, após ser determinada, deve ser monitorada para garantir seu bom funcionamento. Os fatores usados para monitorar e controlar as previsões são ao mesmo tempo usados pelos gerentes como indicadores na hora de decidir o melhor método de previsão a ser adotado.

Como dito anteriormente, é praticamente impossível que as previsões sejam exatas, entretanto o erro deve ser medido e analisado, para não se afastar muito do valor real da demanda.

O erro de previsão é calculado através da diferença entre o valor real e o valor previsto e é utilizado para auxiliar na escolha do modelo de previsão e para avaliar o método utilizado.

Erros positivos resultam quando a previsão é excessivamente baixa, já erros negativos significam previsões além do valor real.

Os erros de previsão auxiliam na tomada de dois tipos de decisão: (a) escolher entre várias alternativas de previsão e (b) avaliar o êxito ou fracasso do método adotado.

Escolha do método de previsão

Na determinação do método a ser adotado, o grau de exatidão é muito importante e pode ser analisado sob dois aspectos. Um deles é o desempenho histórico dos erros de um modelo de previsão e o outro é o grau de sensibilidade da previsão em relação a mudanças.

Os erros históricos podem ser avaliados através do desvio médio absoluto (DMA) e do erro médio quadrático (EMQ) que são obtidos através das equações:

$$DMA = \frac{\sum |(valor_real) - (valor_previsto)|}{n} \quad (4.31)$$

$$EMQ = \frac{\sum ((valor_real) - (valor_previsto))^2}{n-1} \quad (4.32)$$

Em casos onde o desempenho histórico do erro tem importância secundária, a escolha entre métodos focaliza o custo de se responder ou não, com rapidez, às mudanças.

Avaliação do desempenho do método de previsão adotado

É necessário monitorar os erros de previsão para assegurar que as previsões estejam tendo um desempenho adequado.

Este monitoramento pode ser feito comparando-se os erros de previsão com valores predeterminados ou limites de ação. Os erros que estiverem dentro destes limites são considerados aceitáveis e os erros que caírem fora indicam que uma ação corretiva deve ser empregada.

Dois métodos podem ser utilizados nesta avaliação: (a) sinais de rastreamento ou (b) gráficos de controle.

1) Sinais de rastreamento

Com base nos valores de DMA obtidos, pode-se fazer a monitorização através do sinal de rastreamento.

Este sinal é a razão entre a soma dos erros de previsão e o valor do DMA. Então,

$$Sinal_de_acompanhamento = \frac{\sum ((valor_real) - (valor_previsto))}{DMA} \quad (4.33)$$

Os valores do sinal de rastreamento são comparados com limites pré-determinados, que geralmente variam de ± 2 a ± 4 DMAs.

2) Gráficos de controle

Os gráficos de controle, entretanto, utilizam os valores de EMQ, pois são baseados no estabelecimento de limites inferior e superior que são múltiplos da raiz quadrada do EMQ (s). Geralmente estes limites correspondem a $\pm 2s$.

Tanto o sinal de acompanhamento quanto o gráfico de controle concentram-se nos valores que estão fora dos limites estabelecidos.

O gráfico de controle possui uma abordagem superior ao sinal de acompanhamento, pois os erros individuais são tratados individualmente, enquanto que no sinal de acompanhamento os valores dos erros podem ser cancelados mutuamente (os valores positivos com os negativos).

5 Estudo de caso

O estudo de caso consiste na busca de um modelo de previsão baseado em séries temporais que se aproxime mais da demanda real, o que, além do ganho com a diminuição de recursos alocados em estoques desnecessários e com a diminuição do custo de perdas de venda, contribui para a redução da perda de produtos por vencimento do prazo de validade.

Como mencionado no capítulo 2, a coleta dos dados para os cálculos de consumo é feita diariamente através de contato telefônico entre o estoquista do turno da noite e a coordenadora de qualidade (pessoa responsável pelo pedido de compra). Os dados coletados são o estoque final em máquinas, o estoque final no estoque central, a quantidade de kits lanche entregue e a quantidade de perdas. Estes dados são digitados em uma planilha em Excel (conforme a Tabela 5.1) e utilizados no cálculo do consumo diário, em máquinas e do consumo total (máquinas + kit lanche).

DATA	DIA DA SEMANA	ESTOQUE INICIAL		ENTRADA	TRANSF.	KIT	PERDA	ESTOQUE FINAL		CONS. MÁQ.	CONS. TOT
		MÁQUINA	ESTOQUE					MÁQUINA	ESTOQUE		
01/mar	SEGUNDA	873	385	700		45	44	665	100	1104	1149
02/mar	TERÇA	665	100			52	34	233	0	446	498
03/mar	QUARTA	233	0	1050		33	84	619	73	474	507
04/mar	QUINTA	619	73	510		2	10	652	0	538	540
05/mar	SEXTA	652	0	1410		14	29	1045	418	556	570
06/mar	SÁBADO	1045	418			29	15	793	174	452	481
07/mar	DOMINGO	793	174			53	5	391	116	402	455
08/mar	SEGUNDA	391	116	700		79	57	569	83	419	498
09/mar	TERÇA	569	83	510		68	0	531	0	563	631
10/mar	QUARTA	531	0	900		145	0	675	135	476	621

Tabela 5.1 – Planilha para cálculo do consumo diário de sanduíches

O consumo diário em máquinas é obtido somando-se as quantidades iniciais em estoque nas máquinas e no estoque central à quantidade de entrada no estoque, e subtraindo-se as quantidades transferidas, enviadas para kit, perdidas e as quantidades que restaram em estoque nas máquinas e no estoque central.

O consumo total é calculado somando-se o consumo em máquinas à quantidade enviada para kit lanche.

Para este estudo, foram utilizados os dados do período de 01/03/04 a 31/08/04. Estes dados estão disponíveis no Anexo 1.

Os dados da série temporal serão aplicados a dois métodos de previsão: (a) método de médias móveis duplas, escolhido como uma alternativa de um método de cálculo simples e (b) método de amortecimento direto, escolhido por ser um método de grande aplicação para modelos de série que apresentem sazonalidade. O método de médias móveis duplas será aplicado com o auxílio do Excel e o método de amortecimento será utilizado através do emprego do Matlab 6.5. Os resultados obtidos serão comparados aos valores reais de demanda, com objetivo de se determinar o método que menos se distancie da realidade.

No caso de médias móveis duplas, todos os dados disponíveis foram aplicados nos cálculos de previsão 1-passo-a-frente. No caso do amortecimento direto, parte dos dados (de 01/03/04 a 06/07/04) foi usada no ajuste do modelo de previsão e parte (07/07/04 a 31/08/04) na verificação do desempenho do modelo.

5.1. Método de média móvel dupla

No caso da série temporal em estudo, adotou-se $n = 7$ (dias) e o gráfico 5.1 mostra a evolução dos dados obtidos através deste método de previsão em relação aos valores reais.

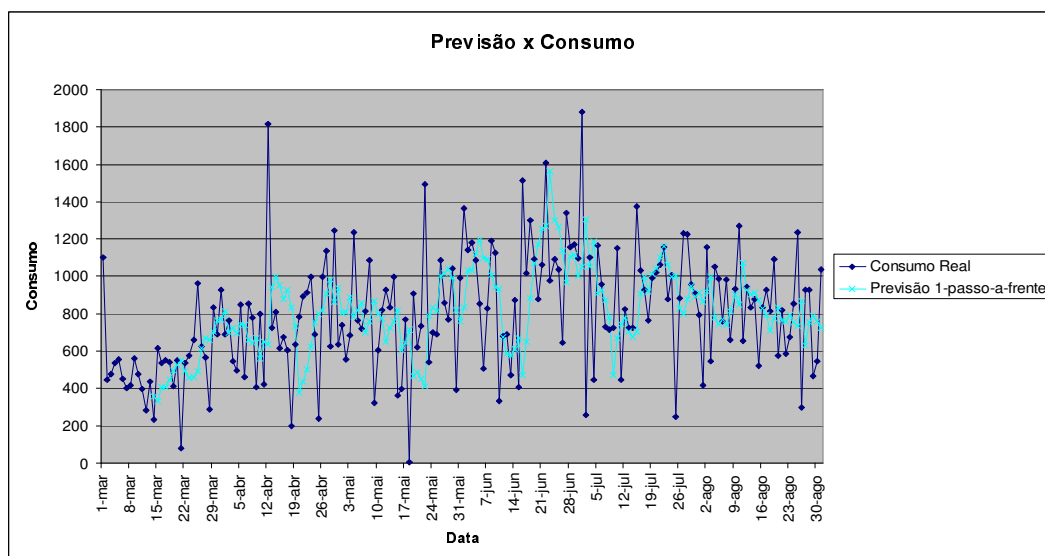


Gráfico 5.1 – Previsão pelo método de média móvel

5.2. Método de amortecimento direto

Aplicando-se o Periodograma de Schuster aos dados da série temporal em estudo obtivemos o Gráfico 5.2. Este gráfico foi obtido do Matlab 6.5 e embora pouco legível, mostra os picos avaliados a seguir nos testes de significância. O eixo das ordenadas mostra os picos $I(\omega)$, que é adimensional, e o eixo da abscissa representa as frequências angulares ω , em radianos por unidades de tempo.

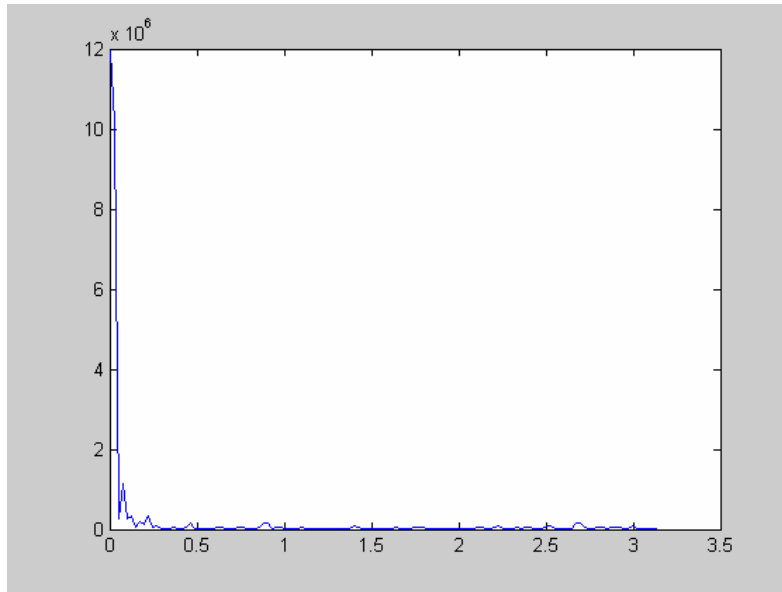


Gráfico 5.2 – Periodograma de Schuster

Aplicando-se os Testes de Fisher e Whittle aos dados obtidos do periodograma acima e adotando-se nível de significância do ‘pico’ de 99%, temos:

Teste de Fisher:

$$\sum_{j=1}^{[N/2]} I_j = 0,3794 * 10^7$$

$N = 128$ (par), por isso $N/2 = 128/2 = 64$

$$1^\circ \text{ pico} \rightarrow I_{\max} = 0,1128 * 10^7$$

$$T_0 = \frac{0,1128 * 10^7}{0,3794 * 10^7} = 0,2973$$

$$P\{T > 0,2973\} = 64 * (1 - 0,2973)^{63} = 1,4213 * 10^{-8} \approx 0,0000$$

Portanto, conclui-se que o máximo observado tem significância praticamente igual a zero, ou seja, é altamente significativo.

Teste de Whittle:

$$2^\circ \text{ pico} \rightarrow I'_{\max} = 0,0345 * 10^7 \quad (w_2)$$

$$T'_0 = \frac{0,0345 * 10^7}{(0,3794 * 10^7 - 0,1128 * 10^7)} = 0,1294$$

$$P\{T > 0,1294\} = 63 * (1 - 0,1294)^{62} = 0,0117$$

O resultado de significância é superior a 1%, portanto, a significância do 'pico' não atinge os 99%.

Apenas 1 'pico' significativo foi encontrado, ou seja, $m = 1$. Na Tabela 5.2 é mostrado o pico e sua respectiva frequência.

O Periodograma mostra um gráfico de densidade espectral x frequência (hertz), por isso é necessária a transformação para radianos:

Pelo gráfico, para $I = 0,1128 * 10^7$, $f = 0,0736$.

Como $w = 2 * \pi * f \rightarrow w_1 = 0,4622$

Picos significativos	W (frequência angular) rad/hora
$P_1 = 0,1128 \times 10^7$	$W_1 = 0,4622$

Tabela 5.2 – Picos significativos e suas respectivas frequências

5.2.1. Modelando a série temporal em estudo pelo método de amortecimento direto

Foi escolhido um modelo linear mais sazonal para modelar a série histórica.

Na modelagem da parcela sazonal foi adotado um critério no qual o número de pares seno/coseno (m) e suas respectivas frequências angulares (w_j) não eram conhecidos *a priori*.

Portanto, foi realizada uma análise espectral, através de um Periodograma para a determinação das “verdadeiras” frequências escondidas.

Da tabela 5.2 (seção 5.2), temos o número de pares seno/coseno ($m=1$) e sua respectiva frequência.

Então o modelo de amortecimento direto fica:

$$Z_t = a_1 + a_2 * t + a_3 * \text{sen}(w_1 * t) + a_4 * \text{cos}(w_1 * t) + e_t$$

Utilizando $f(t+1) = L * f(t)$ e fazendo a transposta de L tem-se:

$$L^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -0,0081 \\ 0 & 0 & 0,0081 & 1 \end{bmatrix}$$

Usando-se a equação (5.11) e a tabela 4.2 (Seção 4.7.2.1.6.6.2), calcula-se G. O beta adotado foi $\beta = 0,95$.

Sendo:

$$f(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

calcula-se h usando-se a equação 4.17, então,

$$h = \begin{bmatrix} 0,0873 \\ 0,0023 \\ -0,0233 \\ 0,0908 \end{bmatrix}$$

E finalmente tem-se:

$$\hat{a}(T) = L^T * \hat{a}(T-1) + h * e_1(T), \text{ que fica:}$$

$$\hat{a}_1(T) = \hat{a}_1(T-1) + \hat{a}_2(T-1) + 0,0873 * e_1(T)$$

$$\hat{a}_2(T) = \hat{a}_2(T-1) + 0,0023 * e_1(T)$$

$$\hat{a}_3(T) = \hat{a}_3(T-1) - 0,0081 * \hat{a}_4(T-1) - 0,0233 * e_1(T)$$

$$\hat{a}_4(T) = 0,0081 * \hat{a}_3(T-1) + \hat{a}_4(T-1) + 0,0908 * e_1(T)$$

Os valores iniciais de 'a_i' foram escolhidos arbitrariamente.

O ajuste do modelo de previsão resultou no gráfico 5.3:

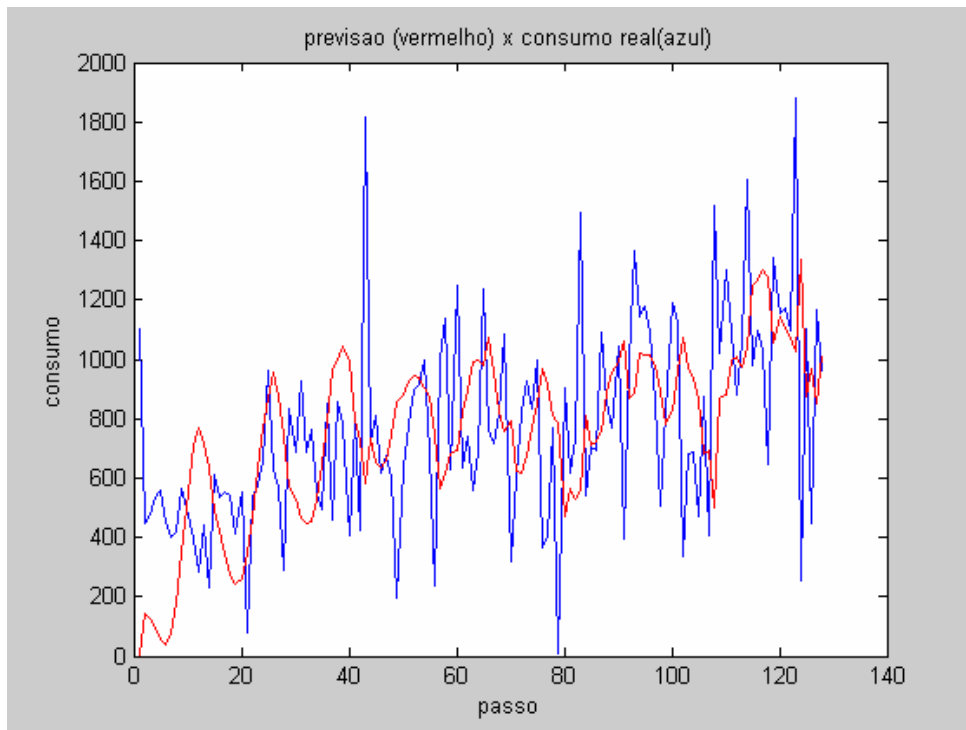


Gráfico 5.3 – Ajuste do modelo de previsão por amortecimento direto

O modelo de previsão do consumo de sanduíches (previsão 01-passo-a-frente) fica:

$$\hat{Z}_{T+1}(T) = \hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T) - 0,0081 * \hat{a}_3(T) + \hat{a}_4(T)$$

Através deste modelo, fez-se a comparação gráfica com os dados reais, mostrada no gráfico 5.4, abaixo:

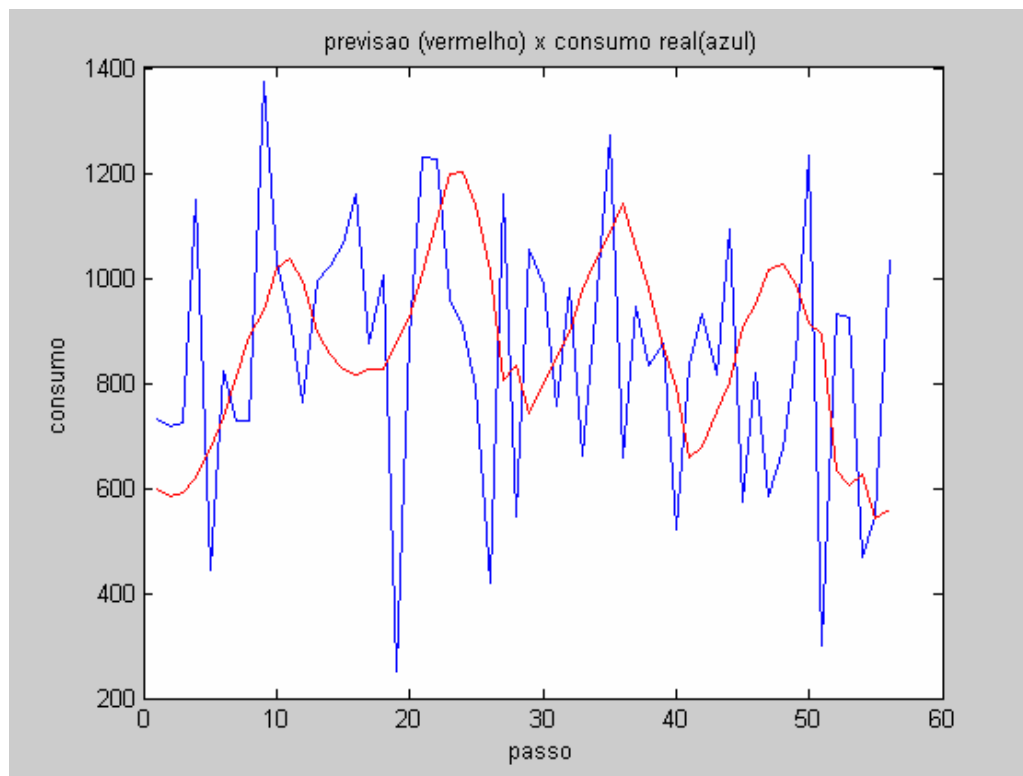


Gráfico 5.4 –Previsão 1-passo-a-frente pelo método de amortecimento direto

6 Considerações finais

6.1. Análise dos resultados

Este trabalho propôs a determinação de um modelo de previsão de consumo de sanduíches em um determinado ponto de venda.

Os dados foram tratados através dos métodos de média móvel dupla e do método de amortecimento direto no intuito de avaliar o que melhor se aproximava da realidade.

Os resultados foram analisados com base no sinal de rastreamento e no gráfico de controle.

Observou-se para o método de média móvel os seguintes resultados:

Desvio Médio Absoluto	Sinal de Acompanhamento	Erro médio Quadrático	Gráfico de Controle (S)	Limites de Controle
252	0,70	111622	334	668

Tabela 6.1 – Resultados obtidos pelo método de média móvel dupla

Para o sinal de rastreamento, são utilizados limites de ± 4 , que são aproximadamente iguais aos limites de três desvios-padrão (Stevenson, 2001). O sinal positivo indica que a demanda é maior que a previsão.

Além do sinal de rastreamento, é necessário monitorar os erros de previsão para assegurar que as previsões estejam tendo um desempenho adequado. Comparam-se então os erros de previsão com os valores predeterminados ou limites de controle, conforme mostrado no gráfico 6.1. A previsão é considerada “sob controle” se 99,7% ou 95% dos erros caírem dentro dos limites de 3s e 2s, respectivamente. Os erros que caírem fora desses limites alertam que uma ação corretiva torna-se necessária.

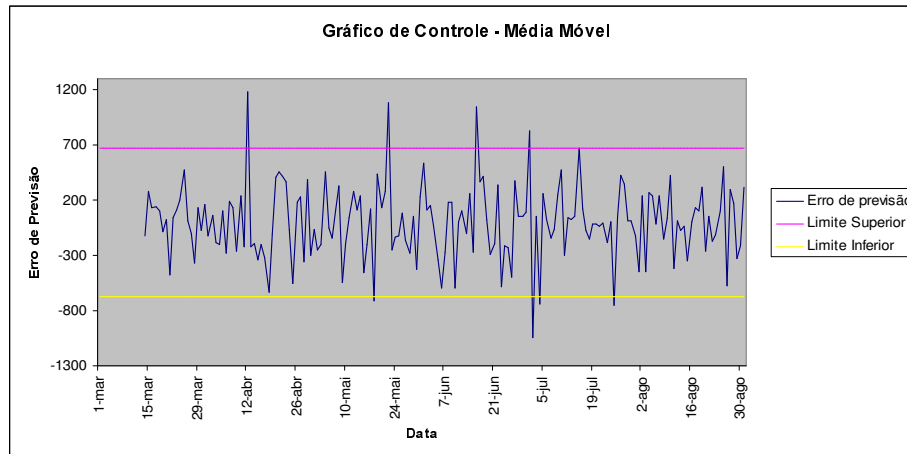


Gráfico 6.1 – Gráfico de controle obtido com o método de média móvel dupla.

Apenas 8 pontos dos 171 representados no gráfico 6.1 estão fora dos limites, o que mostra que 95,3% estão dentro dos limites de $\pm 2s$. Com isso, a previsão é considerada sob controle.

No método de amortecimento direto obtiveram-se os seguintes resultados no controle da previsão:

Desvio Médio Absoluto	Sinal de Acompanhamento	Erro médio Quadrático	Gráfico de Controle (S)	Limites de Controle
619,7	-1,6	279290	528,5	1.057

Tabela 6.2 – Resultados obtidos pelo método de amortecimento direto

O sinal de acompanhamento está dentro do limite de ± 4 e o sinal negativo indica que a demanda é menor que a previsão.

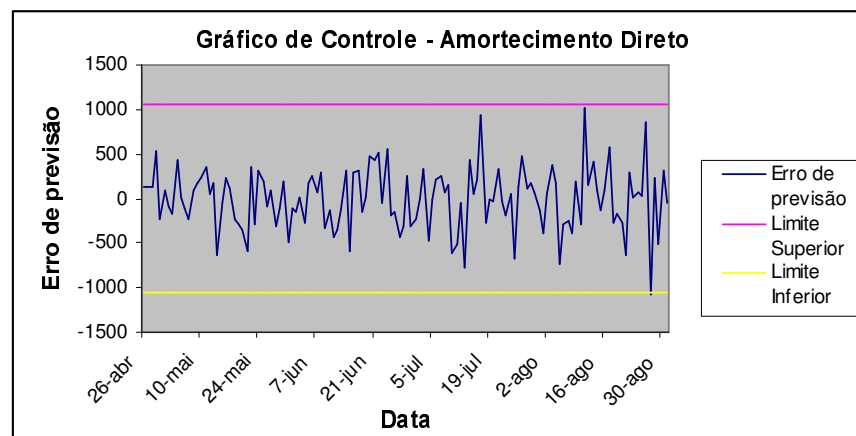


Gráfico 6.2 – Gráfico de controle obtido com o método de amortecimento direto.

Apenas 1 ponto dos 128 representados no gráfico 6.2 está fora dos limites, o que mostra que 99,2% estão dentro dos limites de $\pm 2s$. Com isso, a previsão é considerada sob controle.

Ainda analisando os gráficos 6.1 e 6.2, pode-se observar que se utilizar os valores dos limites de controle como a quantidade a ser armazenada como estoque de segurança, a empresa pode se prevenir quanto à falta de produto.

Através dos resultados apresentados, pode-se concluir que ambos os métodos de previsão são satisfatórios para a análise dos dados históricos.

Apesar do método de amortecimento direto ter apresentado uma maior precisão, o método de média móvel dupla tem a vantagem da maior simplicidade nos cálculos.

6.2. Conclusão

Com o objetivo de estudar o comportamento da demanda dos produtos alimentícios oferecidos aos consumidores por meio de *vending machines* foi feita uma descrição dos conceitos básicos de previsão, com especial atenção a dois modelos: o método de média móvel dupla e o método de amortecimento direto.

Ambos os métodos foram utilizados na análise de dados históricos de venda de sanduíches ao longo do tempo, em um ponto de venda específico e foram escolhidos por serem considerados mais simples e promissores.

Pela análise dos resultados observou-se que ambos os métodos de média móvel dupla e de amortecimento direto são satisfatórios na previsão de demanda dos sanduíches consumidos pelos operadores Contax, sendo o método de amortecimento direto mais preciso, porém mais complexo que o método de média móvel dupla. A previsão de demanda então pode ser usada como uma ferramenta bastante útil na programação de pedidos de compra, diminuindo assim o risco de falta do produto nas máquinas e/ou de perdas por vencimento do produto o que torna este trabalho bastante significativo para a empresa analisada.

Um pedido de compra mais preciso gera também uma maior produtividade da pessoa responsável por ele, pois mudanças constantes na programação tornam-se desnecessárias.

A extensão deste estudo a outros produtos também pode trazer benefícios para a empresa, pois um controle de estoque mais eficiente permite a diminuição

da quantidade de mercadoria em estoque, o que aumenta o giro dos produtos armazenados e reduz a quantidade de capital investido em mercadorias paradas no estoque. Além disso, permite um melhor aproveitamento da área de armazenamento, pois diminui a quantidade de produtos desnecessários.

Além disso, como dito anteriormente uma maior precisão nos pedidos faz com que haja menor risco de falta de produto, o que gera aumento da satisfação do cliente.

6.3. Perspectivas de novos trabalhos

Mesmo com os bons resultados encontrados, há algumas peculiaridades que não foram consideradas e poderão ser analisadas em trabalhos futuros:

- Não foram ponderadas alterações nas vendas devido a dias de chuva, feriados, promoções de outros produtos, que alterariam a venda de sanduíches em determinados dias;
- Não foi proposto um modelo de gestão de estoque com base na previsão de demanda;
- Os métodos de previsão podem ser aplicados também na previsão de demanda de outros produtos comercializados pela Tok Take.

7 Referências bibliográficas

7.1. Livros

- 1 Ballou, R.H – “Logística Empresarial”. Editora Atlas, 1993.
- 2 Bowersox, D. J. & Closs, D. J. – “Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimentos”. Editora Atlas, 2001.
- 3 Corrêa, H. L., Gianesi, I. G. N. & Caon, M. – “Planejamento, Programação e Controle da Produção”. Editora Atlas, 2001.
- 4 Dalcol, P. R. T. – “Controle de Estoques e Previsão de Demanda sob Incerteza: Uma Aplicação”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-RJ, 1972.
- 5 Heinzer, J. & Render, B. – “Administração de Operações – Bens e Serviços”. Editora LTC, 2001.
- 6 Krajewski, L.J. & Ritzman, L. P. – “Operations Management: Strategy and Analysis”. Addison-Wesley Publishing Company, 1996.
- 7 Ljung, L. – “System Identification: Theory for the User”. Prentice Hall, 1987.
- 8 Montgomery, D. C. & Johnson, L. A. – “Forecasting and Time Series Analysis”. McGraw-Hill Book Company, 1976.
- 9 Quadrelli, G. – “Modelos Comparativos de Previsão de Carga Elétrica de Curto Prazo”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-RJ, 1998.
- 10 Stevenson, W. J. – “Administração das Operações de Produção”. Editora LTC, 2001.

7.2. Sites pesquisados na internet

- 11 www.toktake.com.br
- 12 www.canallogistica.com.br
- 13 www.cel.coppead.ufrj.br

8 Anexos

8.1. Anexo 01

Dados de consumo em máquinas de 01/03/04 a 31/08/04.

Data	Consumo em Máquinas
1-mar	1104
2-mar	446
3-mar	474
4-mar	538
5-mar	556
6-mar	452
7-mar	402
8-mar	419
9-mar	563
10-mar	476
11-mar	397
12-mar	284
13-mar	439
14-mar	232
15-mar	614
16-mar	535
17-mar	553
18-mar	543
19-mar	412
20-mar	551
21-mar	80
22-mar	537
23-mar	574
24-mar	660
25-mar	964
26-mar	626
27-mar	568
28-mar	288
29-mar	832
30-mar	689
31-mar	927
1-abr	688
2-abr	764
3-abr	544
4-abr	495
5-abr	851

Data	Consumo em Máquinas
6-abr	460
7-abr	854
8-abr	778
9-abr	409
10-abr	798
11-abr	423
12-abr	1817
13-abr	723
14-abr	811
15-abr	616
16-abr	676
17-abr	605
18-abr	197
19-abr	633
20-abr	782
21-abr	895
22-abr	915
23-abr	997
24-abr	690
25-abr	239
26-abr	1000
27-abr	1136
28-abr	627
29-abr	1248
30-abr	637
1-mai	740
2-mai	556
3-mai	685
4-mai	1237
5-mai	763
6-mai	719
7-mai	814
8-mai	1087
9-mai	321
10-mai	605
11-mai	821
12-mai	927

Data	Consumo em Máquinas
13-mai	835
14-mai	997
15-mai	363
16-mai	398
17-mai	771
18-mai	7
19-mai	906
20-mai	619
21-mai	734
22-mai	1492
23-mai	541
24-mai	702
25-mai	691
26-mai	1089
27-mai	857
28-mai	768
29-mai	1042
30-mai	393
31-mai	991
1-jun	1363
2-jun	1143
3-jun	1180
4-jun	1089
5-jun	855
6-jun	508
7-jun	827
8-jun	1190
9-jun	1127
10-jun	334
11-jun	680
12-jun	690
13-jun	472
14-jun	875
15-jun	407
16-jun	1515
17-jun	1019
18-jun	1300

Data	Consumo em Máquinas
19-jun	1092
20-jun	880
21-jun	1064
22-jun	1608
23-jun	977
24-jun	1094
25-jun	1035
26-jun	644
27-jun	1342
28-jun	1155
29-jun	1171
30-jun	1097
1-jul	1879
2-jul	257
3-jul	1103
4-jul	448
5-jul	1167
6-jul	956
7-jul	730
8-jul	717
9-jul	725
10-jul	1150
11-jul	445
12-jul	824
13-jul	727
14-jul	727
15-jul	1374
16-jul	1031
17-jul	926
18-jul	764
19-jul	994
20-jul	1024
21-jul	1064
22-jul	1158
23-jul	877
24-jul	1005
25-jul	250
26-jul	882
27-jul	1231
28-jul	1225
29-jul	958
30-jul	908
31-jul	792
1-ago	418
2-ago	1158
3-ago	546
4-ago	1054
5-ago	989
6-ago	757
7-ago	981

Data	Consumo em Máquinas
8-ago	661
9-ago	931
10-ago	1272
11-ago	657
12-ago	944
13-ago	832
14-ago	877
15-ago	520
16-ago	833
17-ago	930
18-ago	815
19-ago	1094
20-ago	575
21-ago	819
22-ago	585
23-ago	676
24-ago	854
25-ago	1234
26-ago	299
27-ago	930
28-ago	926
29-ago	467
30-ago	546
31-ago	1037

8.2. Anexo 02

Método de Amortecimento Direto: listagens computacionais.

%ajuste: 01/03/04 a 06/07/04 (128 dias)

%previsao: 07/07/04 a 31/08/04 (56 dias)

% calculo dos parametros do modelo

w1=0.4622;

dados

l=[1 0 0 0; 1 1 0 0; 0 0 1 0.0081; 0 0 -0.0081 1]

lt=l'

beta=0.95;

a=1/(1-beta);

b=-beta/(1-beta)^2;

c1=-(beta*sin(w1))/(1-2*beta*cos(w1)+beta^2);

d1=(1-beta*cos(w1))/(1-2*beta*cos(w1)+beta^2);

e=(beta*(1+beta))/(1-beta)^3;

f1=(1/2)*[(1-beta*cos(2*w1))/(1-2*beta*cos(2*w1)+beta^2)-(1-beta)/(1-2*beta+beta^2)];

g1=(1/2)*[(1-beta*cos(2*w1))/(1-2*beta*cos(2*w1)+beta^2)+(1-beta)/(1-2*beta+beta^2)];

h1=(beta*(1-beta^2)*sin(w1))/(1-2*beta*cos(w1)+beta^2)^2;

i1=-((2*beta^2-beta*(1+beta^2)*cos(w1))/(1-2*beta*cos(w1)+beta^2)^2);

j11=-((1/2)*[(beta*sin(w1+w1))/(1-2*beta*cos(w1+w1)+beta^2)+(beta*sin(w1-w1))/(1-2*beta*cos(w1-w1)+beta^2)]);

g=[a b c1 d1; b e h1 i1; c1 h1 f1 j11; d1 i1 j11 g1]

p=inv(g)

f0=[1; 0; 0; 1];

h=p*f0

```

% ajuste do modelo
a1(1)=0.5 ; a2(1)=0.5 ; a3(1)=0.5 ; a4(1)=0.5 ;
zt(1)=a1(1)+a2(1)*1+a3(1)*sin(w1*1)+a4(1)*cos(w1*1)
e1(1)=x1(1)-zt(1);
n=length(x1);

for i=2:(n+1)
a1(i)=a1(i-1)+a2(i-1)+h(1)*e1(i-1);
a2(i)=a2(i-1)+h(2)*e1(i-1);
a3(i)=a3(i-1)-0.0081*a4(i-1)+h(3)*e1(i-1);
a4(i)=0.0081*a3(i-1)+a4(i-1)+h(4)*e1(i-1);
if i<(n+1)
zt(i)=a1(i)+a2(i)*i+a3(i)*sin(w1*i)+a4(i)*cos(w1*i);
e1(i)=x1(i)-zt(i);
end
end;

tempo=1:1:n
figure(1)
plot(tempo,x1,'b',tempo,zt,'r')
xlabel('passo')
ylabel('consumo')
title('previsao (vermelho) x consumo real(azul)')

% previsao um-passo-a-frente
a1(1)=a1(128) ; a2(1)=a2(128) ; a3(1)=a3(128) ; a4(1)=a4(128) ;
zt1(1)=a1(1)+a2(1)*1+a3(1)*sin(w1*1)+a4(1)*cos(w1*1)
e1(1)=x2(1)-zt1(1);
n1=length(x2);

for i=2:(n1+1)
a1(i)=a1(i-1)+a2(i-1)+h(1)*e1(i-1);
a2(i)=a2(i-1)+h(2)*e1(i-1);
a3(i)=a3(i-1)-0.0081*a4(i-1)+h(3)*e1(i-1);

```

```

a4(i)=0.0081*a3(i-1)+a4(i-1)+h(4)*e1(i-1);
if i<(n1+1)
zt1(i)=a1(i)+a2(i)*i+a3(i)*sin(w1*i)+a4(i)*cos(w1*i);
e1(i)=x2(i)-zt1(i)
end
end;

tempo=1:1:n1
figure(2)
plot(tempo,x2,'b',tempo,zt1,'r')
xlabel('passo')
ylabel('consumo')
title('previsao (vermelho) x consumo real(azul)')

% Controle da Previsao
e2=abs(e1)

% desvio medio absoluto
dma=(sum(e2))/n1

% sinal de rastreamento
sr=(sum(e1))/dma

% erro medio quadratico
emq=(sum((e1).^2))/(n1-1)

% raiz quadrada de emq
s=(emq)^(1/2)

% limite de controle
lc=2*s

```