

RAPHAEL DAMINI MOREIRA

**PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES PARA UMA INDÚSTRIA DE  
BENS DE CONSUMO**

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

São Paulo

2010

RAPHAEL DAMINI MOREIRA

**PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES PARA UMA INDÚSTRIA DE  
BENS DE CONSUMO**

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

Orientador: Prof. Livre-Docente Hugo T.  
Y. Yoshizaki

São Paulo

2010

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Moreira, Raphael Damini**

**Planejamento de transportes para uma indústria de bens de consumo / R.D. Moreira. -- São Paulo, 2010.**  
**p. 125**

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

**1. Planejamento de transportes 2. Demanda 3. Bens de consumo I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus familiares,  
professores, amigos e ao meu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos familiares – Alair, Nelson, Nathalia, Marina e Alda – e ao meu amor – Déborah – pelos valores transmitidos, pelo constante apoio e por sempre acreditarem no meu sucesso. Agradeço também pelo carinho e dedicação.

À Deus, pela força de cada dia, pelas oportunidades e pelas pessoas que colocou em minha vida.

Ao professor Hugo T. Y. Yoshizaki pela orientação deste trabalho e pela confiança depositada.

Ao professor Miguel Santoro pela disposição em esclarecer dúvidas do trabalho, contribuindo para a execução do mesmo.

A funcionária Marlene de Fátima que me ajudou a encontrar diversas referências bibliográficas utilizadas nesse trabalho.

Aos amigos da faculdade pelo companheirismo nos estudos e pelos momentos que passamos juntos ao longo dos cinco anos de faculdade, os quais restaram boas recordações.

Aos colegas de trabalho da Unilever, pela oportunidade de estágio e pelos ensinamentos que contribuíram para meu desenvolvimento profissional.

Aos amigos de longa data, por me acompanharem nesta caminhada e pelos momentos de descontração.

## **RESUMO**

O presente trabalho de formatura tem como objetivo desenvolver um modelo para o planejamento de transportes de uma empresa multinacional que atua no mercado de bens de consumo. Essa tarefa mostrou-se necessária visto que, devido ao atual cenário brasileiro de transporte rodoviário, a empresa tem enfrentado dificuldades em alcançar um determinado nível de serviço sem que haja incrementos nos seus custos. A disposição das informações para a execução do planejamento ocorreu através da atribuição de conceitos e técnicas de demanda derivada e previsão de demanda sobre dados históricos, com os quais é possível estimar a quantidade de cargas requisitadas para a entrega de um pedido. Desse modo, com a aplicação da técnica proposta, a empresa conseguirá ter uma estimativa da sua necessidade por transporte e poderá planejar as suas operações de forma a atingir o nível de serviço esperado a um custo apropriado.

Palavras-chave: Planejamento de transportes. Previsão de Demanda. Bens de Consumo. Demanda Derivada. Nível de Serviço. Logística.

## **ABSTRACT**

The objective of this graduation paper is to develop a model of transportation planning for a multinational company that operates in the consumer good market. This task seemed to be necessary because due to the current Brazilian road scenery , the company has been facing difficulties to achieve a certain level of service without increasing their costs. The information to make the planning possible occurred through applying theoretical techniques and derived demand and forecast demand on historical data, which allows one to estimate the number of loading required to deliver an order. Therefore, by setting up the offered technique, the company will have an approximate transportation need and will be able to plan their operations to achieve the expected service level at an appropriate cost.

Key words: Transportation planning. Demand forecasting. Consumer goods. Derived demand. Level of service. Logistics.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 - Marcas Unilever no segmento de cuidados pessoais .....	24
Figura 2 - Marcas Unilever no segmento de limpeza .....	24
Figura 3 - Marcas Unilever no segmento de alimentos .....	25
Figura 4 – Estrutura organizacional da empresa.....	26
Figura 5 - Fluxo interno do pedido de um cliente .....	28
Figura 6 - Representatividade da forma de cálculo da abordagem 1 .....	66
Figura 7 - Representatividade da forma de cálculo da abordagem 2 .....	66
Figura 8 - Representatividade da forma de cálculo da abordagem 3 .....	67
Figura 9 - Mesorregiões e Microrregiões Geográficas – 1990 .....	69
Figura 10 - Layout da Planilha do Projeto Piloto .....	103

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição dos Modais no Brasil em 2005.....	54
Gráfico 2 - Crescimento do PIB no Brasil.....	55
Gráfico 3 - Receitas obtidas com as exportações brasileiras.....	55
Gráfico 4 - Percepção das transportadoras quanto ao atendimento da demanda .....	56
Gráfico 5 - Percepção das transportadoras quanto à quantidade de recusas.....	57
Gráfico 6 - Limite eficiente entre Custo e Nível de Serviço .....	59
Gráfico 7 - Dispersão das rotas segundo os critérios de classificação.....	72
Gráfico 8 - Participação de cada classe de dados em relação à quantidade total de rotas .....	73
Gráfico 9 - Série temporal das vendas semanais para o grupo A .....	77
Gráfico 10 – Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas.....	78
Gráfico 11 - Teste de autocorrelação para os pesos semanais do Grupo A .....	80
Gráfico 12 - Teste de autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo A.....	82
Gráfico 13 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo A .....	91
Gráfico 14 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo A .....	92
Gráfico 15 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo A.....	93
Gráfico 16 - Comparação entre estimativas semanais e valores reais de viagens para o Grupo A.....	98
Gráfico 17 - Comparação entre estimativas diárias e valores reais de viagens do Grupo A.....	99

Gráfico 18 - Série temporal das vendas semanais para o Grupo B .....	107
Gráfico 19 – Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas para o Grupo B .....	107
Gráfico 20 - Série temporal das vendas semanais para o Grupo C .....	108
Gráfico 21 - Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas para o Grupo C .....	108
Gráfico 22 - Série temporal das vendas semanais para o Grupo D .....	109
Gráfico 23 - Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas para o Grupo D .....	109
Gráfico 24 - Teste de Autocorrelação para os pesos semanais do Grupo B.....	110
Gráfico 25 - Teste de Autocorrelação para os pesos semanais do Grupo C .....	110
Gráfico 26 - Teste de Autocorrelação para os pesos semanais do Grupo D .....	111
Gráfico 27 - Teste de Autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo B .....	111
Gráfico 28 - Teste de Autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo C.....	112
Gráfico 29 - Teste de Autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo D.....	112
Gráfico 30 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo B .....	113
Gráfico 31 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo B .....	113
Gráfico 32 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo C .....	114
Gráfico 33 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo C .....	114
Gráfico 34 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo D .....	115
Gráfico 35 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo D .....	115

Gráfico 36 - Teste de Levene para os pesos do veículo nas semanas C1 e C2 do Grupo A.....	116
Gráfico 37 - Teste de Levene para os pesos do veículo nas semanas C3 e C4 do Grupo A.....	116
Gráfico 38 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo B .....	117
Gráfico 39 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo C.....	118
Gráfico 40 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo D.....	118
Gráfico 41 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo A.....	120
Gráfico 42 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo B.....	120
Gráfico 43 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo C.....	121
Gráfico 44 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo D.....	121
Gráfico 45 - Comparação entre estimativas semanais e valores reais de viagens para o Grupo B.....	123
Gráfico 46 - Comparação entre estimativas semanais e valores reais de viagens para o Grupo C.....	123
Gráfico 47 - Comparação entre estimativas semanais e valores reais de viagens para o Grupo D.....	123
Gráfico 48 - Comparação entre estimativas diárias e valores reais de viagens para o Grupo B .....	124
Gráfico 49 - Comparação entre estimativas diárias e valores reais de viagens para o Grupo C.....	124

Gráfico 50 - Comparaçāo entre estimativas diárias e valores reais de viagens para o  
Grupo D.....124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Influência dos comportamentos nos horizontes de planejamento.....	36
Tabela 2 - Equações para a aplicação da Análise de Variância.....	49
Tabela 3 - Comparação das características dos modais utilizados em transporte....	53
Tabela 4 – Características dos 3 níveis de planejamento logístico da empresa .....	64
Tabela 5 – Características do Planejamento de Transportes.....	65
Tabela 6 - Classes de perfis de veículos definidas .....	70
Tabela 7 - Classificação das rotas segundo a quantidade de pedidos e falhas .....	72
Tabela 8 - Microrregiões e perfis de veículos selecionados para os testes .....	73
Tabela 9 – Classificação das semanas segundo a quantidade de dias no mês.....	77
Tabela 10 - Valores de $r$ para as Regressões dos dados de cada grupo.....	84
Tabela 11 - Resumo dos comportamentos presentes em cada um dos grupos analisados .....	85
Tabela 12 – Erro MSE dos modelos de previsão de cada grupo .....	88
Tabela 13 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo A .....	93
Tabela 14 - Teste de Levene e Análise de Variância para os pares de semana do Grupo A .....	94
Tabela 15 – Valores de $p$ do Teste de Levene e da Análise de Variância para os Grupos B, C e D .....	95
Tabela 16 - Valor dos pesos a serem utilizados em cada grupo .....	95
Tabela 17 - Análise de Variância para os dias da semana C1 no Grupo A.....	96

Tabela 18 - Resultados do Teste de Levene e Análise de Variância para a demanda diária dos Grupos B, C e D.....	97
Tabela 19 - Erros obtidos nas estimativas para os Grupos B, C e D .....	99
Tabela 20 - Análise de Variância dos pesos do veículo para as semanas C1 e C2 do Grupo A.....	116
Tabela 21 - Análise de Variância dos pesos do veículo para as semanas C3 e C4 do Grupo A .....	117
Tabela 22 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo B .....	119
Tabela 23 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo C .....	119
Tabela 24 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo D .....	119
Tabela 25- Análise de Variância para a representatividade dos dias da semana C1 no Grupo B .....	122
Tabela 26 - Análise de Variância para a representatividade dos dias da semana C1 no Grupo C.....	122
Tabela 27 - Análise de Variância para a representatividade dos dias da semana C1 no Grupo D.....	122
Tabela 28 – Valores Críticos do Coeficiente de Correlação $r$ .....	125

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>AQP</b>	Annual Quarter Plan
<b>CD</b>	Centro de Distribuição
<b>CSL</b>	Compra de Serviços Logísticos
<b>CT</b>	Central de Tráfego
<b>MAD</b>	Mean Absolute Deviation – Desvio da Média Absoluta
<b>MAPE</b>	Mean Absolute Percentage Error – Erro Percentual Absoluto Médio
<b>MPE</b>	Mean Percentage Error – Erro Percentual Médio
<b>MSE</b>	Mean Square Error – Erro Quadrático Médio
<b>p.p</b>	posição palete
<b>PL</b>	Planejamento Logístico

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1 A empresa – Unilever .....	21
1.1.1 História da Unilever .....	21
1.1.2 Marcas e Produtos Unilever .....	23
1.1.3 Sobre a Unilever.....	25
1.1.4 Organograma .....	26
1.1.5 O ciclo do pedido.....	27
1.1.6 O estágio .....	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>
2.1 Serviço ao cliente .....	29
2.1.1 As 5 áreas da logística .....	30
2.2 Cadeia de Suprimentos .....	32
2.3 Previsão de demanda.....	33
2.3.1 Métodos quantitativos .....	34
2.3.2 Horizontes de previsão.....	35
2.3.3 Etapas da tarefa de previsão de demanda.....	36
2.3.4 Precisão do modelo de previsão .....	39
2.3.5 Técnicas de Previsão .....	41
2.4 Análise dos dados .....	47

2.4.1 Teste de Hipótese .....	47
2.4.2 Análise de Variância com um fator.....	48
2.4.3 Teste de Normalidade .....	49
2.4.4 Teste de Levene.....	50
2.4.5 Coeficiente de correlação.....	51
<b>3 TRANSPORTE.....</b>	<b>53</b>
3.1 O Problema.....	57
3.2 Objetivo.....	59
<b>4 MODELAGEM DO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES.....</b>	<b>61</b>
4.1 Cenário .....	62
4.1.1 Contexto do Modelo .....	64
4.2 Abordagens para o cálculo da previsão.....	65
4.2.1 Escolha da abordagem que será aplicada .....	67
4.3 Simplificações do modelo .....	68
4.3.1 Destino dos clientes .....	68
4.3.2 Veículos .....	69
4.4 Seleção de algumas rotas .....	70
4.4.1 Escolha das rotas.....	73
4.5 Levantamento de dados .....	74
4.6 Análise Preliminar dos Dados.....	75
4.6.1 Análise da demanda semanal .....	76
4.6.2 Análise das porcentagens de demanda .....	81

4.7 Seleção do modelo de previsão.....	86
4.8 Estimando o peso por veículo.....	90
4.9 Avaliação da demanda diária.....	95
4.9.1 Metodologia para a demanda diária .....	97
4.10 Avaliação do modelo de previsão .....	98
<b>5 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA.....</b>	<b>101</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>104</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE – Gráficos e Tabelas Auxiliares .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO – Comparação do Coeficiente de Correlação .....</b>	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário brasileiro sofreu, ao longo da última década, mudanças significativas na sua curva de oferta e demanda. Durante os anos 90, devido às pequenas barreiras de entrada e baixas regulamentações existentes, havia um excesso de oferta das transportadoras que aliado ao baixo preço, atraiu as empresas para utilizarem esse modal. Já no final dessa década e início do terceiro milênio, por causa do crescimento da economia e da imposição de algumas restrições, foi verificado um aumento na demanda de transporte e uma redução na oferta do mesmo.

Esse cenário propiciou o início de um período de crise no setor, o qual pode ser evidenciado através das dificuldades encontradas para a contratação de transportadoras. Assim, para as empresas conseguirem efetivar a entrega dos pedidos dos seus clientes, estas se depararam (em muitos casos) com o *trade off* existente entre nível de serviço e custos, ou seja, para alcançar um determinado nível de serviço, era necessário despesar mais do que estava programado no seu orçamento.

Diante dessa perspectiva, vislumbrou-se a oportunidade de desenvolver uma ferramenta que auxiliasse o planejamento logístico da Unilever – empresa na qual o autor realizou estágio e que se enquadra no contexto elucidado anteriormente.

Dessa forma, esse trabalho tem o propósito de elaborar uma técnica que estime, através de conceitos de previsão de demanda, a quantidade de viagens (cargas) requisitadas para a entrega de pedidos. A partir desta, espera-se que a empresa obtenha maior visibilidade de sua necessidade por transporte e, consequentemente, consiga antecipar a negociação com as transportadoras para que a prestação de serviços seja garantida.

Apesar da relevância desse tema para as empresas, observa-se que o mesmo não é explorado por muitos autores. Assim, para a execução desse trabalho, foi necessário

contextualizar o problema a fim de identificar e adaptar os conceitos relacionados ao assunto abordado.

Nesse sentido, aborda-se no capítulo 2 a fundamentação teórica relacionada aos temas de planejamento e previsão de demanda e busca aprofundar o conhecimento sobre as técnicas que podem ser aplicadas para a elaboração do planejamento.

O capítulo seguinte apresenta o cenário de transportes encontrado ao longo dos últimos anos. Descreve-se também o problema enfrentado pelas empresas em relação à contratação das transportadoras bem como o objetivo do presente trabalho.

Já no capítulo 4 são relacionadas todas as etapas desenvolvidas para a proposição da metodologia de planejamento, tais como: análise do cenário, levantamento dos dados, análise preliminar dos mesmos, técnicas a serem empregadas para a previsão e avaliação do melhor método.

É importante ressaltar que os dados atribuídos neste capítulo foram alterados, através de um fator multiplicativo definido pelo autor, para respeitar o Código de Princípios da empresa.

Por fim, no capítulo 5 avalia-se, através de um projeto piloto, o modelo que foi desenvolvido e descreve-se uma forma de implementação do mesmo nas atividades da empresa.

Para um melhor entendimento da empresa em que o trabalho foi desenvolvido, serão apresentadas a seguir, algumas das suas principais características, tais como: história, marcas e produtos, organograma e instalações físicas. Além disso, será descrito, no final do capítulo, como ocorre o ciclo do pedido do cliente na mesma.

## 1.1 A empresa – Unilever

### 1.1.1 História da Unilever

Em 1929, a Unilever foi criada com a fusão da empresa inglesa Lever Brothers e a holandesa Margarine Une.

A Lever Brothers foi fundada, em 1884 na cidade de Bolton por William Hesketh e seus irmãos, com o propósito de vender sabões para lavar roupas. Para diferenciar-se dos concorrentes – que vendiam o produto a peso, cortados no momento da compra – a empresa decidiu criar uma marca (com o nome de Sunlight), padronizar o tamanho de venda do produto, utilizar uma embalagem atrativa e investir em uma boa comunicação com o consumidor. O produto tornou-se um sucesso e assim, a empresa abriu a própria fábrica.

A demanda pelo produto crescia e a empresa, para garantir o fornecimento de matérias-primas para a fabricação do sabão, decidiu produzir óleo animal (com a compra de uma frota de baleeiros) e óleo vegetal (com a plantação de palmeiras na África). Dessa forma, esta possuía condições favoráveis para a produção do sabão e ainda lançar produtos de higiene e limpeza a fim de atender à procura, cada vez maior, nesta categoria. Por tais fatores, a Lever Brothers criou o Lifebuoy (sabonete-desodorante para o corpo) e o Flocos Lux (sabão em barra para lavar roupas de tecidos delicados).

Devido à alta produção da matéria-prima adquirida, a empresa decidiu fabricar também margarinhas e o sucesso foi tão grande, que o negócio passou a concorrer com a companhia holandesa Margarine Unie. Para evitar a disputa do mercado, estas decidiram unir suas forças, e constituíram, assim, uma única empresa: a Unilever.

No mesmo ano (1929), com a razão social S.A Irmãos Lever, a empresa inicia suas atividades no Brasil, com a comercialização do sabão de roupa Sunlight – importado da Inglaterra.

A primeira fábrica brasileira foi inaugurada em 1930 – um ano após sua fundação – na região Vila Anastácio (SP). A partir daí, a empresa cresceu, diversificando sua produção, lançando produtos inovadores e conquistando a liderança de mercado com as marcas Lever, Omo e Lux. Os investimentos em propaganda nas rádios e pesquisa com os consumidores colaboraram para seu crescimento.

Ao mesmo tempo em que o processo de industrialização no Brasil se intensificava, permitindo o aumento da produção, o perfil da sociedade (com valores e costumes) se transformava. Dessa forma, surgiram novas tendências de consumo, criando possibilidades de diversificação e crescimento do mercado.

Assim, a Irmãos Lever, com o objetivo de expandir seus negócios, adquiriu, em 1960, as ações da Gessy – empresa brasileira que fazia sucesso na fabricação do sabonete Gessy e de produtos de higiene pessoal – transformando-se em Gessy Lever. Essa aquisição reuniu o conhecimento administrativo e tecnológico da multinacional Lever com a experiência, carisma e poder de identificação da Gessy com o mercado brasileiro.

No final da década de 60, com o rápido crescimento econômico brasileiro e consequentemente, o aumento do consumo interno, a companhia expandiu seu portfólio de marcas com o lançamento de produtos como: amaciante de roupas Comfort (1975), Close Up (1971), xampus Vinólia (1963) e Seda (1968).

Na década de 70, a Gessy Lever decidiu entrar no mercado brasileiro de alimentos, com o lançamento da margarina Doriana, a qual obteve o mesmo sucesso que a empresa possuía com os produtos de limpeza.

Em 1997, a empresa adquiriu a Kibon, atuando, assim, no segmento de sorvetes e em 2000, comprou uma das maiores empresas de alimentos do mundo: a Bestfoods.

Com isso, a Gessy Lever tornou-se líder de mercado com as marcas de produtos de limpeza, alimentos e sorvetes e, com o propósito de fortalecer ainda mais sua

presença no Brasil, decidiu, em 2001, adotar a identidade corporativa internacional, mudando sua razão social para Unilever.

### **1.1.2 Marcas e Produtos Unilever**

Operando nos segmentos de cuidados pessoais, limpeza e alimentos, a Unilever é, atualmente no Brasil, uma das principais fornecedoras do varejo, de farmácias e também alimentar. Esta lidera 10 das 17 categorias em que atua e, por conta disso, é possível afirmar que, ao longo de um ano, os seus produtos estão presentes em 100% dos lares brasileiros.

A seguir serão apresentadas as principais marcas da empresa classificadas de acordo com o seu segmento.

- **Cuidados Pessoais**

Os produtos de cuidados pessoais têm o objetivo de ajudar as pessoas a ficarem mais bonitas, para que se sintam bem e possam aproveitar mais a vida. Dentre as categorias de produtos presentes estão: desodorantes (Axe, Rexona e Dove), sabonetes (Dove, Lux, Fofo e Vinólia), xampus (Clear, Seda e Dove), hidratantes (Vasenol e Dove) e creme dental (Close Up). A Figura 1 apresenta alguns desses produtos.



Figura 1 - Marcas Unilever no segmento de cuidados pessoais

Fonte: Unilever (2010)

- **Limpeza**

Os produtos de limpeza buscam a facilidade nas tarefas domésticas, de forma que o consumidor possa aproveitar mais o seu tempo livre. As categorias de produtos existentes são: detergentes em pó (Omo, Ala, Surf e Brilhante), amaciantes (Comfort e Fofo) e limpadores (Cif e Brilhante). A Figura 2 ilustra alguns dos produtos presentes nesse segmento:



Figura 2 - Marcas Unilever no segmento de limpeza

Fonte: Unilever (2010)

- **Alimentos**

Tendo em vista a importância das refeições para os consumidores e, com diretrizes e políticas para orientar a atuação da empresa de modo responsável nas áreas de nutrição e saúde, esta possui diversas marcas no segmento de alimentos. As principais são: Ades, Kibon, Hellmann's, Karo, Becel, Lipton Ice Tea, Arisco, Maizena e Knorr. A Figura 3 ilustra alguns dos produtos dessas marcas.



Figura 3 - Marcas Unilever no segmento de alimentos

Fonte: Unilever (2010)

- ***Foodservice***

A Unilever também atua na área de serviços de alimentação (*foodservice*) através da empresa Unilever *Foodsolutions* que opera em 65 países. Esta trabalha junto aos clientes, envolvendo os fornecedores de refeições, restaurantes, cozinhas industriais, grandes redes de *fast-food* e hotéis. Assim, a *Foodsolutions* comercializa produtos que oferecem novas formas de apresentar os alimentos em grande escala com qualidade e economia de tempo no seu preparo.

### 1.1.3 Sobre a Unilever

A Unilever Brasil Ltda, devido a forma como conduz o seu negócio, é hoje uma das principais empresas do setor em que atua.

No mercado há 81 anos, esta empresa ocupa a segunda posição em tamanho de operação do grupo no mundo. Com 12 fábricas – distribuídas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Goiás –, dois escritórios centrais situados na cidade de São Paulo e alguns escritórios regionais de vendas dispostos nas principais cidades brasileiras, a Unilever Brasil possui hoje aproximadamente 14 mil funcionários diretos que trabalham em um desses locais.

No setor de Distribuição dos produtos acabados, setor em que foi desenvolvido esse trabalho, existem atualmente 11 CDs (centro de distribuição), os quais são gerenciados por terceiros e estão dispostos ao longo de todo o território nacional para que os produtos estejam mais próximos dos seus clientes.

#### 1.1.4 Organograma

Os funcionários que trabalham nas áreas gerenciais da empresa, em sua grande maioria alocados nos escritórios centrais, estão dispostos hierarquicamente segundo a estrutura organizacional apresentada na Figura 4.

Essa representação, apesar de mostrar todos os níveis funcionais, destaca os mais operacionais da empresa, ou seja, os cargos responsáveis por controlar e atuar sobre o desempenho das metas que foram definidas pelos níveis estratégicos. Através dessa figura, é possível verificar, segundo a função analisada, os cargos superiores a esta e, consequentemente, saber se a mesma apresenta responsabilidades com enfoque na operação ou na estratégica da empresa.

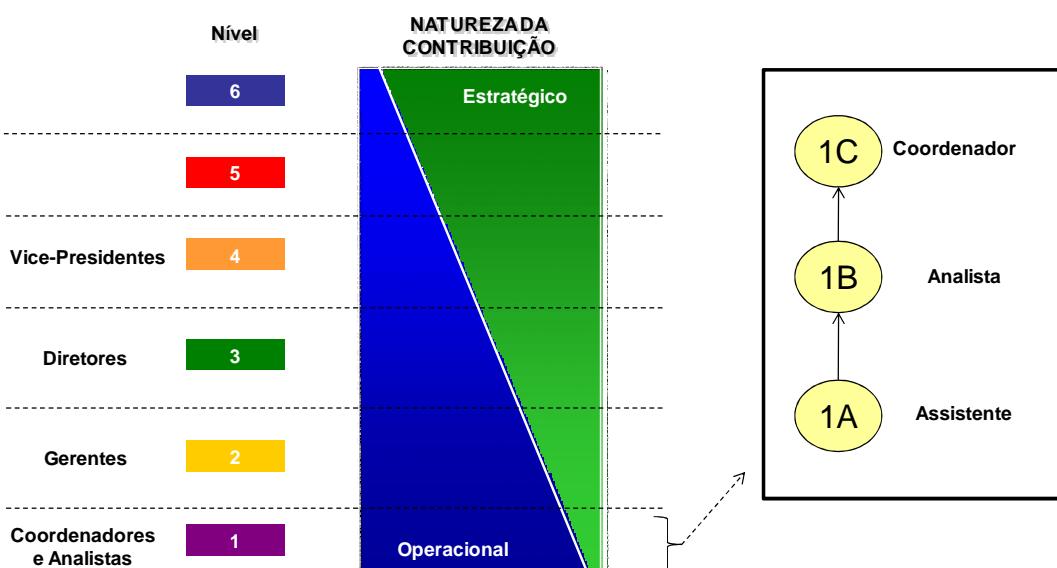


Figura 4 – Estrutura organizacional da empresa  
Fonte: Unilever (2010)

### 1.1.5 O ciclo do pedido

Normalmente, o fluxo do pedido de um cliente inicia-se com a requisição de compra de produtos, ou seja, com a confirmação da demanda apresentada pelo mesmo. Ao ser recebida, esta é processada e, caso não haja nenhuma pendência ou irregularidade do cliente com a empresa, é liberada.

Com a liberação dos pedidos, estes são alocados para os CDs – conforme os produtos demandados e a localidade do cliente – e uma remessa de pedidos é gerada, a qual deverá ser planejada para então ser entregue. Esse planejamento consiste na otimização e programação das cargas de entrega, nas quais serão definidos os perfis de veículos utilizados (Carreta, Truck, Toco, Van etc.) e os clientes que serão atendidos por cada transporte.

Concluída essa fase, uma etapa de programação da expedição dos veículos é iniciada, cujo propósito é determinar a sequência de carregamentos que devem ser realizados pelos CDs. Em posse desse sequenciamento, começa a oferta das cargas às transportadoras que possuem contrato com a empresa e, quando esta é aceita, o pedido é entregue no dia e horário contratados.

É importante ressaltar que esse fluxo apresentado representa apenas um resumo das principais tarefas que o constituem. Além do mais, atualmente, este é apoiado por alguns sistemas de informação que possibilitam sua execução em um pequeno intervalo de tempo (1 ou 2 dias) e contribuem para sua eficiência.

Na Figura 5 é mostrado um fluxograma das atividades do ciclo do pedido que foram descritas acima.

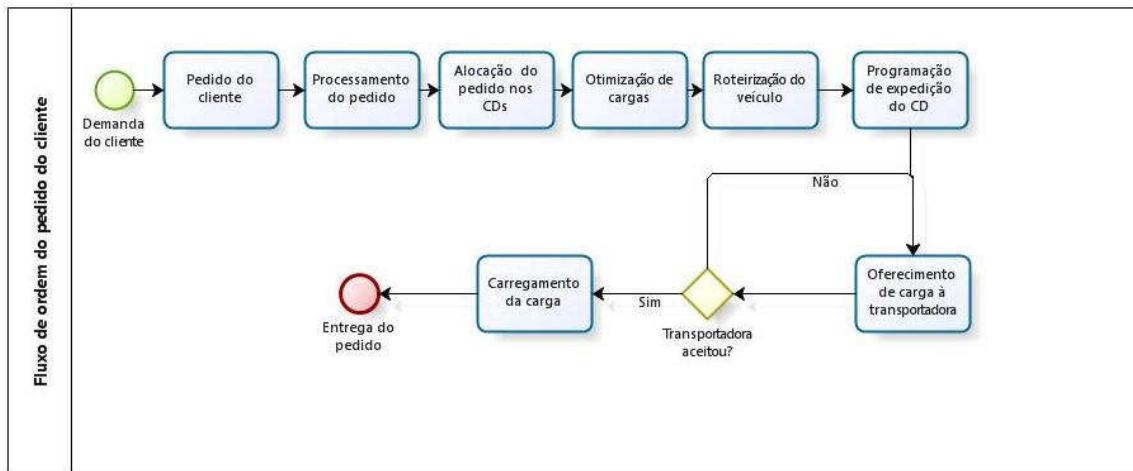


Figura 5 - Fluxo interno do pedido de um cliente

### 1.1.6 O estágio

O autor desse trabalho cumpriu, ao longo do ano de 2010, estágio na área de Planejamento Logístico (PL) na Unilever. Esta atua no setor responsável pela distribuição dos produtos acabados e tem a função de zelar pelos CDs para que os mesmos tenham a capacidade de receber, armazenar e expedir os produtos quando solicitados.

Durante o primeiro semestre, o autor foi responsável por realizar um projeto que teve o objetivo de desenvolver uma metodologia de planejamento de transporte, a qual deu origem a esse trabalho.

Apesar da área de PL, devido à sua função, não poder ser enquadrada em nenhuma das atividades descritas na Figura 5, o projeto esteve inserido entre as atividades de programação da expedição do CD e a oferta de cargas para transportadora. O resultado esperado do mesmo era encontrar uma forma que facilitasse a contratação das transportadoras de tal forma que houvesse uma melhoria na eficiência das atividades envolvidas e o pedido fosse entregue o mais rápido possível para o cliente.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento desse trabalho, foi realizada uma pesquisa com o intuito de estudar os principais conceitos difundidos na literatura acadêmica que pudessem ser aproveitados na resolução do problema proposto.

### 2.1 Serviço ao cliente

A principal função da logística, de acordo com Bowersox (2006), é integrar os diversos segmentos presentes na cadeia de suprimentos, a qual pode ser alcançada através do suporte às compras, à produção e às operações de distribuição dos produtos para o mercado. Deste modo, pode-se afirmar que o serviço logístico apresenta uma grande importância no ciclo de atendimento ao cliente, uma vez que é um dos principais responsáveis pela entrega do produto e a consequente satisfação do mesmo, a qual pode ser utilizada para medir o nível de serviço prestado pela empresa.

Segundo este mesmo autor, o nível de serviço oferecido por uma empresa pode ser medido através de três variáveis de desempenho logístico: Disponibilidade, Desempenho Operacional e Confiabilidade do Serviço.

A disponibilidade significa ter em estoque os produtos e materiais requisitados pelos clientes em quantidade suficiente para atender consistentemente às suas necessidades. Esta variável pode ser mensurada através de três fatores: freqüência de falta de estoque, taxa de atendimento e pedidos atendidos de forma completa. A primeira ocorre quando a empresa não tem o produto em estoque para atender ao pedido do cliente, enquanto que a taxa de atendimento mede o impacto causado por esta situação ao longo do tempo, ou seja, se um cliente pede 8 mil itens de um produto e a empresa só possui 6 mil itens em estoque, então a taxa de atendimento

será de 75%. Já o último, pode ser considerado como a medida mais eficaz para verificar o desempenho de disponibilidade, pois mede quantos pedidos foram atendidos de forma a satisfazer inteiramente os clientes, isto é, entregando-se 100% do que foi solicitado.

Com relação ao desempenho operacional, este é uma variável que trata do tempo que a empresa necessita para entregar um pedido, podendo ser mensurado através da velocidade de desempenho, consistência, flexibilidade e recuperação do mau funcionamento. A velocidade de desempenho é o tempo despendido, desde o momento em que o cliente apresenta a sua necessidade (formação de pedido) até quando o produto é entregue. A consistência é medida através do número de vezes que a entrega atende o tempo previsto para sua conclusão e também pode ser utilizada para verificar em quantas ocasiões o pedido foi entregue dentro das suas especificações. A flexibilidade avalia a capacidade que a empresa apresenta para atender às solicitações inesperadas ou que contemplem situações incomuns. Já a última é uma medida utilizada para avaliar a disposição da empresa de se recuperar das falhas que possam vir a acontecer durante as operações logísticas.

Por fim, a confiabilidade do serviço é composta por atributos de qualidade logística que abrangem desde fatores da entrega (inclusive as duas apresentadas anteriormente) até a capacidade de oferecer aos clientes a situação que lhe foi solicitada.

### **2.1.1 As 5 áreas da logística**

Bowersox (2006) argumenta que a logística deve ser gerenciada de forma a obter a satisfação dos clientes e o menor custo. Para isso, o autor apresenta 5 áreas que são inter-relacionadas e que devem ser planejadas de forma a causar o menor impacto nos benefícios de tempo, local e custo desejado. Tais áreas são: rede de

instalações; armazenamento, manuseio de materiais e embalagem; inventário; processamento de pedidos; e transporte.

- **Rede de Instalações**

Responsável por definir a localização e o número de todos os tipos de instalações que a empresa necessita para a realização do seu trabalho logístico. É importante ressaltar que esse projeto deve considerar as variações de demanda que existem nos diferentes mercados.

- **Armazenamento, Manuseio de Materiais e Embalagem**

Esta área é a responsável pela forma como os produtos são armazenados no estoque, manuseados durante a separação do pedido do cliente e embalados. Por exemplo, uma empresa pode optar por utilizar embalagens maiores, como caixas de papelão, para armazenar uma ampla quantidade de produtos que se encontram acondicionados sob a forma de latas e garrafas. Isso proporcionará maior agilidade no manuseio do produto e uma melhor forma de estocagem do mesmo.

- **Inventário**

O objetivo da logística nesse segmento é projetar o menor investimento possível em estoque aliado a um elevado giro de produtos que satisfaça os compromissos de serviço.

- **Processamento de Pedidos**

Este envolve todos os aspectos da gestão das necessidades dos clientes: a entrada do pedido na empresa, a entrega, o faturamento e a cobrança.

- **Transporte**

Responde por movimentar e alocar, geograficamente, os produtos e materiais que constituem o inventário. Este pode ser realizado através de 3 modelos básicos: com frota própria; com empresas especializadas em transportes ou através da contratação de serviços de transportadoras terceirizadas.

Além disso, existem 3 fatores que são fundamentais para o desempenho do transporte: custo, velocidade e consistência. O custo corresponde ao pagamento

realizado para a movimentação entre duas localidades geográficas e os gastos decorrentes da manutenção do estoque em trânsito. A velocidade refere-se ao tempo necessário para a concretização de um movimento. Já a consistência é mensurada através das variações de tempo que ocorrem no desempenho das movimentações.

## 2.2 Cadeia de Suprimentos

Segundo Shapiro (2001, p. 5, tradução nossa) a cadeia de suprimentos envolve:

“[...] as instalações dispersas geograficamente onde as matérias-primas, produtos intermediários ou produtos acabados são adquiridos, transformados, estocados ou vendidos, e linhas de transporte que as conectam ao longo do fluxo de produtos”

Para este autor, os objetivos da cadeia de suprimentos devem ser: adicionar valor ao produto e realizar o transporte entre os mercados, de modo que os itens cheguem na quantidade, tempo e especificações corretas, e apresentem um custo competitivo.

Assim, para que esses objetivos sejam cumpridos, é importante a realização de um planejamento integrado em 3 níveis: funcional, espacial e intertemporal. O primeiro preocupa-se com a integração entre as atividades de compra, fabricação, transporte e armazenagem. O segundo refere-se à integração que deve ocorrer entre os fornecedores, instalações e mercados dispersos geograficamente. Por fim, o terceiro consiste na integração entre os três horizontes de planejamento: estratégico, tático e operacional. Para a realização deste último, que também pode ser denominado planejamento hierárquico, deve haver consistência e coerência entre os diversos níveis considerados, pois, dessa forma, a empresa consegue sustentar uma vantagem competitiva.

Além do mais, o autor ressalta a importância da previsão de demanda na execução dos três níveis de planejamento hierárquico, já que esta pode ser útil para fornecer as informações necessárias para criar um modelo que minimize os custos totais ou maximize a receita líquida, os quais podem ser obtidos através de escolhas como a localização do ponto de origem do produto ou o preço do mesmo.

### **2.3 Previsão de demanda**

Segundo Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998), a previsão de demanda pode consistir em dois métodos básicos: qualitativo ou quantitativo. O primeiro é empregado quando não há a disponibilidade de dados históricos e faz uso das conclusões de alguém para efetuar as estimativas. Já o segundo corresponde à aplicação de modelos matemáticos sobre os dados históricos para calcular as previsões.

Como a empresa apresenta uma grande quantidade de casos a serem avaliados e possui disponível um banco de dados com os históricos das informações necessárias, foi decidido que serão utilizados para as previsões apenas os métodos quantitativos. Nesse caso, Chopra e Meindl (2003) recomendam a atribuição das abordagens de série temporal ou demanda causal, as quais serão definidas a seguir.

### 2.3.1 Métodos quantitativos

#### 2.3.1.1 Série temporal

Hanke e Reitsch (1998, p. 89, tradução nossa) definem série temporal como “a análise de qualquer variável de dados durante incrementos sucessivos de tempo”. Nesse sentido, esta é empregada com o objetivo de interpretar a série de dados, ou seja, verificar a presença de comportamentos que a caracterizem. Segundo Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998), estes podem ser classificados em 4 grupos:

- 1) Horizontalidade – esse padrão ocorre quando os valores dos dados não aumentam nem reduzem significadamente ao longo do tempo, isto é, oscilam apenas em torno de um valor médio.
- 2) Sazonalidade – esse comportamento existe quando os dados são influenciados por fatores sazonais, por exemplo, o verão proporciona uma venda maior de sorvetes. Dessa forma, pode-se definir esse padrão como responsável por gerar picos e vales periódicos na série temporal.
- 3) Ciclicidade – a incidência desse padrão é muito similar à sazonalidade, porém os picos e vales não ocorrem entre períodos fixos e geralmente, são decorrentes de flutuações econômicas. Além disso, o tamanho do ciclo varia mais do que os períodos da sazonalidade
- 4) Tendência – quando se observa, no longo prazo de uma série temporal, aumentos ou reduções nos valores das variáveis, pode-se dizer que há a incidência desse padrão.

Hanke e Reitsch (1998) ainda sugerem a existência de um quinto comportamento – denominado aleatoriedade – que representa as variações que podem ocorrer na série temporal após a eliminação de todos os comportamentos explicitados acima.

### 2.3.1.2 Demanda Causal

Este modelo considera a previsão de demanda como derivada de fatores conjunturais (tais como o tempo e/ou venda de produto complementar) e, por isso, há um alto grau de correlação entre os mesmos. Dessa maneira, essa metodologia calcula as previsões de demanda dos fatores correlacionados para, a partir da relação existente, efetuar as estimativas requisitadas.

### 2.3.2 Horizontes de previsão

Para executar os procedimentos de previsão de demanda, deve-se primeiramente escolher qual será o horizonte analisado. Desse modo, Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) indicam a existência de três horizontes:

- Curto prazo (Operacional)

Nesse horizonte, a previsão de demanda pode ser realizada através da extrapolação das características econômicas mais recentes, uma vez que, no intervalo de tempo considerado, é difícil a ocorrência de mudanças bruscas nessas características. Além disso, quando o comportamento da sazonalidade não muda frequentemente, é possível prever (de forma razoavelmente satisfatória) a demanda.

- Médio Prazo (Tático)

Se os padrões econômicos não mudarem ao longo desse período, a previsão de demanda será relativamente fácil de ser realizada, já que é possível atribuir a mesma metodologia descrita no item anterior. Porém, conforme se aumenta o horizonte de previsão, a chance de ocorrer mudanças nos padrões fica maior,

tornando mais difícil o cálculo da mesma. Assim, geralmente aplica-se o plano tático para a definição dos orçamentos da empresa.

- Longo Prazo (Estratégico)

Como esse horizonte de previsão é ainda maior que na situação anterior, a probabilidade da incidência de mudanças nos padrões econômicos é alta, o que faz com que o mesmo seja utilizado somente para auxiliar a empresa na definição de sua estratégia.

Os autores ainda afirmam que dependendo do horizonte de previsão considerado, a ocorrência dos comportamentos já descritos pode influenciar nos seus resultados, sendo necessária, nesse caso, a execução de alguns ajustes ou aplicação de técnicas de previsão apropriadas para que as estimativas se aproximem da realidade. Um resumo do comportamento e o horizonte de planejamento que possui maior influência do mesmo podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Influência dos comportamentos nos horizontes de planejamento

Comportamento	Horizonte de Planejamento	Período influenciado
Aleatoriedade	Plano Imediato	De 1 semana a 1 mês
Sazonalidade	Curto Prazo	De 1 mês a 3 meses
Ciclidade	Médio Prazo	De 3 meses a 24 meses
Tendência	Longo Prazo	Acima de 24 meses

Fonte: Adaptado de Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1983)

### 2.3.3 Etapas da tarefa de previsão de demanda.

Para o emprego de métodos quantitativos na previsão de demanda, Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) alegam que devem ser cumpridas 5 etapas básicas:

- Etapa 1 – Definição do problema

Para efetuar a previsão de demanda, é necessário um entendimento inicial do problema que será abordado. Este pode ser obtido através das seguintes questões: o que tem que ser previsto; como as previsões serão aplicadas; quem precisa dessa informação; como a função da previsão se enquadra dentro da organização; entre outras.

A realização dessa etapa é fundamental para o sucesso das demais, dado que poderá evitar a formação de retrabalhos e auxiliará na execução das mesmas.

- Etapa 2 – Coleta de dados

Há dois tipos de dados que podem ser coletados: os dados quantitativos, referentes aos dados históricos numéricos que serão aplicados nos modelos e os dados qualitativos, relacionados às opiniões e conhecimentos dos principais funcionários da empresa que trabalham com as variáveis analisadas.

- Etapa 3 – Análise preliminar dos dados

Essa etapa consiste em examinar e entender melhor os dados coletados na etapa 2. Para isso, sugere-se a inspeção visual destes, obtida através de um gráfico temporal, e o cálculo de parâmetros estatísticos, tais como: média, máximo, mínimo e desvio padrão. Além disso, devem ser testadas as incidências dos comportamentos descritos anteriormente e a existência de pontos extremos à série de dados.

As análises realizadas nessa etapa são de suma importância para a escolha dos modelos, visto que a mesma definirá as características que devem ser atendidas. Nessa perspectiva, Hanke e Reitsch (1998) afirmam que, além das características referentes aos comportamentos, devem ser avaliadas as seguintes questões que poderão interferir na escolha do modelo:

- 1) Horizonte de Planejamento

O horizonte de planejamento tem uma influência direta na seleção das técnicas de previsão. Para estimativas no curto e médio prazo, existe uma variedade de técnicas que podem ser aplicadas. Porém, conforme se aumenta o horizonte de

planejamento, o número de possibilidades começa a reduzir. Por exemplo, para o curto prazo – horizonte de planejamento desse trabalho – as médias, médias móveis, decomposição e as projeções de tendência são os modelos mais apropriados para serem empregados. Já no longo prazo, a utilização de métodos qualitativos é mais indicada.

## 2) Aplicabilidade das técnicas de previsão

Geralmente, as previsões de demanda precisam ser de baixa complexidade para serem aproveitadas pelas empresas, ou seja, a metodologia de cálculo deve fornecer a estimativa em um pequeno intervalo de tempo. Por causa disso, modelos como média, suavização exponencial, regressão e decomposição possuem destaque nessa situação.

## 3) Entendimento dos resultados

Os resultados apresentados pelos modelos devem ser de fácil interpretação e entendimento, já que esses normalmente são utilizados pelos gestores da empresa nos processos de tomada de decisão. Novamente, técnicas como as de suavização exponencial, média, decomposição e modelos de regressão são os mais indicados.

## 4) Custos associados ao processo de previsão

Apesar de os principais custos envolvidos nos processos de previsão estarem relacionados com os computadores e softwares, é importante se preocupar com o custo total do processo. Algumas técnicas de previsão podem apresentar-se menos vantajosas se esse for muito elevado.

## 5) Precisão do modelo

Embora a precisão do modelo seja a principal variável considerada por muitos na escolha da técnica, esta não deve ser analisada isoladamente. Na seleção do melhor modelo deve-se avaliar o seu resultado junto com as outras variáveis apresentadas anteriormente. Às vezes, um modelo com alto grau de precisão, mas com uma alta complexidade e um custo elevado pode não ser a melhor opção.

- Etapa 4 – Escolha e ajuste do modelo

Escolhidos os modelos que podem ser empregados nos cálculos de previsão, é necessário que sejam realizados testes para selecionar aquele que apresenta os melhores resultados.

Frequentemente, para a seleção do modelo apropriado empregam-se medidas de erros de previsão, os quais são mensurados através da comparação entre as estimativas e os valores observados. Contudo, para que se tenha uma avaliação eficiente do modelo, deve-se realizar o cálculo dessas medidas ao longo de alguns períodos. Quando há a indisponibilidade desses períodos, Santoro (2009) sugere que sejam utilizados os dados coletados, a partir da divisão dos mesmos em duas partes: inicialização e validação. O primeiro corresponde aos dados históricos aplicados para a realização das previsões; já o segundo representa as observações efetuadas e que devem ser comparadas com as estimativas.

Desse modo, ao adotar-se um “hoje” fictício na série de dados coletados, é possível elaborar as previsões e compará-las com os valores observados de forma a mensurar os erros obtidos.

- Etapa 5 – Aplicação e avaliação do modelo de previsão de demanda.

Após a seleção criteriosa do modelo e dos parâmetros que o norteiam, o mesmo deve ser atribuído para efetuar as estimativas, e assim, seus usuários podem avaliá-lo. É importante destacar que nenhum modelo deve ser validado sem a aprovação do seu desempenho nas projeções futuras.

#### **2.3.4 Precisão do modelo de previsão**

Para avaliar o erro das previsões, Hanke e Reitsch (1998) afirmam que se pode fazer uso de 4 tipos diferentes de medidas, as quais serão apresentadas a seguir.

Porém, antes de descrevê-las, é importante definir quais serão as variáveis utilizadas:

$Y_t$  – valor real da série temporal no período t;

$\hat{Y}_t$  – valor de previsão de  $Y_t$ ;

$e_t = Y_t - \hat{Y}_t$  – residual ou erro de previsão;

n – número de observação

- Desvio da média absoluta (MAD)

O MAD (*Mean Absolute Deviation*) mede, na mesma unidade que os dados originais, a erro da demanda através da média dos resíduos das previsões.

$$MAD = \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{n} \quad (2.1)$$

- Erro quadrático médio (MSE)

O MSE (*Mean Squared Error*) é calculado através da divisão entre a soma do quadrado dos resíduos e o número total de observações. A relevância dessa medida está em, através do quadrado do resíduo, atribuir maior peso aos modelos que eventualmente fornecem um erro grande.

$$MSE = \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n} \quad (2.2)$$

- Erro percentual absoluto médio (MAPE)

O MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) calcula a média dos erros percentuais obtidos através da divisão entre o resíduo e o valor observado. Este geralmente é aplicado para verificar a distância entre a estimativa e o valor real da série.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}}{n} \quad (2.3)$$

- Erro percentual médio (MPE)

Apesar da medida anterior ser muito eficaz no dimensionamento da precisão do modelo, é necessário, em alguns casos, determinar a parcialidade deste erro, ou seja, se a previsão está acima ou abaixo do valor observado. Nessa perspectiva, o MPE (*Mean Percentage Error*) efetua o mesmo cálculo do MAPE, mas sem utilizar o valor absoluto. É importante notar que se houver uma imparcialidade nas estimativas, este erro ficará próximo de zero.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)}{Y_t}}{n} \quad (2.4)$$

Segundo Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998), a aplicação desses tipos de erro para a avaliação das técnicas de previsão não pode ser realizada de forma isolada, ou seja, somente para um único modelo. Se fossem encontrados valores de 5% e 15 para os erros MAPE e MAD, respectivamente, não seria possível validar a qualidade da técnica. Nessa perspectiva, estes autores recomendam que os mesmos sejam aplicados para comparar dois ou mais modelos de previsão.

### 2.3.5 Técnicas de Previsão

Como serão utilizados somente os métodos quantitativos para realizar as previsões, serão apresentadas a seguir as principais técnicas difundidas nessa área de

pesquisa. Estas estão divididas em 4 grupos: Média, Suavização exponencial, Regressão linear e Decomposição.

### 2.3.5.1 Média

Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) afirmam que dados históricos podem ser empregados para a previsão através de diferentes modos. Nesse grupo, considera-se o conceito de média da estatística descritiva para realizar essas estimativas.

- Média simples

Esta técnica representa a forma mais simples para realizar previsões, pois consiste no cálculo da média de todos os dados coletados. Geralmente, é recomendada para os casos em que há a incidência do comportamento da horizontalidade. A sua fórmula de cálculo é apresentada a seguir:

$$F_{t+1} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Y_i \quad (2.5)$$

Onde:  $t$  = número de observações coletadas

$F_{t+1}$  = Previsão do período seguinte ao  $t$

Quando o dado referente ao período  $Y_{t+1}$  está disponível, passa-se a considerá-lo para a previsão dos períodos seguintes. Assim, quanto maior for o número de observações disponíveis, mais próximo de uma constante a estimativa será.

- Média móvel

Apesar de ser muito similar à anterior, esta técnica desconsidera a influência dos dados antigos ao aplicar somente os dados referentes aos últimos  $k$  períodos. Dessa forma, quando se obtém uma nova observação, despreza-se o dado mais antigo no cálculo da média. A sua fórmula de cálculo para  $k$  período de observação é:

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y_i \quad (2.6)$$

Onde:  $k$  = número de períodos considerados para o cálculo da média

### 2.3.5.2 Suavização exponencial

Uma comparação das duas técnicas apresentadas anteriormente mostrou que a diferença existente entre estas, está na quantidade de períodos que são considerados para o cálculo da média: a média móvel atribui um peso maior para as observações mais recentes, enquanto que a média simples confere um peso igual para todas as observações coletadas.

Nesse sentido, é proposta a utilização da suavização exponencial, cujo conceito é similar ao da média móvel, onde são atribuídos pesos para o cálculo das previsões mais recentes. Porém, os pesos reduzem exponencialmente conforme as novas observações são avaliadas. (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; HYNDMAN, 1998).

Esta técnica abrange 4 modelos diferentes, os quais consideram como base a incidência do comportamento da horizontalidade e variam conforme se avalia a existência da sazonalidade e/ou tendência. As fórmulas de cada um desses modelos podem ser consultadas abaixo:

- Suavização exponencial simples

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(Y_t - F_t) \quad \text{ou} \quad F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) F_t \quad (2.7)$$

Onde:  $F_t$  – previsão de demanda para o período  $t$

$Y_t$  – valor observado no período  $t$

$\alpha$  – constante com valor entre 0 e 1

- Suavização exponencial com tendência (Holt's)

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.8)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2.9)$$

$$F_{t+m} = L_t + b_t m \quad (2.10)$$

Onde:  $L_t$ : base da série no período  $t$

$b_t$ : grau de inclinação da linha de tendência para o período  $t$

$\alpha$ : constante de ponderação para a base, o seu valor deve estar entre 0 e 1

$\beta$ : constante de ponderação para a tendência, o seu valor deve estar entre 0 e 1.

$m$ : número de períodos a frente que deseja-se prever

- Suavização exponencial com sazonalidade

$$L_t = \frac{\alpha Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)L_{t-1} \quad (2.11)$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (2.12)$$

$$F_{t+m} = (L_t)S_{t-s+m} \quad (2.13)$$

Onde:  $S_t$ : componente da sazonalidade no período  $t$

$s$ : comprimento da sazonalidade

$\gamma$ : constante de ponderação para a sazonalidade, o seu valor deve estar entre 0 e 1

- Suavização Exponencial com tendência e sazonalidade (Holt's Winter)

$$L_t = \frac{\alpha Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.14)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2.15)$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (2.16)$$

$$F_{t+m} = (L_t)S_{t-s+m} \quad (2.17)$$

### 2.3.5.3 Regressão Linear Simples

A Regressão linear consiste em verificar a existência de uma relação lineal entre as variáveis que serão empregadas neste modelo. No caso da regressão simples, considera-se apenas duas variáveis: a previsão ( $Y$ ) e a variável explicativa ( $X$ ). Essas são analisadas de forma que se obtenha uma equação igual à descrita a seguir:

$$Y = aX + b + e \quad (2.18)$$

Onde:  
 a: ponto de intercepção da reta com o eixo y  
 b: grau de inclinação da linha de tendência  
 e: desvio entre o valor observado a partir da relação linear

Para estimar os parâmetros  $a$  e  $b$  da equação acima utiliza-se, normalmente, o método dos mínimos quadrados, o qual consiste na aplicação das seguintes fórmulas:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.19)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (2.20)$$

Onde:  $X_i$ : valor da observação i da variável X  
 $Y_i$ : valor da observação i da variável Y  
 $\bar{X}$ : valor médio das observações da variável X  
 $\bar{Y}$ : valor médio das observações da variável Y  
 $n$ : número de observações

Vale a pena destacar que a regressão linear, além de ser usada como metodologia de previsão de demanda, também pode ser atribuída para os modelos causais ou derivados (conforme apresentados no item 2.3.1.2).

### 2.3.5.3 Decomposição

O modelo de decomposição tem como princípio a avaliação da previsão de demanda conforme a seguinte representação matemática:

$$Y_t = f(S_t, T_t, E_t) \quad (2.21)$$

Onde:  $Y_t$ : valor observado na série temporal no período t  
 $S_t$ : indica de sazonalidade no período t  
 $T_t$ : componente de tendência/ciclicidade para o período t  
 $E_t$ : componente irregular para o período t

O objetivo desse método é isolar cada comportamento presente na série temporal com a maior precisão possível. O conceito básico é empírico e consiste em remover, primeiramente o componente da tendência e em seguida, a sazonalidade. Com os comportamentos isolados, deve-se efetuar as estimativas dos mesmos e então agrupá-los de forma a obter a previsão total para o período desejado. Para a combinação dos componentes pode-se fazer uso de dois métodos: a decomposição aditiva (2.22) e a decomposição multiplicativa (2.23).

$$Y_t = S_t + T_t + E_t \quad (2.22)$$

$$Y_t = S_t \times T_t \times E_t \quad (2.23)$$

Embora essa técnica seja recomendada por muitos autores para ser empregada na realização da previsão, Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) indicam que a mesma seja aproveitada apenas na análise dos comportamentos presentes em uma série temporal. Segundo estes autores, a previsão e a posterior combinação de todos os comportamentos revelam-se (em muitos casos) difíceis de serem efetuados e, consequentemente, resultam em uma previsão debilitada.

## 2.4 Análise dos dados

Para a atribuição de algumas técnicas e conceitos teóricos estatísticos, é necessário que algumas premissas sejam comprovadas. Dessa forma, será descrito a seguir, os principais testes aplicados no decorrer do trabalho.

### 2.4.1 Teste de Hipótese

Triola (2005, p. 284) define o teste de hipótese como “um procedimento padrão para testar uma afirmativa sobre uma propriedade da população”.

Segundo este autor, os componentes que fazem parte deste teste são: hipótese nula ( $H_0$ ) e hipótese alternativa ( $H_1$ ). A primeira representa a afirmação que se deseja testar, por exemplo, se uma média é igual a um determinado valor ou se, em uma análise de variância, as médias são iguais. Já a segunda, é a afirmativa que, de alguma forma, difere da hipótese nula, por exemplo, a média é maior do que o valor testado ou – no caso da análise de variância – as médias são diferentes.

Para verificar qual das afirmativas  $H_0$  ou  $H_1$  é verdadeira, deve-se definir inicialmente um nível de significância ( $\alpha$ ), que representa a probabilidade de se fazer uma avaliação errada quanto à veracidade da hipótese nula (isto é, rejeitar  $H_0$  se esta é verdadeira) e, um valor de probabilidade (valor de  $p$ ), que definirá – quando comparado com  $\alpha$  – se a hipótese nula deve ser aceita ou rejeitada.

O valor de  $p$  é calculado através do valor do parâmetro do teste (por exemplo, média, desvio padrão, proporção) e deve ser no mínimo tão extremo quanto o valor necessário para considerar a hipótese nula verdadeira. Assim, se o valor de  $p$  for menor do que o nível de significância, deve-se rejeitar  $H_0$  e considerar a hipótese alternativa ( $H_1$ ) como verdadeira.

#### **2.4.2 Análise de Variância com um fator**

De acordo com Triola (2005), a análise de variância pode ser empregada para verificar, através de um Teste de Hipótese, se as médias populacionais são iguais. Assim, este teste pode ser representado da seguinte forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{as médias são iguais} \\ H_1: \text{as médias são diferentes} \end{array} \right.$$

No caso da análise de variância com um fator, avalia-se a igualdade das médias dos grupos da população divididos por uma única característica. Para que esta técnica possa ser aplicada, é necessário que os grupos da população sejam homocedásticos, ou seja, apresentem a mesma variância (RAMOS, 2008).

Alguns autores afirmam que é necessária a suposição de que os grupos da população sigam a distribuição Normal. Entretanto Ramos (2008) e Triola (2005)

defendem que esta não é essencial, pois foi verificado que a análise de variância fornece bons resultados quando não há a sua confirmação.

Assim, uma vez comprovada a homocedasticidade, a análise de variância pode ser aplicada segundo a Tabela 2.

Tabela 2 - Equações para a aplicação da Análise de Variância

Fonte	SQ	GL	QM	$F_{\text{calc}}$
Entre grupos	$SQE = n \sum (\bar{X}_i - \bar{\bar{X}})^2$	$(k - 1)$	$Se^2 = \frac{SQE}{k - 1}$	$\frac{Se^2}{Sr^2}$
Residual	$SQR = \sum \sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$	$k(n - 1)$	$Sr^2 = \frac{SQR}{k(n - 1)}$	
Total	$SQT = \sum \sum (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2$	$kn - 1$		

Fonte: Ramos (2008, p. 147)

Quando se faz o uso do software MSEExcel para executar essa análise, este, além de calcular os valores apresentados acima, avalia o valor de  $p$  que deve ser comparado com o nível de significância ( $\alpha$ ) para concluir se a hipótese nula deve ser aceita ou recusada.

### 2.4.3 Teste de Normalidade

Segundo Ramos (2008), o teste de Normalidade consiste em verificar se os dados de uma determinada variável seguem a distribuição Normal. Para isso, inserem-se em um gráfico de probabilidade normal (como o apresentado na Gráfico 31 - Apêndice) os dados amostrais da população e traça-se uma reta que se aproxime o máximo possível da distribuição dos dados. A partir disso, é possível obter o valor da

média (50%) e dos desvios padrão ( $\mu+24\%$ ) e, aplicá-los em um teste de hipótese conforme o apresentado a seguir:

$$\begin{cases} H_0: \text{os dados seguem a distribuição Normal} \\ H_1: \text{os dados não seguem a distribuição Normal} \end{cases}$$

Desse modo, se o valor de  $p$  obtido através do teste for maior do que o nível de significância ( $\alpha$ ) considerado, deve-se aceitar  $H_0$  e assumir que a distribuição Normal serve como aproximação para os dados coletados.

#### 2.4.4 Teste de Levene

Muitas técnicas estatísticas requerem a hipótese da igualdade das variâncias dos dados avaliados. Para isso, geralmente, recomenda-se a aplicação do teste de Barlett que é uma ferramenta muito eficiente quando as variáveis seguem uma distribuição Normal. Todavia, quando essa suposição não é comprovada, os resultados do mesmo tornam-se inutilizados, sendo recomendado o teste de Levene (ALMEIDA; ELIAN; NOBRE, 2008).

Esta avaliação refere-se a um teste de hipótese que considera em  $H_0$  a igualdade das variâncias e em  $H_1$  a diferença entre as mesmas. Para verificar se a primeira deve ser rejeitada, denota-se por  $Z_{ij}$  os desvios absolutos das variáveis conforme apresentado em (2.24) e, a partir deste calcula-se o valor de  $W_0$ .

$$Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_i| \quad (2.24)$$

$$W_0 = \left( \frac{n-k}{k-1} \right) \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (2.25)$$

$$\text{Onde: } \bar{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} z_{ij}}{n_i} \quad (2.26)$$

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \bar{z}_i}{n} \quad (2.27)$$

$$n = \sum_{i=1}^k n_i \quad (2.28)$$

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}}{n_i} \quad (2.29)$$

Uma vez obtido o valor de  $W_0$ , deve-se compará-lo com o valor de F-Snedecor crítico (2.30) e caso este seja maior, pode-se rejeitar  $H_0$  e deduzir que as variâncias são diferentes.

$$F_{\text{crit}} = F_{(k-1, n-k), (1-\alpha)} \quad (2.30)$$

Quando se faz uso do software Minitab 15 para a execução desse teste, o mesmo calcula, além do valor de  $F_{\text{crit}}$ , o valor de  $p$  que dever ser comparado com o nível de significância estipulado.

#### 2.4.5 Coeficiente de correlação

Antes de utilizar o método da regressão linear, é necessário medir a linearidade entre duas variáveis que serão analisadas, ou seja, medir a correlação existente. Para isso, normalmente calcula-se o coeficiente de correlação que, para a amostra de uma população, pode ser efetuado através da seguinte fórmula: (HANKE; REITSCH, 1998)

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (2.31)$$

Quando houver uma correlação perfeita entre as duas variáveis, o valor de  $r$  será +1, no caso de esta ser positiva, e -1, se for negativa. Já se o coeficiente for próximo de 0, este indicará que não há correlação entre as variáveis.

### 3 TRANSPORTE

O transporte constitui uma das principais funções logísticas, pois como os produtos dificilmente são produzidos e consumidos no mesmo local, cabe a este a tarefa de movimentá-los para que estejam disponíveis em regiões distantes àquelas em que são fabricados. Outro indício que mostra sua relevância é a sua participação nas despesas logísticas, correspondendo a 60% dos custos totais. (TIGERLOG, 2008)

Para transportar os bens dentro de determinados padrões de nível de serviço e custo, é necessário que se faça a escolha do modal que melhor se adéqua ao que é exigido. Os modais podem ser: Aéreo, Aquaviário, Ferroviário, Rodoviário ou Dutoviário. A Tabela 3 apresenta uma comparação das características de cada um.

Tabela 3 - Comparaçāo das características dos modais utilizados em transporte

Modal	Custo	Velocidade	Capacidade do Embarque	Resposta do Serviço
Aéreo	Alto	Alta	Embarques pequenos	Mais rápida
Aquaviário	Baixo	Baixa	Embarques grandes	Lenta
Ferroviário	Baixo	Baixa	Embarques grandes	Lenta
Rodoviário	Médio	Média	Embarques médios	Médio
Dutoviário	Baixo	Baixa	Embarques grandes	Lenta

Fonte: Tigerlog (2008)

No Brasil, por causa dos investimentos realizados durante as décadas de 50 a 70, quando se instalava a indústria automobilística no país, há uma concentração no uso do modal rodoviário. O Gráfico 1 apresenta a distribuição dos modais no país em 2007.

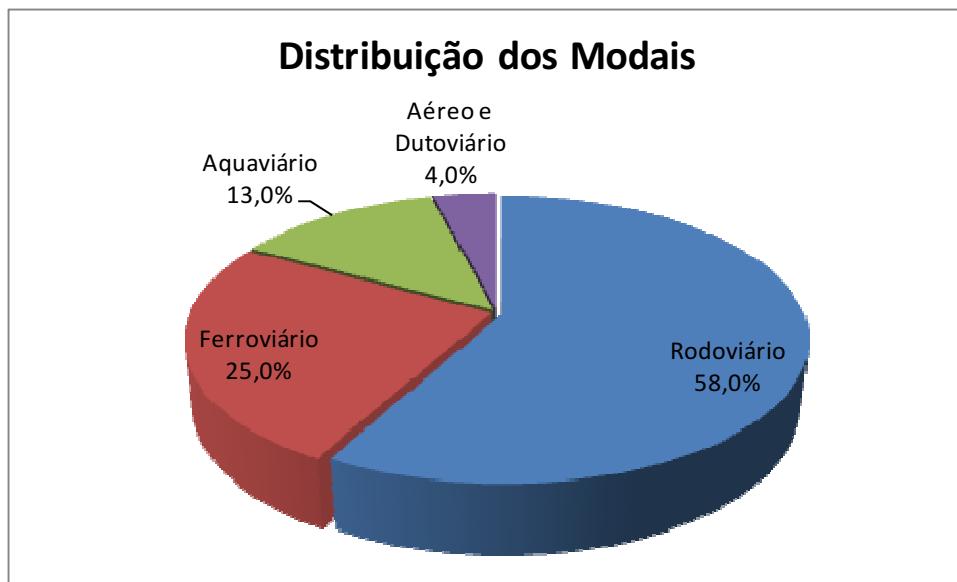


Gráfico 1 - Distribuição dos Modais no Brasil em 2005

Fonte: PNLT (in [www.transportes.gov.br](http://www.transportes.gov.br), acessado em 13/11/2010)

Os incentivos para essa concentração foram ainda maiores durante o crescimento econômico da década de 90: as altas restrições de capacidade em outros modais, a infra-estrutura rodoviária construída nas décadas anteriores e as pequenas barreiras de entrada fizeram com que muitas empresas ingressassem nesse setor. Além disso, a legislação não regulamentada acarretou – através da sobrecarga, baixo investimento na manutenção dos veículos e longas jornadas de trabalho – no excesso de utilização do veículo. Esses fatores levaram a um aumento da oferta das transportadoras e a uma consequente redução no valor dos fretes, o que fez com que este tipo de modal fosse a forma de transporte mais atrativa para as empresas.

Entretanto, as falhas que ocorriam por causa do desgaste do operador (acidentes) ou do veículo (quebras) fizeram com que, a partir do final da década de 90, fossem aprovadas diversas leis, cujo propósito era melhorar as condições de trabalho e dar maior segurança às rodovias. Essas, ao alcançar os seus objetivos, provocaram uma mudança do cenário nacional, pois aumentaram as barreiras de entrada e limitaram a oferta das transportadoras.

Por outro lado, o crescimento do PIB brasileiro (Gráfico 2) e das exportações (Gráfico 3) colaboraram para o aumento da demanda por transportes e, as restrições de capacidade nos outros modais, fizeram com que esse incremento ocorresse

principalmente no transporte rodoviário. Tal situação provocou um aumento na demanda por veículos novos e, como as montadoras já operavam com capacidade máxima de produção, a mesma não pôde ser atendida. Assim, com a redução da oferta e o aumento da demanda por transportes, iniciou-se no Brasil uma era de crise no modal rodoviário.

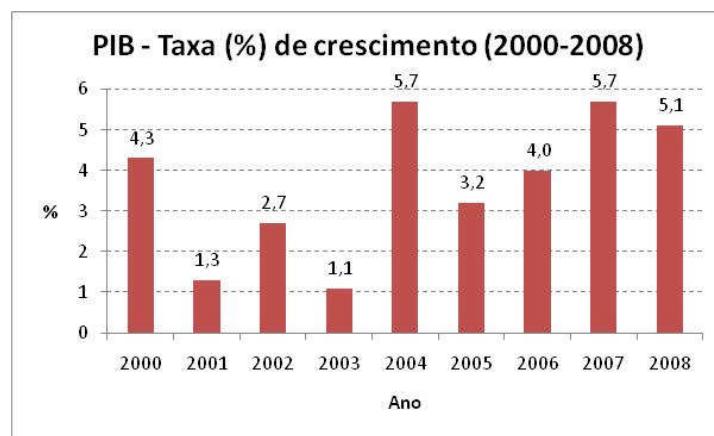


Gráfico 2 - Crescimento do PIB no Brasil

Fonte: Adaptado de IBGE (in [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), acessado em 13/11/2010)

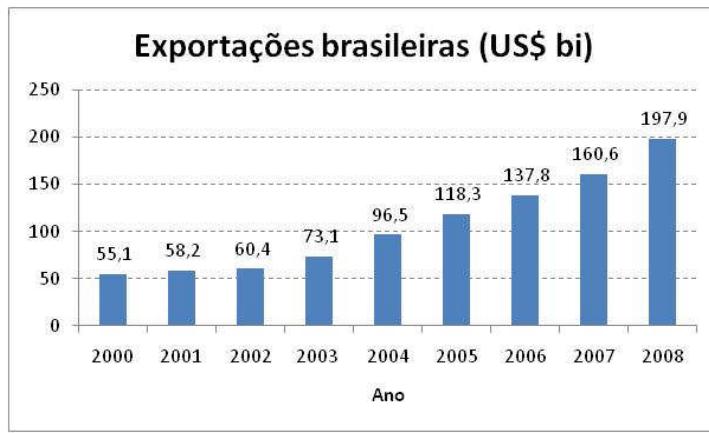


Gráfico 3 - Receitas obtidas com as exportações brasileiras

Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (in [www.mdic.gov.br](http://www.mdic.gov.br), acessado em 13/11/2010)

Além disso, as pressões realizadas pelos clientes sobre as empresas por maior consistência na entrega dos pedidos fizeram com que estas passassem a exigir melhorias nos serviços prestados pelas transportadoras. Isso levou a

implementação, por parte dessas últimas, de medidas corretivas que se adequassem ao que lhe eram exigidas, e um processo de revitalização do sistema de transportes foi iniciado.

Esses dois cenários – crise no setor rodoviário e revitalização do sistema – fizeram com que muitas transportadoras que antes operavam com ociosidade ao longo do mês, passassem a trabalhar com falta de equipamentos para atender a demanda existente (Gráfico 4) e, por causa disso, recusassem algumas solicitações de transporte.

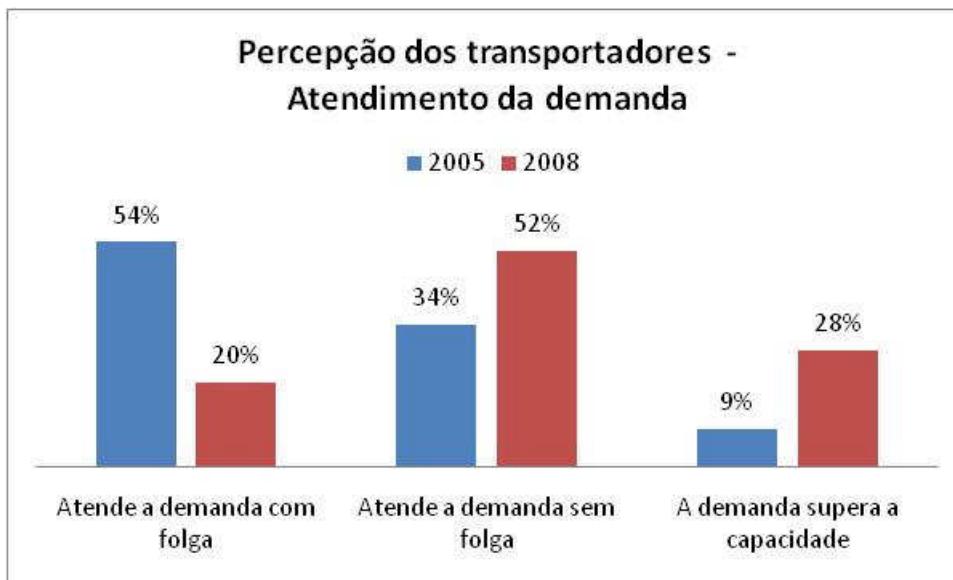


Gráfico 4 - Percepção das transportadoras quanto ao atendimento da demanda

Fonte: Coppead (2008)

Um estudo realizado pelo Coppead em 2008 com 65 transportadoras revelou que, neste ano, comparado com os anteriores, mais de 50% das transportadoras aumentaram o número de recusas de serviços (Gráfico 5). Dentre os principais motivos para isto estão: a falta de capacidade para atendimento e a baixa atratividade com os ganhos obtidos.

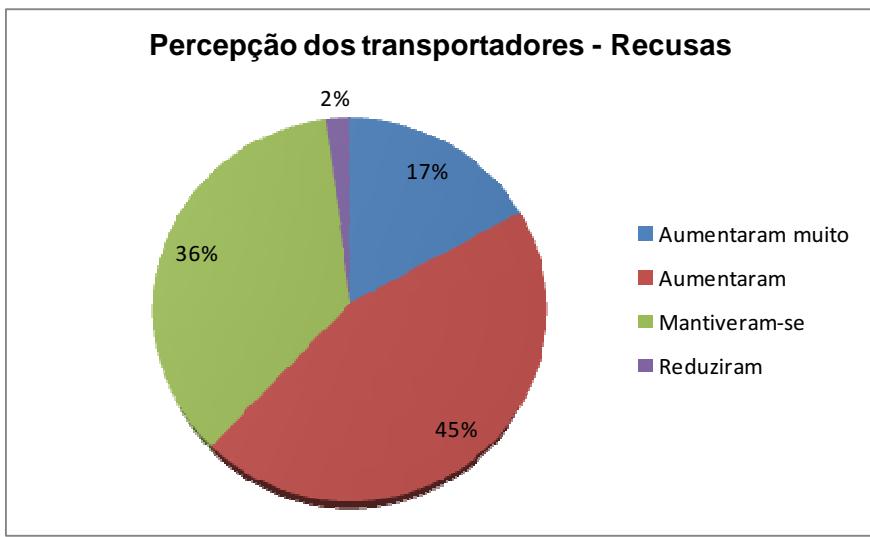


Gráfico 5 - Percepção das transportadoras quanto à quantidade de recusas

Fonte: Coppead (2008)

Com isso, pode-se dizer que a mudança do cenário de transportes que tem ocorrido nos últimos anos, faz com que as empresas que criaram as suas redes de instalações segundo o transporte rodoviário, enfrentem problemas para entregar os pedidos dentro dos prazos firmados.

### **3.1 O Problema**

Como destacado por Bowersox (2006), a área de transportes é um dos 5 segmentos da logística que devem ser gerenciados de forma a atender ao nível de serviço esperado pelo cliente. O cenário atual desse setor (descrito no item anterior) reforça ainda mais a importância dessa tarefa, uma vez que este tem sido responsável por algumas das ineficiências das empresas, principalmente devido às dificuldades enfrentadas para contratar os veículos.

O excesso de demanda por carregamentos faz com que as transportadoras estejam vulneráveis ao erro através de duas formas: recusa e não comparecimento. Estes,

quando ocorrem (além de resultar em uma improdutividade da transportadora) acarretam em uma perda no nível de serviço da empresa com o seu cliente.

A perda devido à primeira ocorre quando a empresa, ao ofertar o carregamento para as transportadoras, obtém uma recusa de todas estas e, consequentemente, não consegue embarcar o pedido no horário programado inicialmente.

Já a ocorrência da perda do nível de serviço devido à segunda, se dá quando a transportadora, uma vez aceitado a oferta de carregamento, não comparece no horário agendado e, consequentemente, o pedido não é entregue para o cliente conforme previsto. Caso esta compareça em um horário posterior ao firmado na contratação, o veículo só poderá ser carregado quando houver uma ociosidade na expedição do CD / Fábrica, e assim, não eliminará a incidência da ineficiência.

Os atrasos provocados na entrega devido à ocorrência dessas falhas podem refletir, em alguns casos, na perda de vendas das empresas. Desse modo, para que isso não aconteça, estas optam por contratar, a um custo maior, outras transportadoras que efetivamente não lhe prestam serviços, mas que se comprometem a entregar o pedido dentro do prazo inicialmente acordado com o cliente. No entanto, apesar de solucionar o problema, essa medida leva a empresa a um *trade-off* entre nível de serviço e custos, conforme apresentado no Gráfico 6.

Nesse sentido, é possível concluir que o principal problema enfrentado pelas empresas está relacionado com o *trade-off* existente no atendimento aos clientes. No próximo item será apresentado o objetivo desse trabalho e como pretende-se abordar esse problema para que o mesmo cause o menor impacto possível nas operações.

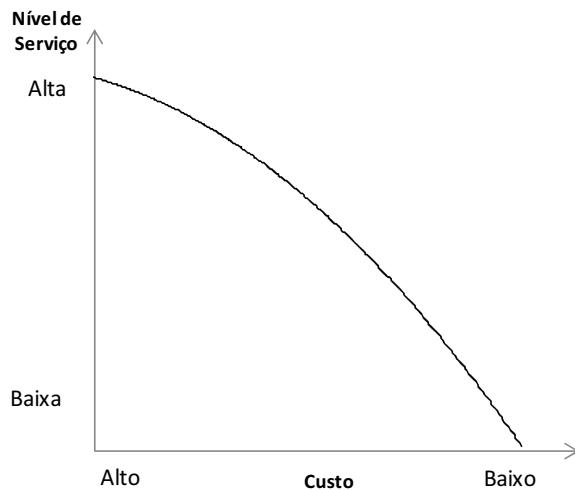


Gráfico 6 - Limite eficiente entre Custo e Nível de Serviço

Fonte: Chopra e Meindl (2003)

### 3.2 Objetivo

Para uma maior eficiência da cadeia de suprimentos – sendo considerada por sua definição a área de transporte inclusa – Shapiro (2001) destaca a importância da realização de um planejamento hierárquico. Este pode ser auxiliado por técnicas de previsão de demanda que podem ser empregadas com o intuito de fornecer as informações necessárias para o mesmo.

Nessa perspectiva, Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) afirmam que as previsões podem contribuir no planejamento de dois tipos de dados: os que serão projetados ou dos fatores que a empresa não tem controle.

Dessa forma, dada a relevância da execução de um planejamento para solucionar o problema da empresa, foi decidido que esse trabalho será elaborado com o objetivo de propor, através dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia de Produção, uma metodologia para o cálculo da previsão de demanda das viagens (cargas). Esta deverá ser aproveitada pela empresa para que a mesma consiga, junto com as transportadoras, garantir o atendimento dos carregamentos sem

incrementos nos custos de operação ou reduções nos níveis de serviços programados.

Dos horizontes de planejamento apresentados por Shapiro (2001), foi decidido utilizar o curto prazo (ou horizonte operacional), pois se acredita que o mesmo proporcionará os resultados mais imediatos para a empresa.

Além do mais, é importante ressaltar que para essa atividade de previsão podem ser consideradas duas variáveis: a quantidade de viagens ou o número de veículos que serão necessários para atender a estes carregamentos. Assim, dado que o objetivo desta não é realizar o dimensionamento da frota das transportadoras, mas auxiliar o processo de planejamento da demanda, será considerado como escopo desse trabalho o planejamento das viagens que devem ser entregues.

## 4 MODELAGEM DO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Uma vez caracterizado o problema a ser resolvido e definido o processo que o norteia, é possível, com base nos principais conceitos teóricos apresentados, elaborar uma proposta de solução.

Como apresentado no capítulo 3, o principal objetivo do planejamento de transporte é fornecer uma previsão, para os stakeholders, da quantidade de cargas que serão demandados ao longo do mês. Através disso, espera-se que os mesmos possam planejar as suas operações a fim de atender a esta demanda e concluir, consequentemente – dentro de um determinado nível de serviço pré-estabelecido – o pedido do cliente.

No cálculo dessa estimativa podem ser aplicados conceitos de: demanda derivada<sup>1</sup> - já que a necessidade de transporte é decorrente das vendas dos produtos para os clientes – ou de previsão da quantidade de cargas. Dessa forma, para a resolução do problema, será analisado inicialmente qual dessas abordagens fornece o melhor resultado e, posteriormente, serão empregados os dados históricos para testar qual dos modelos, previamente selecionados, promove a melhor previsão da quantidade de cargas que serão demandadas no transporte dos produtos para cada cliente.

Contudo, antes de iniciar os testes do melhor modelo de previsão, é necessária a realização de algumas simplificações, uma vez que, a Unilever, por ser uma das principais empresas de bens de consumo atuantes do Brasil, possui uma carteira de clientes muito grande. Portanto, se forem consideradas todas as combinações de entrega de cada CD / fábrica para cada cliente – sendo que para cada uma dessas rotas pode ser utilizado mais de um perfil de veículo – ter-se-ia milhares de casos a serem avaliados. Por conseguinte, o número elevado de variáveis a serem consideradas no modelo causaria um erro de previsão muito grande. Assim, essas simplificações terão como objetivo melhorar o processo de previsão sem impactar o nível de detalhe esperado para o mesmo.

---

<sup>1</sup> Conceito descrito no item 2.3.1.2

A seguir será apresentado, com o propósito de fornecer um melhor entendimento das variáveis que norteiam esse planejamento, o cenário em que este será incorporado.

#### **4.1 Cenário**

Como visto no item 1.1.6, o planejamento de transportes é um trabalho que será desenvolvido pela área de Planejamento Logístico (PL) e, após a sua implementação, terá a participação de outras duas áreas de Supply Chain: Central de Tráfego (CT) – responsável pela programação, oferecimento e acompanhamento dos transportes – e Compras de Serviços Logísticos (CSL) – área que tem a função de contratar as transportadoras.

A área de PL elabora atualmente diversos outros planos logísticos dos CDs, cujo objetivo é antever a ocorrência de possíveis falhas. Nesse sentido, uma vez previstas, ações de contingência podem ser realizadas. Esses planejamentos são: Armazenagem, Expedição e Recebimento.

- Armazenagem

Este plano é o responsável por apresentar a estimativa de ocupação dos CDs, e consiste na quantidade de posições paletes (p.p) utilizadas pelos produtos estocados antes de serem distribuídos. Para o seu cálculo, consideram-se as estimativas de entrada e saída de produtos nos CDs e a quantidade de produtos que já estão alocados.

- Inbound

Este plano é o responsável por apresentar uma estimativa do peso, em toneladas, que os CDs receberão das fábricas ou de outros CDs para atender à demanda dos seus clientes. Desse modo, é possível verificar se o CD terá a capacidade de receber o que está previsto para lhe ser enviado.

- Outbound

Muito similar ao plano de Inbound, este considera, ao invés do peso dos produtos que chegam, os que serão expedidos pelos CDs; tanto para atender ao pedido de um cliente quanto para abastecer outro CD.

A realização desses planos ocorre inicialmente para o curto prazo, *Plano Operacional*, onde a equipe utiliza as estimativas do mês (vendas, produção, estoque inicial e final) para projetar as necessidades de capacidade dos CDs nas três variáveis descritas acima. Porém, quando é detectada alguma necessidade de investimento para incremento de capacidade, esse horizonte de planejamento é insuficiente ou acarreta, devido ao curto período de tempo disponível, em altos custos de investimento. Por causa disso, um segundo nível de planejamento é definido, denominado AQP – *Annual Quarter Plan* –, no qual, com um período de previsibilidade maior, é possível realizar incrementos na capacidade, antes que sua falta seja percebida, e com custos menores do que no curto prazo. Este ocorre a cada trimestre e os gerentes são os responsáveis pela apresentação do trabalho e decisões a serem tomadas.

Por outro lado, considera-se ainda um terceiro horizonte de planejamento, denominado *Annual Plan*, onde com um escopo anual, são realizadas previsões para avaliar o impacto do crescimento das vendas da empresa nas capacidades atuais. O escopo desse planejamento é muito similar ao AQP, a diferença está na possibilidade de realizar investimentos mais rentáveis para a companhia, já que, dado o seu horizonte de planejamento, é possível executar mudanças estratégicas na malha logística. Além disso, devido ao tempo maior entre o início de uma negociação com os fornecedores e a ocorrência da necessidade, esta pode ser melhor direcionada.

Um resumo, para cada um dos 3 níveis, com os horizontes de planejamento, responsáveis pelo plano e período de replanejamento é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Características dos 3 níveis de planejamento logístico da empresa

<b>Planejamento</b>	<b>Horizonte de planejamento</b>	<b>Responsáveis</b>	<b>Período de Replanejamento</b>
Plano Operacional	Mensal	Operação	Semanal
AQP	Trimestral	Gerentes e Coordenadores	Mensal
AP	Anual	Diretores e Gerentes	Trimestral

#### 4.1.1 Contexto do Modelo

Com os planos que existem atualmente na área de planejamento logístico, é possível prever se o CD possui a capacidade de receber, armazenar e expedir os produtos que serão demandados pelos seus clientes. Entretanto, para que a entrega seja concretizada, é muito importante que o veículo utilizado no carregamento esteja disponível. Para isso, é proposta a realização do planejamento de transportes, que inicialmente terá um horizonte mensal – Plano Operacional. A Tabela 5 apresenta um resumo das características desse plano.

Após definido o contexto em que será desenvolvido o trabalho, iniciar-se-á no próximo item os estudos para a seleção do melhor modelo.

Tabela 5 – Características do Planejamento de Transportes

<b>Planejamento</b>	<b>Horizonte de planejamento</b>	<b>Responsáveis</b>	<b>Período de Replanejamento</b>
<i>Planejamento de transportes</i>	Plano Operacional	Mensal	Operação (Coordenadores)

#### 4.2 Abordagens para o cálculo da previsão

Um estudo do comportamento da demanda de transportes mostra que esse é um típico exemplo de demanda derivada, uma vez que a necessidade deste é consequente das vendas de produtos, ou seja, se as vendas são altas, a demanda por transporte será grande; caso contrário, será pequena.

Para a estimativa da sua demanda, pode-se ponderar este aspecto (demanda derivada) e calculá-lo a partir da previsão de vendas, ou desconsiderar essa característica e avaliá-lo como se fosse uma demanda comum.

Com isso, a partir de uma análise de possíveis modelagens a serem aplicadas, foram definidas três abordagens de cálculo para determinar a quantidade total de cargas. Essas são descritas a seguir:

- Abordagem 1: Demanda do peso a ser transportado (Figura 6)

Neste caso, considera-se, para cada perfil de veículo, os dados históricos das somas dos pesos transportados de cada CD para cada cliente. Os métodos de previsão são aplicados sobre esses dados e obtém-se como resultado a tonelagem total que será transportada para cada combinação CD / Cliente / Veículo. Por fim, dividi-se essa tonelagem por um fator peso, que avalia a tonelagem histórica de cada perfil de veículo, obtendo-se a quantidade de cargas requerida neste período.

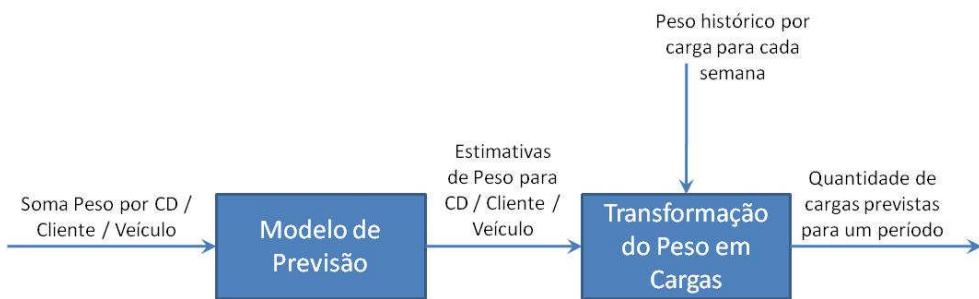


Figura 6 - Representatividade da forma de cálculo da abordagem 1

- Abordagem 2: Demanda da quantidade de veículos (Figura 7)

Para este cálculo utilizam-se os dados históricos da quantidade de cargas para cada combinação CD / Cliente / Veículo nos modelos de previsão.



Figura 7 - Representatividade da forma de cálculo da abordagem 2

- Abordagem 3: Demanda derivada das vendas (Figura 8)

Nessa opção, são empregados os dados históricos dos pesos totais expedidos por CD e as porcentagens de distribuição desse peso para cada combinação CD / Cliente / Veículo. Em posse desses dados, calcula-se a porcentagem equivalente para cada combinação e a aplica nos modelos de previsão. Depois de calcular as projeções de distribuição, multiplica-se a mesma pela previsão de vendas que a empresa calcula para cada CD. Por fim, segue-se o mesmo passo da abordagem 1 para transformar essa tonelagem em quantidade de veículos.

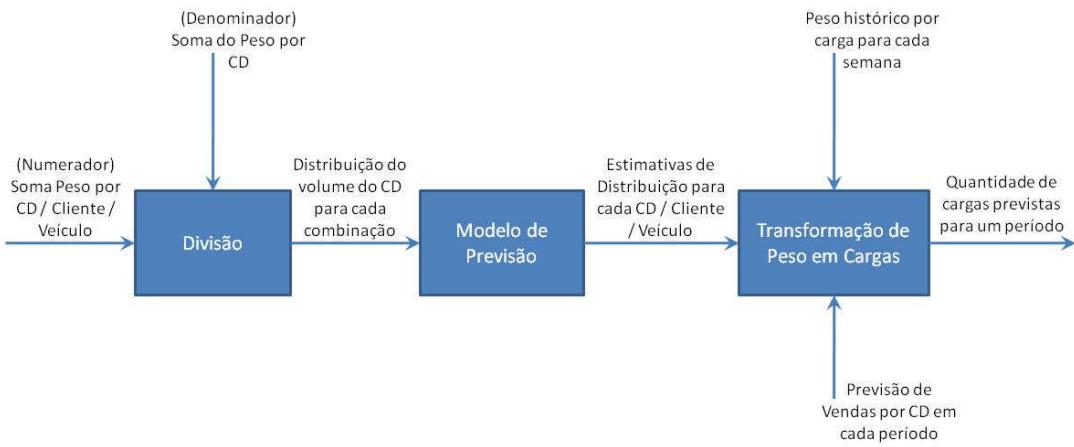


Figura 8 - Representatividade da forma de cálculo da abordagem 3

#### 4.2.1 Escolha da abordagem que será aplicada

Uma comparação das três abordagens propostas revela que a segunda é o pior método a ser aplicado, visto que não considera as características de demanda derivada presente em transportes e a variação de peso existente na carga de cada veículo. Já as abordagens 1 e 3 são similares, pois ambas consideram a demanda derivada e utilizam-se de um fator peso para transformar a tonelagem prevista em quantidade de veículos. Dentre estas, pode-se afirmar que a abordagem 3 é a melhor, por aplicar a previsão de demanda já realizada pela empresa (a qual engloba as taxas de crescimento da mesma e de cada um dos CDs) enquanto que a abordagem 1 prevê essas informações através dos dados históricos.

Desta maneira, dado que a empresa possui a previsão de vendas disponível através do planejamento de expedição de cada CD, foi decidido que o método proposto na abordagem 3 é o que será empregado nos modelos de previsão de veículos.

### 4.3 Simplificações do modelo

Na tentativa de reduzir a quantidade de casos a serem analisados e aumentar o nível de precisão do estudo, foram realizados alguns agrupamentos nas seguintes variáveis de saída do modelo: perfil de veículo em que o pedido é entregue e destinos dos clientes. A seguir, serão apresentados os critérios considerados para a realização de tais simplificações.

#### 4.3.1 Destino dos clientes

Uma análise da distribuição dos clientes da empresa mostrou que os mesmos encontram-se concentrados em algumas áreas, podendo ser agrupados em subregiões do país, de acordo com características específicas das suas localidades (o nível sócio-econômico, tamanho da população, dentre outros).

Para isso, foi realizada uma pesquisa com o objetivo de verificar se já existe publicada alguma classificação das cidades brasileiras que atenda a estas características. O resultado da mesma mostrou que a divisão definida pelo IBGE como microrregião<sup>2</sup> (Figura 9) é a que melhor se enquadra a essa proposta, visto que se caracteriza pela integração, segundo as relações sociais e econômicas, de cidades já divididas pelo critério de mesorregião. Essa última já representa uma metodologia de divisão do território nacional, em que considera as dimensões de processo social, quadro natural e rede de comunicação.

---

<sup>2</sup> Instituída pela Resolução da Presidência do IBGE em junho de 1990.



Figura 9 - Mesorregiões e Microrregiões Geográficas – 1990  
Fonte: IBGE (in [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), acessado em 13/11/2010)

#### 4.3.2 Veículos

Um levantamento dos veículos utilizados pelas transportadoras mostrou que há no histórico de carregamentos mais de 40 nomes diferentes de perfis de veículos. Entretanto, uma análise aprofundada desses revelou que muitos são similares (quando não são o mesmo veículo com nomes diferentes) podendo, portanto, ser agrupados segundo alguns critérios. Com base nisso, foram definidas 8 categorias de perfis de veículos para a classificação destes. Essas categorias e as suas respectivas características encontram-se listadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Classes de perfis de veículos definidas

Veículo	Capacidade <sup>3</sup> (ton)
Carreta	24
Carreta Back Haul <sup>4</sup>	24
Truck	12
Toco	6
Pick-up	3,5
Van	1,8
Fracionado <sup>5</sup>	12 ou 24
Outros	-

#### 4.4 Seleção de algumas rotas

Apesar das simplificações realizadas – considerando as microrregiões como clientes e agrupando os perfis de veículo em oito tipos – reduzirem para menos da metade o número de combinações possíveis de entrega, foi decidido que para a proposição de um modelo é necessário selecionar apenas algumas combinações CD / Cliente / Veículo, uma vez que é inviável a aplicação do modelo em todos os casos.

Para essa triagem, foi elaborada uma classificação – somente dos clientes – que teve como objetivo reunir todas as rotas em 4 grupos de acordo com o escopo do trabalho e as características particulares de cada um.

<sup>3</sup> Apesar de os dados da empresa terem sido modificados para respeitar o Código de Princípio da mesma, o valor apresentado na tabela é referente à capacidade real do veículo.

<sup>4</sup> Igual à carreta, mas possui a particularidade de ser contratada pelo cliente, devendo a empresa apenas realizar o carregamento no CD.

<sup>5</sup> Nesse caso utiliza-se uma carreta ou um truck para realizar o transporte, mas a cobrança do mesmo é feita sobre o peso transportado ao invés de ser sobre o veículo.

Como visto, o principal problema abordado nesse trabalho é a perda do nível de serviço decorrente da indisponibilidade de veículos para a efetuação da entrega, a qual pode dar-se por duas formas: recusa ou não comparecimento.

Apesar de esses dois eventos abordarem problemas diferentes quanto à ausência do veículo, foi considerado que os mesmos possuem igual importância, visto que causam o mesmo impacto – perda no nível de serviço. Nesse sentido, uma linha de classificação (denominada quantidade de falhas) foi estabelecida para calcular a incidência dessas faltas. Esta é calculada, para um determinado período, pela seguinte fórmula:

$$Qtde\ de\ falhas = \frac{Qtde\ de\ recusas + Qtde\ de\ não\ comparecimentos}{Qtde\ total\ de\ pedidos} \quad (4.1)$$

É importante ressaltar que na ocorrência de mais de uma recusa para um mesmo carregamento, foi considerada apenas a incidência de um evento, já que a repetição deste pode ser advinda de alguma variável particular que sucedeu no dia do oferecimento, como por exemplo, o excesso de demanda devido à proximidade de um feriado ou falta de veículos devido a problemas encontrados nas rodovias.

A segunda linha utilizada para dividir todas as rotas foi a quantidade de pedidos ocorridos no mesmo período avaliado na quantidade de falhas. Este refere-se ao primeiro semestre de 2010, visto que em períodos anteriores não havia o registro de todas essas informações.

Dadas as linhas de classificação, aplicou-se o Diagrama de Pareto<sup>6</sup> (80/20) para saber quais as rotas eram as responsáveis pela maior quantidade de pedidos e quais possuíam a maior porcentagem de incidência de falhas no atendimento. Dessa forma, obteve-se os 4 grupos de classificação, cujo resumo das características<sup>7</sup> está

---

<sup>6</sup> Segundo Ramos (2003, p. 3), esta técnica consiste numa “forma de descrição gráfica onde procura-se identificar quais itens são responsáveis pela maior parcela dos problemas.”

<sup>7</sup> Os valores utilizados na Tabela 7 foram omitidos para respeitar o Código de Princípios da Empresa. Por isso, optou-se por utilizar somente as classificações, alta e baixa, na representação.

na Tabela 7. O Gráfico 7 apresenta a dispersão das rotas segundo os critérios de classificação.

Tabela 7 - Classificação das rotas segundo a quantidade de pedidos e falhas

Classe	Quantidade de pedidos	Ocorrência das falhas
A	Alta	Alta
B	Baixa	Alta
C	Baixa	Baixa
D	Alta	Baixa

Como pode ser observado no Gráfico 7 a metodologia do Diagrama de Pareto faz com que os dados fiquem distribuídos de forma irregular nos 4 grupos, sendo que os grupos B e C possuem a maior parte dos mesmos. Por isso, é apresentado no Gráfico 8 a porcentagem das rotas que cada grupo possui em relação à quantidade total.

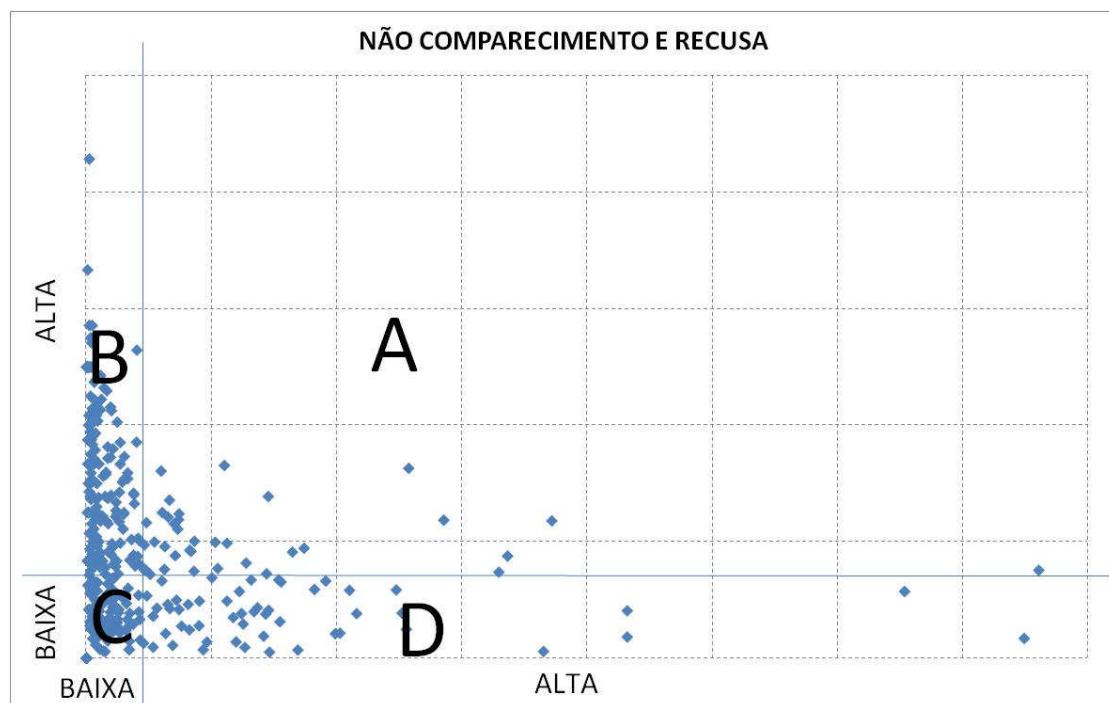


Gráfico 7 - Dispersão das rotas segundo os critérios de classificação



Gráfico 8 - Participação de cada classe de dados em relação à quantidade total de rotas

#### 4.4.1 Escolha das rotas

Uma vez distribuídas todas as rotas, foi realizada (junto com a equipe de operação) uma apuração para verificar se as mesmas haviam sido classificadas de forma correta. Com a validação dessa, selecionou-se, com base na disponibilidade de dados históricos, uma rota e um perfil de veículo de cada grupo para ser modelada. As rotas e os respectivos perfis de veículos são apresentados<sup>8</sup> na Tabela 8.

Tabela 8 - Microrregiões e perfis de veículos selecionados para os testes

Classe	CD - Origem	Microrregião	Perfil de veículo
A	CD 1	M 21	Truck
B	CD 2	M 32	Pick-up
C	CD 3	M 43	Pick-up
D	CD 4	M 54	Carreta

<sup>8</sup> Os nomes dos CDs e das microrregiões foram alterados devido ao Código de Princípios da Empresa.

#### 4.5 Levantamento de dados

Segundo Hanke e Reitsch (1998), uma das atividades mais difíceis e demoradas no processo de previsão de demanda é a coleta de dados, já que os registros devem ser válidos e confiáveis. O autor ainda afirma que o modelo de previsão mais sofisticado pode falhar, se forem aplicados dados sem essas características.

Por isso, durante a etapa de levantamento dos dados buscou-se coletar os que fossem mais fiéis à verdadeira demanda de veículos. Porém, devido à inviabilidade da coleta diária das demandas, optou-se por utilizar os registros de carregamentos dos CDs utilizados pela empresa. Estes podem ser empregados como histórico, pois, a rapidez com que o ciclo do pedido é finalizado, faz com que o tempo entre o surgimento da demanda de veículo (formação de carga) e o carregamento do mesmo seja menor que um dia.

Todavia, para que a consideração apresentada acima seja aplicada, é necessário um ajuste nos dados, uma vez que, em períodos no qual a quantidade de recusas é alta, o intervalo de tempo, que antes era menor do que um dia, pode passar a ser maior. Isso acarretaria em uma divergência entre o cenário real e os dados utilizados no modelo.

Os dados históricos de carregamentos foram obtidos através do sistema de gerenciamento de transportes (TMS). Esse sistema possibilita ao usuário visualizar e controlar todas as operações de transporte da empresa, tais como: o gerenciamento de fretes, a roteirização de entregas, a programação das cargas, o rastreamento do tráfego, o atendimento aos clientes, entre outros.

Como o sistema foi instalado no final do ano de 2007, estão disponíveis somente os registros posteriores a esse período. Dessa maneira, decidiu-se por utilizar apenas os dados de julho de 2008 a junho de 2010, já que no período anterior a esse, devido ao processo de adaptação ao novo sistema, foram encontradas inúmeras falhas de cadastro.

Os relatórios selecionados para a coleta dos registros são emitidos diariamente pela equipe operacional e possuem diversas informações a respeito do carregamento,

por exemplo: o horário em que o veículo chega e sai do CD / Fábrica para carregar a entrega; a empresa responsável pelo transporte e para qual cliente foi direcionado; a tonelagem transportada; entre outros.

Uma comparação do nível de detalhe fornecido por este relatório e o que é solicitado para a resolução do problema, mostra que as informações fornecidas pelo sistema possuem um grau de detalhe maior que o necessário, porém, decidiu-se empregá-las, pois estas podem ser agrupadas para o nível solicitado. Além do mais, se for requisitado, futuramente, a coleta de dados com mais detalhes, esta já estará disponível.

Em posse dos dados de carregamentos dos veículos, é fundamental, como apresentado anteriormente, a transformação desses registros em demanda de veículos. Para isso, foi realizada uma análise das ocorrências de recusas ao longo do mês para cada uma das Rotas / Veículos selecionados. Essa revelou que somente a rota da classe A – alto volume e alta ocorrência de falhas – é que possui uma quantidade relevante de recusas nos dois últimos dias.

Para transformar essas recusas em demandas, somou-se o volume desses carregamentos ao dia em que houve a incidência dessa falha e subtraiu-se esse volume do primeiro dia útil do mês seguinte. Este dia foi escolhido, pois, conforme apurado, se o carregamento não é realizado no dia previsto, este é transferido para o primeiro dia mais próximo com ociosidade de expedição.

A seguir, apresenta-se uma análise preliminar dos dados coletados para futura aplicação dos mesmos nos modelos de previsão de demanda.

#### **4.6 Análise Preliminar dos Dados**

Aparentemente, a abordagem escolhida para o cálculo da previsão de demanda (Seção 4.2.1), indica que não é necessário analisar o volume vendido ao longo do tempo. Entretanto, será efetuado um estudo da demanda semanal com o objetivo de

verificar se existe alguma semana que tenha uma concentração maior de vendas em relação às demais. Dessa forma, se for constatada a sua incidência, será proposta uma metodologia que calcule a demanda diária para a mesma.

É importante ressaltar que, para o desenvolvimento das próximas etapas, serão aplicados somente os dados do Grupo A. Para os demais grupos apresentam-se somente suas conclusões no final das análises e, os gráficos e tabelas que serviram como base para as mesmas, estão disponibilizados no Apêndice.

#### **4.6.1 Análise da demanda semanal**

A primeira etapa considerada na análise da demanda semanal é a inserção do peso total de cada semana em um gráfico de série temporal. Porém, para esse agrupamento, é necessário realizar algumas ponderações, visto que, com exceção do mês de fevereiro, não é possível dividir os dados diários em quatro semanas iguais de sete dias. Por isso, para a divisão dos mesmos, definiu-se um critério de classificação que é apresentado na Tabela 9.

A escolha por deixar os primeiros dias do mês no grupo com a menor quantidade de dados teve como base as peculiaridades do cenário avaliado, pois tais dias são os que possuem a menor relevância e constituem, em sua grande parte, pedidos já conhecidos, ou seja, que foram agendados ou que não puderam ser expedidos no mês anterior e estão programados para os primeiros dias do mês. Esse último pode ter ocorrido por causa da falta de capacidade de expedição dos CDs ou devido à indisponibilidade das transportadoras para realizarem a entrega.

Tabela 9 – Classificação das semanas segundo a quantidade de dias no mês

Nº de dias no mês	Dias	Semana considerada
28	01 - 07	C4
	08 - 14	C3
	15 - 21	C2
	22 - 28	C1
30	01 - 02	C5
	03 – 09	C4
	10 – 16	C3
	17 – 23	C2
31	24 – 30	C1
	01 – 03	C5
	04 – 10	C4
	11 – 17	C3
	18 – 24	C2
	25 – 31	C1

Desse modo, após essa classificação, gerou-se um gráfico de série temporal com a soma dos pesos semanais Gráfico 9.

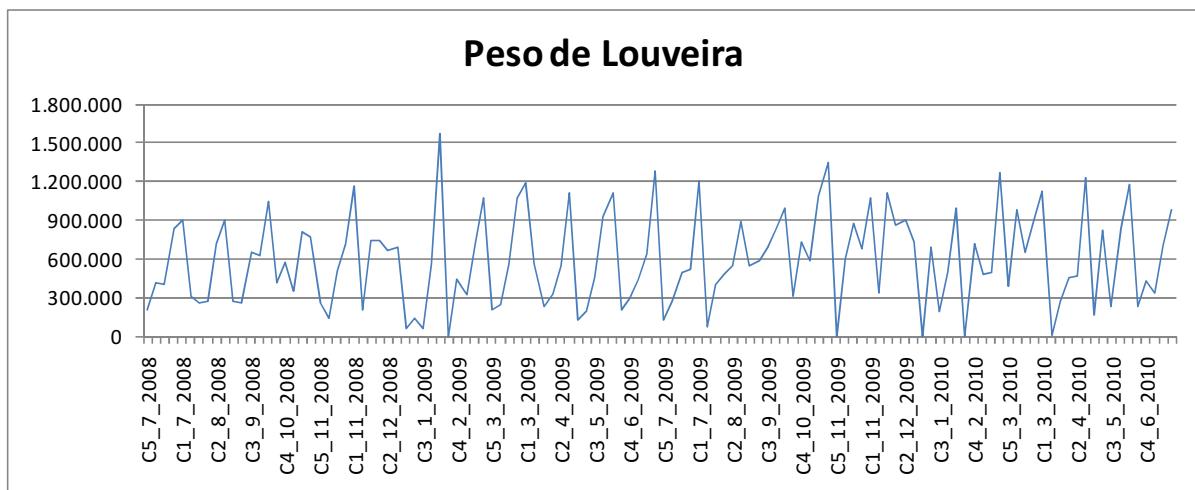


Gráfico 9 - Série temporal das vendas semanais para o grupo A

Uma análise da distribuição dos dados do grupo A (Gráfico 9) revela que, ao longo da série temporal, há diversos pontos que representam uma demanda maior, os quais se repetem em intervalos fixos – indício do comportamento da sazonalidade. Caso essa hipótese seja verdadeira, será comprovada a existência de uma semana do mês com uma concentração de vendas e, o comportamento da sazonalidade, garantirá que esta aconteça sempre entre períodos regulares.

Para comprovar essa suspeita, será traçado, com base nos dados históricos, um gráfico de barras (Gráfico 10) com a representatividade (porcentagem) de cada semana em relação ao volume total do mês.

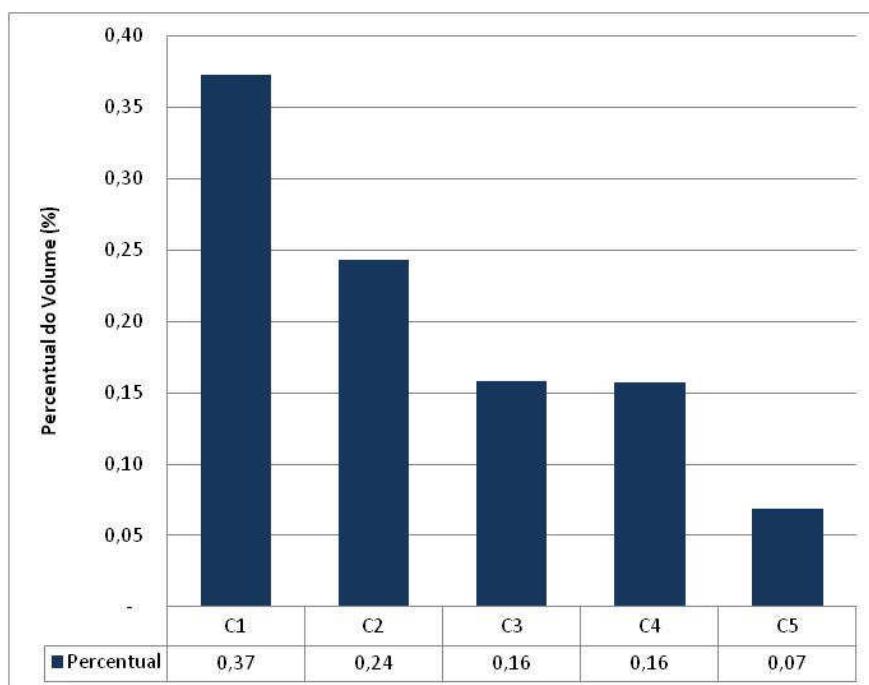


Gráfico 10 – Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas

Através do Gráfico 10 é possível verificar que há uma diferença nos volumes transportados ao longo do mês. A semana C5 possui a menor representatividade, uma vez que esta tem a menor quantidade de dias e os mesmos não são fixos nos diferentes meses. As semanas C3 e C4, que representam basicamente as duas primeiras semanas do mês, possuem volumes muito próximos de entregas e, quando estes são comparados com as demais, não apresentam uma superioridade significativa nas vendas. Já a semana C2, que corresponde à penúltima semana do

mês, possui um volume maior que o das semanas anteriores, mostrando que conforme se aproxima o final do mês, a quantidade de pedidos dos clientes aumenta e, consequentemente, eleva-se a demanda por transporte. Por fim, a semana C1, correspondente aos últimos dias do mês e tem a maior demanda de transporte (mais de um terço do volume total de vendas).

Para os demais grupos de dados, observa-se que os resultados são similares aos apresentados acima. Apesar das sutis distorções que ocorrem entre os grupos, é possível afirmar que, assim como no Grupo A, há indício de que a semana C1 possui uma concentração maior de vendas (gráfico de barras) e que existe a incidência do comportamento da sazonalidade na série de dados (série temporal).

Contudo, apesar da aplicação do gráfico de barras ser muito útil para analisar o agrupamento dos registros ao longo do mês, o mesmo não pode ser aproveitado para comprovar a existência da sazonalidade. Para tal tarefa, Hanke e Reitsch (1998) sugerem a aplicação da análise de autocorrelação. Esta consiste no estudo da correlação existente entre uma série temporal e a mesma série defasada de  $N$  períodos. Dessa forma os autores afirmam que, se o coeficiente de correlação para  $N$  períodos for significativo (maior do que os limites de significância calculados) e superior aos coeficientes das demais defasagens, a série temporal apresentará uma sazonalidade para cada  $N$  períodos.

Neste ponto, para comprovar a existência da sazonalidade aplicou-se esse teste, através do software Minitab 15, para os pesos totais de cada semana, variando a defasagem dos períodos de  $N = 1$  a  $N = 30$  (Gráfico 11). Para saber se os coeficientes encontrados são representativos, o software calcula (conforme pode ser observado) os limites de significância para cada período de defasagem.

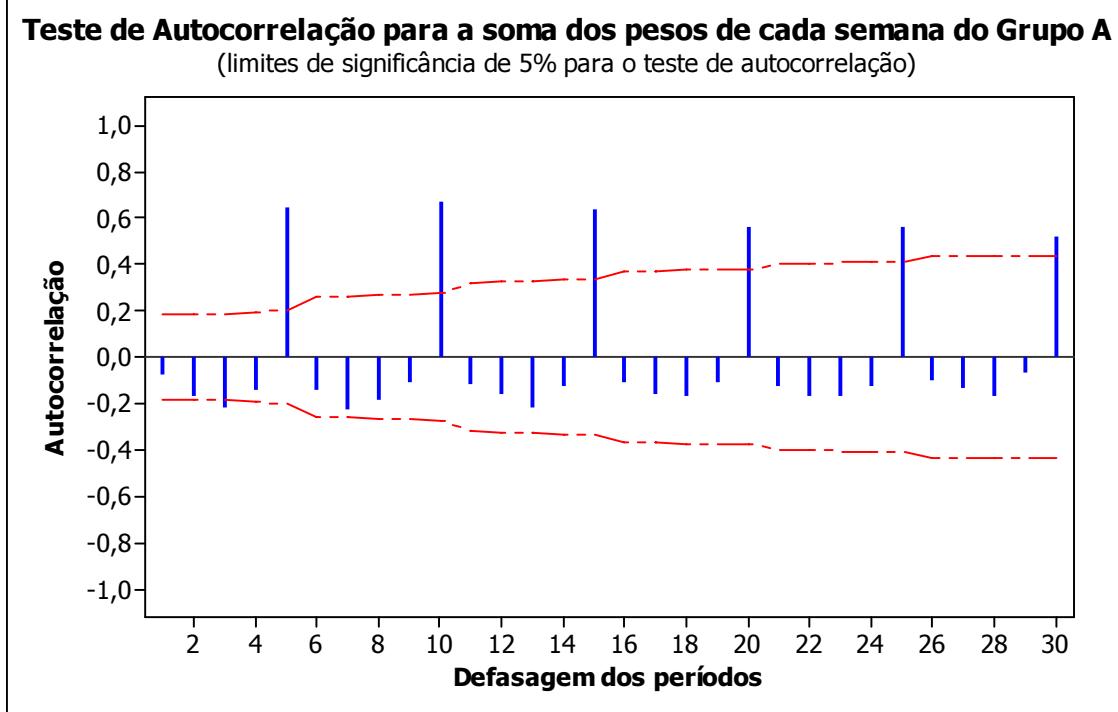


Gráfico 11 - Teste de autocorrelação para os pesos semanais do Grupo A

Uma análise do Gráfico 11 revela que para os valores de  $N$  iguais a 5, 10 e 15, os coeficientes de autocorrelação são significativos. Com isso, a série temporal apresenta uma sazonalidade de 5 períodos, o que confirma a hipótese levantada após a elaboração do gráfico de série temporal.

Os testes dos grupos B, C e D mostram que esses também apresentam a sazonalidade com a mesma quantidade de períodos. O Grupo B, apesar de ter somente o coeficiente para 25 períodos de defasagem maior que o limite de significância, foi avaliado com uma sazonalidade de 5 períodos, porque os maiores coeficientes são para os casos em que avalia-se a correlação com 5 períodos de defasagem ou múltiplos a esse valor (Gráfico 24 – Apêndice). Já o Grupo C, embora tenha uma relevância para 8 períodos de defasagem, foi avaliado com uma sazonalidade de 5 períodos, pois esse apresenta a reincidência da significância para valores múltiplos. Por fim, o Grupo D possui a distribuição dos coeficientes de autocorrelação semelhante à apresentada para o Grupo A, validando o período de sazonalidade considerado.

Portanto, conclui-se que todos esses grupos apresentam a maior demanda na última semana do mês (C1), a qual se repete todos os meses devido à existência da sazonalidade a cada 5 períodos. Como a participação desta é muito significativa, representando mais de um terço da demanda mensal (para qualquer um dos grupos), será avaliada posteriormente, a possibilidade de se detalhá-la diariamente.

#### **4.6.2 Análise das porcentagens de demanda**

Antes da realização dos testes de seleção do melhor modelo de previsão, é recomendável que se faça, conforme indicado por Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998), uma análise preliminar dos dados que serão aplicados. Esta tem o propósito de conhecer melhor a intensidade da incidência dos comportamentos e, a partir disso, selecionar os modelos que melhor se enquadram na previsão.

Uma análise do horizonte de planejamento definido para este trabalho (1 mês), indica que, quando comparado com a Tabela 1, é necessário verificar apenas a incidência da sazonalidade e da aleatoriedade. Contudo, para um conhecimento mais detalhado dos dados, será realizado também o teste da ocorrência da tendência. A análise da ciclicidade será desconsiderada, pois se acredita que a mesma já é avaliada juntamente com a sazonalidade.

##### **4.6.2.1 Análise dos comportamentos**

Para o estudo dos comportamentos e análises dos dados semanais, foi decidido não considerar os volumes expedidos na semana C5, tendo em vista que, como mostrado no item 4.6.1, essa possui uma demanda de veículo baixa. Isso acontece porque esta semana possui a menor quantidade de dias e está situada no começo

do mês, onde a demanda é pequena. Além do mais, como não existem dados em todos os meses, decidiu-se por excluí-la da análise para que a mesma não comprometesse o resultado das outras semanas.

Para a avaliação da ocorrência dos comportamentos, será aplicado o teste de autocorrelação. Esse, além de ser utilizado para verificar a presença da sazonalidade, como descrito anteriormente, pode ser empregado também para detectar a existência da tendência e da aleatoriedade.

Hanke e Reitsch (1998) afirmam que, se em um teste de autocorrelação, os coeficientes de correlação não são relacionados entre si e são próximos de zero, a série de dados é aleatória. Já se os primeiros coeficientes são tipicamente diferentes de zero (perto de 1) e gradualmente vão a zero, conforme aumenta-se o número de períodos, a série apresenta a tendência.

No Gráfico 12 é apresentado esse teste, elaborado através do software Minitab 15, para os valores percentuais da rota do grupo A em relação ao volume semanal expedido pelo seu respectivo CD.

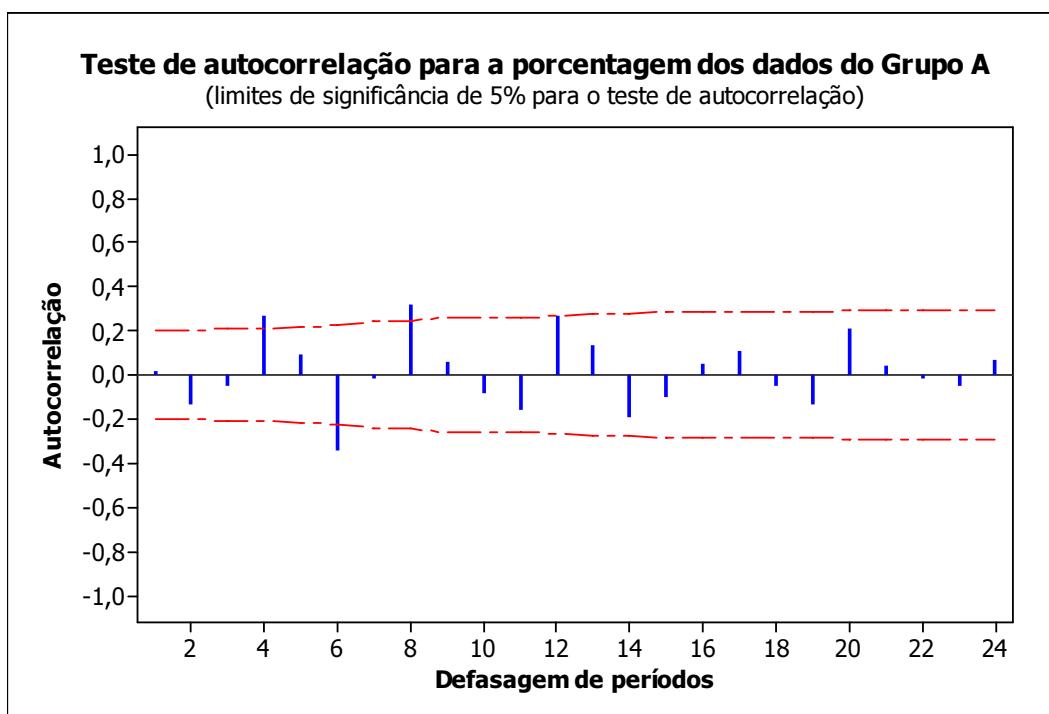


Gráfico 12 - Teste de autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo A

Uma análise desse gráfico mostra que os coeficientes de autocorrelação para os períodos de defasagem iguais a 4, 6, 8 e 12 são significativos. O coeficiente para 6 períodos será desconsiderado, pois a sua significância (negativa) não se repete para nenhum de seus múltiplos – no caso de 12 períodos há correlação positiva –, o que leva a concluir que não há a presença da sazonalidade para esse número de defasagem. Dessa forma, pode-se considerar que, assim como no caso da análise dos volumes, essa rota apresenta o comportamento da sazonalidade, o qual ocorre para um período de defasagem igual a 4. É importante observar que esse período é igual ao do volume (5 períodos), já que foram excluídos, para essa análise, os dados pertencentes à semana C5.

Além disso, é possível dizer que essa série não é totalmente aleatória, pois existe a presença da sazonalidade e os coeficientes não são próximos de zero. Quanto à tendência, não é possível afirmar a sua existência, já que os primeiros não são próximos de 1.

Os resultados do teste de autocorrelação para os demais grupos foram diferentes dos apresentados para o Grupo A. O Gráfico 27 demonstra que para o Grupo B, não é possível confirmar a ocorrência da sazonalidade, uma vez que somente com 20 períodos de defasagem tem-se um coeficiente superior ao limite de significância e, mesmo este, não possui uma superioridade relevante. Já para o Grupo C, observa-se um resultado semelhante a uma combinação dos dois anteriores, ou seja, assim como no Grupo B, não há nenhum coeficiente importante, mas que, assim como no Grupo A, apresenta os coeficientes do múltiplo de 4 e o de 6 períodos de defasagem ligeiramente maiores do que os demais. Por fim, o Grupo D apresenta coeficientes significantes e positivos para as defasagens de 4, 8, 12, 16 e 20 períodos e; negativos para 2 e 6, sendo que será considerada a ocorrência dos primeiros, pois estes apresentam valores maiores de correlação.

Dessa forma, somente os dados dos Grupos A e D possuem a incidência da sazonalidade. Quanto à existência dos comportamentos de aleatoriedade e tendência nos Grupos B, C e D, pode-se afirmar que o último possui resultados similares ao do Grupo A, isto é, não são aleatórios por causa da sazonalidade e, não é possível comprovar a tendência devido à forma como os coeficientes estão distribuídos. Já os Grupos B e C – por não terem a sazonalidade comprovada pelo

teste e possuírem os coeficientes muito próximos de zero – dão indício de que são aleatórios, sendo necessário assim, testar a tendência.

Para comprovar a ocorrência da tendência nos grupos, Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) sugerem a aplicação do processo de decomposição, através do método Census Bureau, na qual a identificação da mesma pode ser obtida através das duas etapas apresentadas a seguir<sup>9</sup>:

- Etapa 1: Eliminar a sazonalidade e a aleatoriedade

Primeiramente, deve-se calcular uma média móvel cujo comprimento  $N$  é igual aos períodos de sazonalidade identificados anteriormente. O objetivo desta é eliminar a incidência desse comportamento através da média de períodos de alta e baixa sazonalidade. A média móvel é utilizada também para reduzir a aleatoriedade, desde que a série de dados não tenha erros sistemáticos. Como os registros estão agrupados semanalmente, não é necessário avaliar a sazonalidade presente entre os seus dias, e sim, a existente entre as semanas do mês.

- Etapa 2: Identificar a forma apropriada de tendência

Isolados os fatores de sazonalidade pelas médias, deve-se traçar a curva dos dados e identificar a forma apropriada de tendência (linear, exponencial, etc). A Tabela 10 apresenta os valores dos coeficientes de correlação calculados para cada um dos testes.

Tabela 10 - Valores de  $r$  para as Regressões dos dados de cada grupo

Régressão	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Exponencial	0,2241	-	-	0,1229
Linear	0,2433	0,5088	0,4206	0,1109
Logarítmica	0,2135	0,3435	0,3306	0,1170
Potencial	0,1929	-	-	0,1005

---

<sup>9</sup> É importante ressaltar que essas etapas não constituem o método, mas constituem o que precisa ser aplicado para detectar a tendência

Para verificar se o valor de  $r$  obtido na Tabela 10 é relevante, Triola (2005) recomenda a aplicação do teste de hipótese de  $\rho = 0$ , em que se compara, conforme o número de dados analisados, o valor de  $r$  com os valores apresentados na Tabela 28 (Anexo). Se o valor de  $r$  for maior que o valor crítico este é relevante, caso contrário, pode-se desconsiderar a ocorrência da tendência.

Considerando um valor de  $\alpha = 5\%$ , o valor de  $r$  crítico para uma amostra de 25 elementos<sup>10</sup> é 0,396, o qual quando comparado com os valores obtidos na Tabela 10 aponta que, somente os dados dos Grupos B e C apresentam o comportamento da tendência para o caso linear.

Após a análise dos dados de todos os grupos, é apresentado na Tabela 11 um resumo de seus comportamentos.

Tabela 11 - Resumo dos comportamentos presentes em cada um dos grupos analisados

	Sazonalidade	Tendência	Aleatoriedade
Grupo A	■		
Grupo B		■	
Grupo C		■	
Grupo D	■		

Além das razões já defendidas por Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998), o conhecimento dos comportamentos que incidem em cada grupo de dados é muito importante para a escolha do modelo de previsão de demanda, uma vez que existem metodologias voltadas para atender especificamente cada um. A seguir, serão apresentados, com base nos resultados obtidos até o momento, os testes de modelos de previsão de demanda.

---

<sup>10</sup> Apesar de ter sido aplicada uma amostra com 24 dados, foi utilizado o valor de  $p$  para 25 porque verifica-se que quanto maior for o tamanho da amostra, menor será a diferença entre dados consecutivos.

#### **4.7 Seleção do modelo de previsão**

Após a coleta dos dados, escolha da abordagem a ser aplicada e análise preliminar da demanda de veículos ao longo do tempo, é possível selecionar o melhor modelo de previsão.

Devido ao tamanho da empresa e ao número de rotas que deverão ser implementadas nesse sistema de planejamento de transportes, foi decidido que, dos fatores apresentados na etapa 3 do item 2.3.3, serão consideradas as seguintes características:

- Baixa complexidade;
- Curto prazo como horizonte de planejamento;
- Precisão do modelo de aproximadamente 35%<sup>11</sup> (MAPE).

Para previsões que possuem essas características, Hanke e Reitsch (1998) sugerem que sejam atribuídas as técnicas de média, decomposição clássica, regressão e suavização exponencial. Entretanto, Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) afirmam que o modelo de decomposição não deve ser utilizado como método de previsão, devido a sua complexidade de agrupar as previsões de cada um dos comportamentos que foram realizadas separadamente, sendo recomendável empregá-lo somente para estudar a presença dos mesmos. Dessa forma, para os testes de seleção, foram definidos alguns modelos que são exibidos a seguir em três grupos:

- Média

Os tipos de média aplicados foram: média simples, média móvel e média móvel com sazonalidade. Esta última, apesar de não estar definida no item 2.3.5.1, consiste na utilização do conceito de média móvel somente com os valores da semana

---

<sup>11</sup> Um grau de precisão menor seria recomendável, entretanto, por tratar-se de demanda derivada, sabe-se que nesta medida já deve ser incorporado o erro da previsão de vendas.

examinada. Por exemplo, para calcular o valor para a semana C1 do mês de junho com um  $k = 3$  utilizou-se os valores da semana C1 dos meses de março a maio.

- Suavização Exponencial

Os modelos de suavização usados foram: suavização exponencial simples, suavização exponencial com tendência, suavização exponencial com sazonalidade e suavização exponencial com tendência e sazonalidade.

Para o cálculo das constantes  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  – que oferece as melhores previsões – utilizou-se um programa desenvolvido em linguagem VBA no MSExcel, que testou (para cada uma das técnicas) todas as combinações possíveis, alterando os valores com alternância de 0,01.

- Regressão Linear

Por causa das características escolhidas para o modelo, decidiu-se aplicar a regressão linear simples e a regressão linear simples com sazonalidade. Essa última é semelhante ao caso da média móvel com sazonalidade e consiste em utilizar os conceitos de regressão somente com os dados da semana na qual se deseja estimar.

Assim como descrito anteriormente, para a realização dos testes serão excluídos os dados pertencentes à semana C5 e, consequentemente, não será realizada a previsão para essa semana. Essa medida foi tomada, pois a maior parte da demanda desses dias corresponde a entregas já conhecidas no final do mês anterior e também porque a primeira versão do plano de expedição, empregado para calcular as vendas do período estudado, é emitida durante o transcorrer dos dias da mesma.

Tendo como base os períodos definidos por Santoro (2009) – inicialização e validação –, foi considerado que, para os testes de previsão, o primeiro corresponde aos dados de julho de 2008 a junho de 2009, enquanto que os demais dados são classificados como período de validação.

Dessa forma, foram aproveitados os modelos descritos acima para estimar as demandas do segundo período, as quais foram comparadas com os valores reais para avaliar o erro obtido. A Tabela 12 apresenta os resultados dos erros MSE de cada modelo de previsão. Os valores em negrito correspondem àquele que possui o menor erro, isto é, a melhor técnica para a série de dados analisada.

Tabela 12 – Erro MSE dos modelos de previsão de cada grupo

Modelos	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Normatizado
Média Simples	0,00686	0,00095	0,00132	0,08844	0,99446
Média móvel ( $k = 4$ semanas)	0,00796	0,00105	0,00127	0,09475	1,06587
Média móvel ( $k = 8$ semanas)	0,00718	0,00098	0,00129	0,09242	1,01907
Média móvel ( $k = 12$ semanas)	0,00705	0,00095	0,00129	0,09162	1,00469
Média móvel ( $k = 16$ semanas)	0,00719	0,00096	0,00126	0,09033	1,00209
Média móvel com sazonalidade ( $k = 4$ meses)	<b>0,00700</b>	0,00101	0,00118	0,06476	0,91457
Média móvel com sazonalidade ( $k = 8$ meses)	0,00738	0,00094	0,00115	0,06126	<b>0,89265</b>
Média móvel com sazonalidade ( $k = 12$ meses)	0,00760	<b>0,00093</b>	0,00113	0,06116	0,89317
Suavização exponencial simples	0,00725	0,00096	0,00130	0,09162	1,01574
Suavização exponencial com tendência	0,00906	0,00096	0,00164	0,11104	1,20056
Suavização exponencial com sazonalidade	0,00827	0,00116	0,00135	<b>0,05832</b>	1,00761
Suavização exponencial com tendência e sazonalidade	0,00908	0,00097	0,00160	0,07797	1,09441
Régressão linear	0,00731	0,00094	0,00123	0,08927	0,99188
Régressão linear com sazonalidade	0,00729	0,00096	<b>0,00112</b>	0,06589	0,90324

Uma comparação entre as melhores técnicas de cada grupo revela que não há nenhuma que seja indicada para todos os grupos: para o Grupo A é recomendada a média móvel com sazonalidade ( $k = 4$  meses), para o Grupos B aconselha-se a média móvel com sazonalidade ( $k = 12$  meses), para o Grupo C indica-se a utilização da regressão linear com sazonalidade e para o Grupo D sugere-se a suavização exponencial com sazonalidade.

Contudo, por causa das características especificadas para a metodologia final que será implementada, é inviável a aplicação de modelos diferentes para cada grupo,

sendo necessária uma reavaliação dos erros para a escolha do que melhor se enquadra em todos os grupos.

Para isso, foi realizada inicialmente uma normatização de todos os erros, ou seja, dividiu-se o valor de cada um pela média dos erros obtidos por grupo, nos diversos modelos. A partir disso, todos os valores passaram a estar apresentados sob uma mesma base de cálculo, onde o erro calculado refere-se não mais à precisão do modelo, mas ao quanto este é melhor quando comparado com os outros. Assim, com base na menor média de erros de cada um dos modelos, avaliou-se qual era a melhor opção. Os resultados da normatização estão apresentados na Tabela 12.

Após esse procedimento, verificou-se que a melhor alternativa é a aplicação da média móvel com sazonalidade ( $k = 8$  meses).

Uma análise detalhada das características dessa técnica mostrou as vantagens e deficiências presentes na mesma. Uma vantagem da aplicação da média móvel é que esta consegue, devido à sua forma de cálculo, contemplar as variações que podem ocorrer nas porcentagens, ou seja, se um grande cliente se transfere para outra região, após  $N$  períodos (valor igual à quantidade de períodos que é utilizada na média móvel), o próprio modelo já considerará tal mudança, uma vez que sempre avalia os cenários mais atuais. Uma desvantagem encontrada é que, como se emprega uma mobilidade de 8 meses no cálculo, este modelo só considerará uma mudança no cenário após esse período de testes sendo que, durante o mesmo, fornecerá estimativas erradas.

Desse modo, dado o alto número de casos a serem estimados após a implementação da metodologia, decidiu-se fazer o uso do modelo de médias móveis com sazonalidade com  $k$  igual a 4 meses, já que este possui a mesma vantagem do caso anterior e minimiza a desvantagem apresentada pelo mesmo.

Sabe-se que este modelo foi testado e ficou apenas como a quarta melhor opção, porém decidiu-se aplicá-lo porque os modelos com resultados melhores apresentam a mesma deficiência descrita anteriormente.

Com a seleção da técnica, é possível calcular, junto com ao plano de expedição já elaborado pela empresa, o volume total que será expedido na semana. Apesar de

que, como o problema requer a demanda por transporte, é necessário converter esse volume em quantidade de veículos. Para isso, será apresentado no item seguinte, um estudo do peso dos perfis de veículo selecionados para se obter um fator que efetuará essa conversão.

#### **4.8 Estimando o peso por veículo**

Para o carregamento de um veículo é necessário respeitar dois fatores de capacidade: volume e peso. Se uma carga atingir a capacidade de peso do veículo, mas não ocupar todo o volume do mesmo, este possuirá ociosidade de volume. Entretanto, se a carga contiver produtos com menor densidade, esta alcançará a capacidade de volume do veículo e ficará com um peso inferior ao possível de ser carregado. Essas restrições fazem com que, na formação de carga de um veículo, sejam utilizados pesos diferentes para um mesmo perfil.

Assim, para transformar o volume estimado em números de veículos, é necessário calcular um fator que determine qual o peso transportado pelos mesmos. Este pode variar conforme o CD de origem ou o cliente do carregamento, pois é a densidade dos produtos solicitados que determina a restrição de capacidade a ser atendida.

A forma mais imediata para se estimar esse fator seria aplicar a média de peso dos carregamentos e assumir essa como a medida do veículo. Para que isso aconteça, é recomendável que as tonelagens utilizadas sigam uma distribuição normal, pois, nesse caso, a média representa o valor de maior ocorrência.

Para verificar a presença de tal distribuição, será traçado um histograma com os pesos dos carregamentos realizados durante o período coletado (Gráfico 13). É importante ressaltar que os dados da semana C5 não foram considerados.

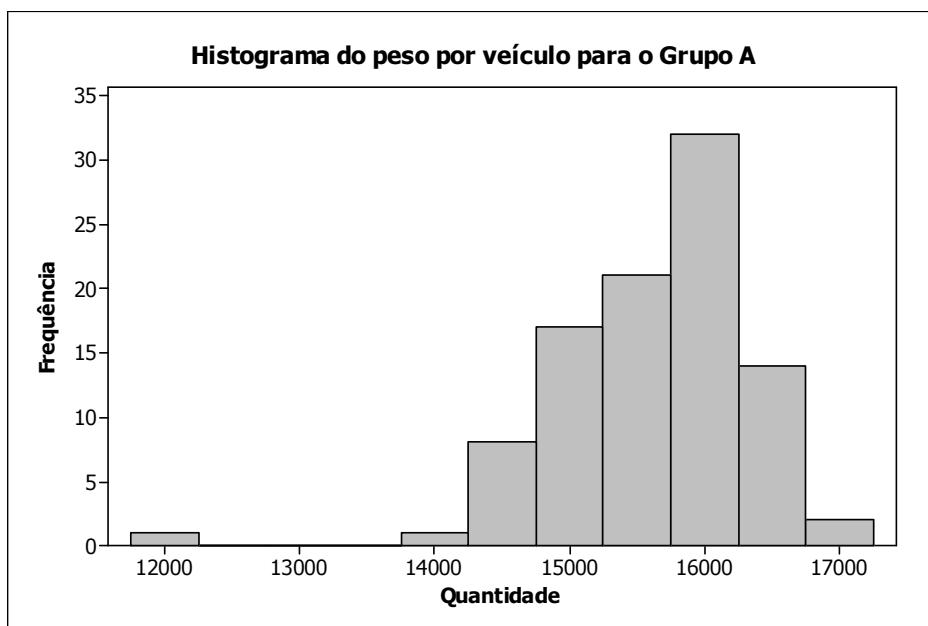


Gráfico 13 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo A

O histograma traçado indica que os pesos do veículo do Grupo A estão agrupados perto do valor de 16.000 toneladas e, pelo formato do gráfico, ainda é possível verificar que esses dados não seguem uma distribuição normal. Para comprovar essa hipótese, será aplicado, através do software Minitab 15, o teste de normalidade, o qual afirma que, se o valor de  $p$  encontrado for maior que o nível de significância  $\alpha$  considerado, os dados podem ser aproximados por uma distribuição Normal. O Gráfico 14 apresenta o teste e o valor de  $p$ .

Como pode ser observado nesse gráfico, o valor de  $p$  obtido no teste é menor que 0,5%, e portanto, adotando um valor de  $\alpha$  igual a 5%, pode-se concluir que os dados não seguem uma distribuição Normal. Dessa forma, não é possível utilizar a média dos pesos no cálculo de transformação.

A interpretação dos resultados dos outros grupos apontou que, somente para o Grupo B, onde o valor de  $p$  é igual a 0,49, considera-se a existência da distribuição normal. O Grupo C, com um valor de  $p$  igual a 0,09, não será considerado como adepto a essa distribuição, pois possui valor muito próximo ao nível de significância avaliado.

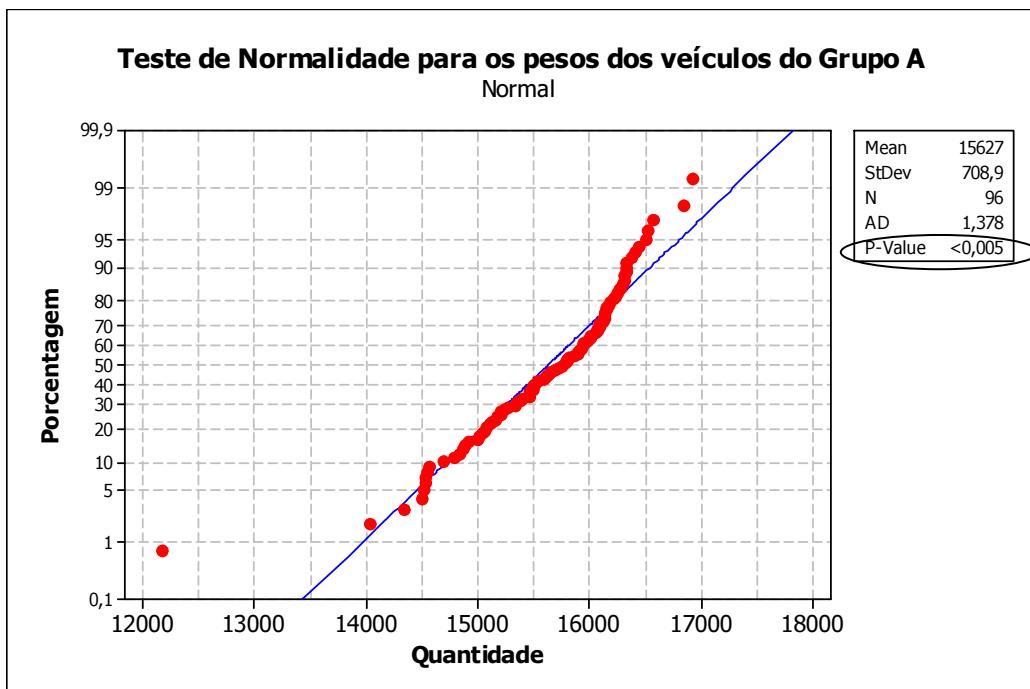


Gráfico 14 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo A

Nesse sentido, como não foi possível confirmar a normalidade dos dados, foi proposta uma alternativa na qual se utiliza a média de cada uma das semanas ao invés da correspondente ao mês inteiro.

Com a análise realizada na seção 4.6, foi possível perceber que há uma diferença nos volumes transportados em cada semana e, consequentemente, deve existir também uma discrepância nos pesos das cargas. Portanto, para comprovar essa suposição, foi decidido aplicar a Análise de Variância nas tonelagens transportadas para cada semana.

Segundo Ramos (2008), a análise de variância pode ser utilizada para verificar se as médias de amostras diferentes são iguais, desde que as populações sejam homocedásticas. Para provar essa hipótese em dados que não seguem a distribuição Normal, Almeida; Elian e Nobre (2008) declaram que se pode empregar o teste de Levene. O Gráfico 15 apresenta o resultado do teste obtido através do software Minitab 15.

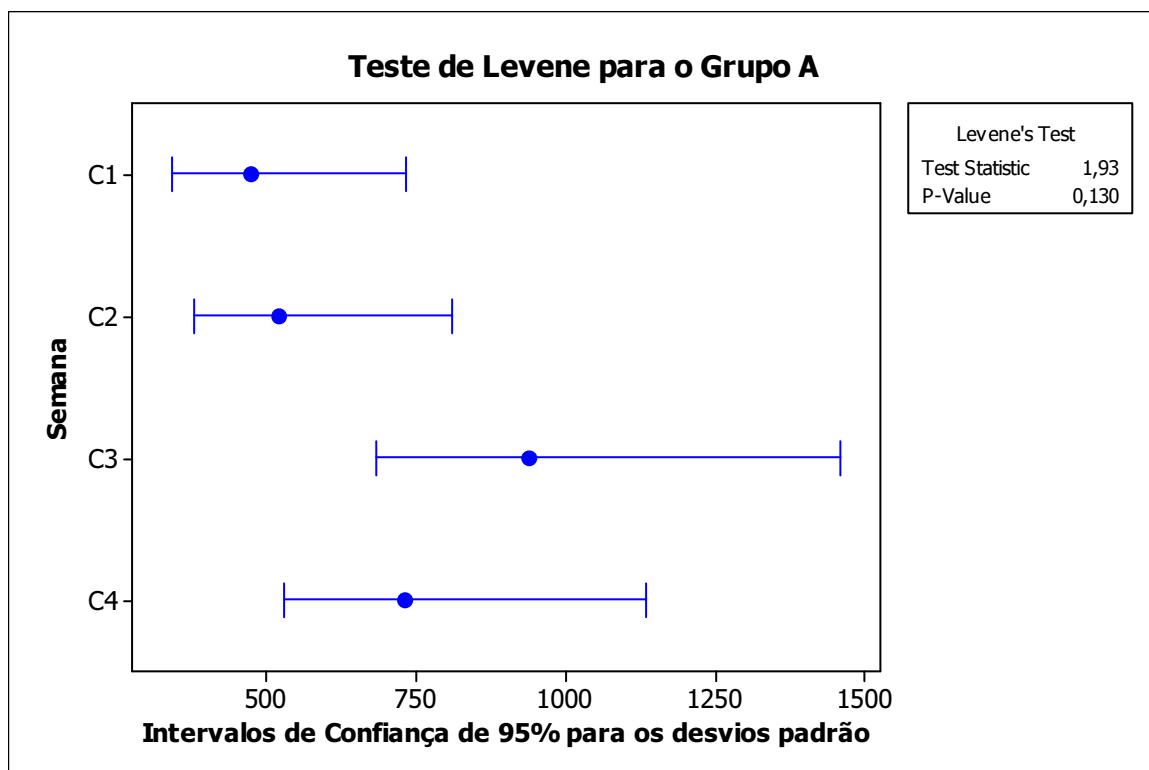


Gráfico 15 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo A

O valor de  $p$  calculado através desse teste é 0,130, apontando que para um valor de  $\alpha$  de 5%, as variâncias podem ser consideradas iguais. Neste ponto, uma vez atendida a hipótese essencial da análise de variância é possível aplicá-la para verificar se as médias são diferentes. O resultado desta encontra-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo A

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
C1	24	379.814	15.826	223.722
C2	24	379.676	15.820	273.114
C3	24	370.612	15.442	884.392
C4	24	370.109	15.421	534.561

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3.675.317	3	1.225.106	2,558	0,060	2,704
Dentro dos grupos	44.063.151	92	478.947			
Total	47.738.468	95				

A análise de variância apresenta como resultado um valor de  $p$  igual a 0,06, o qual é muito próximo ao valor de igual a 5%. Assim, não é possível afirmar com confiança que as médias das semanas C1, C2, C3 e C4 são iguais.

Entretanto, uma comparação das médias das semanas revela que C1 e C2, assim como C3 e C4 possuem médias muito próximas, o que leva ao indício de que se podem utilizar valores de pesos iguais para esses pares de semanas. Para comprovar essa suposição, repetiu-se o teste de Levene e a análise de variância para cada um dos pares. Os gráficos e tabelas desses podem ser visualizados no Apêndice e um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Teste de Levene e Análise de Variância para os pares de semana do Grupo A

	Valor de $p$ (considerar $\alpha=5\%$ )	
	Teste de Levene	Análise de Variância
Semanas C1 e C2	0,776	0,968
Semanas C3 e C4	0,954	0,932

Os resultados obtidos com esses testes (Tabela 14) demonstram que os valores de  $p$  encontrados para cada par de semanas é maior do que o valor de  $\alpha$  e, dessa forma, as variâncias de C1 / C2 e C3 / C4 podem ser consideradas iguais. Além do mais, os valores de  $p$  obtidos na análise de variância são muito maiores que na situação anterior – acima de 90% – o que permite assumir médias iguais em cada caso avaliado.

Quando esses testes são aplicados para os demais grupos de dados, verifica-se que os três grupos são homocedásticos (Tabela 15) e que as médias dos Grupos B e C podem ser consideradas iguais, pois os seus respectivos valores de  $p$  são maiores do que o nível de significância de 5%. Já quando avalia-se os resultados do Grupo D, constata-se que o valor de  $p$  igual a 0,07% é muito menor do que 5%, revelando que as médias são diferentes. Porém, ao contrário do que foi apresentado no Grupo A, não é possível avaliar, para esse último, a proximidade das médias entre as semanas. Nesse caso, recomenda-se utilização do valor médio de cada uma para os dados do Grupo D.

Tabela 15 – Valores de p do Teste de Levene e da Análise de Variância para os Grupos B, C e D

	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Teste de Levene	0,835	0,480	0,182
Análise de Variância	0,165	0,499	0,001

A Tabela 16 exibe um resumo dos valores que serão empregados para cada grupo na semana correspondente, e a função destes é converter o volume estimado em quantidades de cargas.

Tabela 16 - Valor dos pesos a serem utilizados em cada grupo

	C1	C2	C3	C4
Grupo A	15.824	15.824	15.432	15.432
Grupo B	4.484	4.484	4.484	4.484
Grupo C	4.487	4.487	4.487	4.487
Grupo D	33.590	32.687	32.161	31.422

#### 4.9 Avaliação da demanda diária

Como na seção 4.6.1 foi demonstrado que a semana C1 possui uma maior concentração de vendas, será avaliada neste capítulo – com o objetivo de verificar a existência de alguma diferença significativa –, a demanda diária da mesma. Caso seja comprovada a sua significância, será proposta uma metodologia para a previsão da demanda de cada dia na última semana.

Para esse estudo, aplicou-se os testes de Levene e Análise de Variância na representatividade do dia da semana em relação ao volume expedido pela mesma. O valor de p obtido no primeiro (Gráfico 41 - Apêndice) foi de 0,663 e, quando comparado com um valor de  $\alpha$  de 5%, revela que os dias da semana para o Grupo A

são homocedásticos. Uma vez comprovada essa premissa, fez-se o uso da análise de variância, cujo resultado pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17 - Análise de Variância para os dias da semana C1 no Grupo A

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Dom	20	2,4518	0,1226	0,0040		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,1834	6	0,0306	4,9895	0,0001	2,1579
Dentro dos grupos	0,9435	154	0,0061			
Total	1,1269	160				

O resultado da Análise de Variância é um valor de p igual a 0,01%, o qual é menor que os 5% considerado como valor de  $\alpha$ . Dessa maneira, é relevante o estabelecimento de uma metodologia que divida a estimativa da última semana.

Em relação aos outros grupos, a Tabela 18 descreve um resumo dos seus resultados. Através desta, é possível verificar que uma vez comprovada a igualdade das variâncias (Teste de Levene), não se pode afirmar que as médias são diferentes, dado que os valores de p calculados são superiores ao  $\alpha$  considerado. No caso do Grupo D, será executada a previsão de demanda diária, pois o valor de p encontrado é próximo dos 5%.

Tabela 18 - Resultados do Teste de Levene e Análise de Variância para a demanda diária dos Grupos B, C e D

	Valores de p (considerar $\alpha = 5\%$ )	
	Teste de Levene	Análise de Variância
Grupo B	0,885	0,688
Grupo C	0,845	0,464
Grupo D	0,742	0,071

#### 4.9.1 Metodologia para a demanda diária

Uma forma de calcular a demanda diária é estimar a participação histórica de cada dia em relação ao volume semanal previsto e aplicar essa participação sobre a previsão da semana. Todavia, como o plano de expedição realizado pela empresa possui a estimativa diária, foi decidido que para esse cálculo, será empregada a mesma metodologia usada para as semanas, ou seja, multiplica-se a porcentagem histórica da combinação selecionada na última semana pela estimativa de expedição diária. Depois, converte-se o volume estimado em quantidades de veículos segundo os fatores apresentados para a semana C1.

Apresentada essa metodologia, vale ressaltar que a mesma não foi aplicada para todos os dias do mês, pois as variâncias que se obteriam com a previsão diária seria maior que a obtida com a previsão semanal, resultando em um erro maior do que o requisitado.

#### 4.10 Avaliação do modelo de previsão

Após todo o detalhamento do modelo de previsão, é necessário avaliar a precisão que o mesmo proporciona. Apesar de já ter sido realizada uma mensuração durante a escolha da técnica de previsão, esta será desconsiderada nesta etapa, pois deseja-se examinar o erro obtido na quantidade de viagens previstas. Assim, serão calculados, para os dados referentes ao primeiro semestre de 2010, os erros do tipo MSE e MAPE.

Sabe-se que um intervalo de tempo mais abrangente proporcionaria melhor avaliação do modelo, mas foi aplicado somente esse semestre, já que a empresa só tinha disponível o histórico dos planos de expedição referentes a este período.

O Gráfico 16 apresenta, para o tempo selecionado, a estimativa e os valores reais da quantidade de cargas, bem como o erro MAPE obtido em cada uma das semanas do Grupo A.

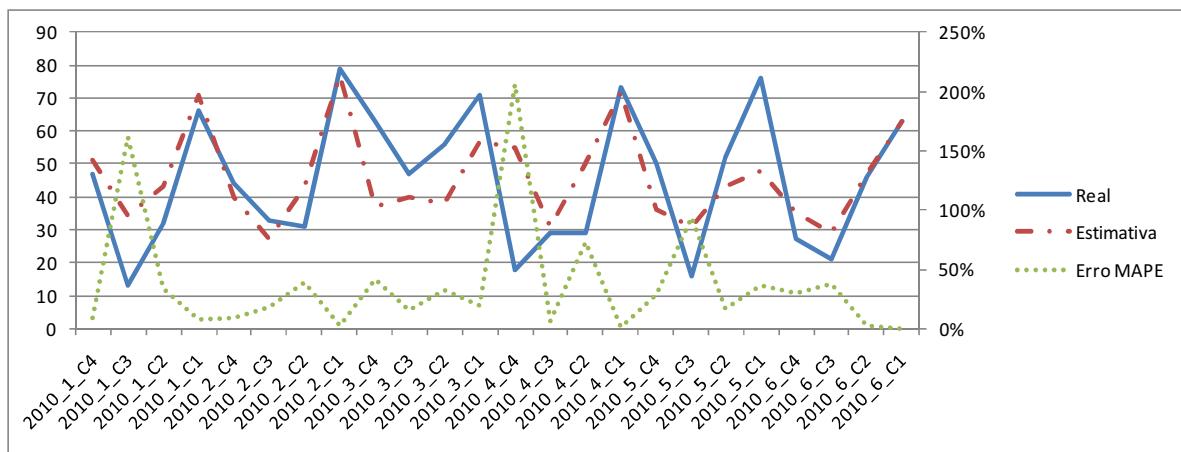


Gráfico 16 - Comparação entre estimativas semanais e valores reais de viagens para o Grupo A

Os erros de previsão MAPE e MSE obtidos para o grupo A foram, respectivamente, de 38% e 18,62. Assim, apesar do valor do primeiro ser superior ao requisitado (35%), o modelo será considerado válido, pois como pode ser observado no gráfico, o mesmo apresentou resultados satisfatórios na semana C1 – período mais crítico devido a inferioridade da oferta em relação a demanda.

Uma vez avaliada a precisão da demanda semanal, é importante verificar a acuracidade da demanda diária na semana C1, a qual será efetuada segundo o procedimento anterior. O Gráfico 17 apresenta a comparação entre as estimativas e valores reais desse período.

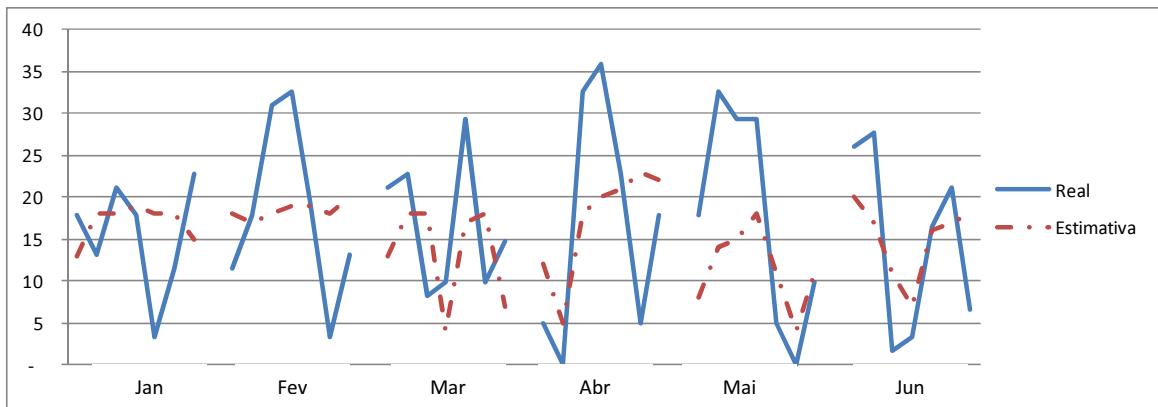


Gráfico 17 - Comparaçao entre estimativas diárias e valores reais de viagens do Grupo A

Uma análise do Gráfico 17 indica que conforme se aumenta o nível de detalhe da previsão, o erro fica maior. Nesse caso, os erros MAPE e MSE foram, respectivamente, de 91% e 7,12, o que indica a inviabilidade da aplicação desse procedimento para a realização da previsão diária.

Os resultados alcançados para os demais grupos encontram-se resumidos na Tabela 19, enquanto que os gráficos podem ser visualizados no Apêndice.

Tabela 19 - Erros obtidos nas estimativas para os Grupos B, C e D

Grupos	Previsão semanal		Previsão diária	
	MAPE	MSE	MAPE	MSE
Grupo B	-	2,36	-	-
Grupo C	-	1,47	-	-
Grupo D	38%	14,01	62%	9,41

Como os Grupos B e C possuem, segundo a classificação de Pareto, baixa demanda de veículos – sendo nula em algumas semanas – não foi possível

mensurar o erro através da medida MAPE (quando o valor real é nulo, o erro é infinito). Por esse motivo, optou-se por utilizar, para esses casos, uma avaliação mútua com o valor do erro MSE e a distribuição da demanda ao longo do tempo, pois a atribuição isolada do MSE poderia levar a uma previsão inadequada no caso desse valor ser maior que a estimativa (por exemplo, um erro de 2 cargas quando comparado com uma estimativa de 1).

Nessa perspectiva, pode-se afirmar que esse modelo de previsão não apresenta resultados suficientes para os Grupos B e C. Já o Grupo D, possui o mesmo cenário do Grupo A, ou seja, valor do MAPE superior à condição exigida, mas com resultados aceitáveis para a semana C1. Por fim, a avaliação da demanda diária em todos os casos implicou na mesma conclusão apresentada no Grupo A.

## 5 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

No capítulo anterior foram realizadas diversas análises com o objetivo de propor uma metodologia de planejamento de transporte. Para a validação desta, Makridakis; Wheelwright e Hyndman (1998) recomendam que sejam aplicados dois tipos de avaliações: análise da precisão do modelo e implementação do projeto piloto. Este último tem o intuito de verificar o desempenho da técnica nas estimativas de casos reais e só pode ser empregado se o primeiro fornecer resultados apropriados.

A avaliação da precisão foi realizada no item anterior e mostrou que a maioria dos resultados encontrados não atendem satisfatoriamente a todas as requisições estabelecidas inicialmente: os grupos A e D apresentaram previsões apropriadas somente para as semanas C1 (onde há uma concentração maior nas vendas), enquanto que os grupos B e C resultaram em estimativas inadequadas.

Assim, um estudo da eficiência dos resultados dos grupos A e D, na semana C1, foi realizado com o propósito de entender as suas principais características e verificar se as mesmas poderiam ser adaptadas, para então serem incorporadas nos demais dados. Este revelou que o alto nível de precisão desses dados é consequência da superioridade no volume de vendas, a qual implica em variações menores. Já a semana C1 é a que manifesta a estimativa mais apropriada, pois como o plano de expedição mensal é atualizado semanalmente, há para a última semana do mês a melhor previsão de vendas da empresa.

A partir dessas conclusões, é possível afirmar que as mesmas não podem ser incorporadas nas demais rotas, pois no caso do volume transportado, este não é passível de alteração, enquanto que a atualização semanal já é realizada para todas as rotas.

Nesse sentido, dado que a semana C1 é a que apresenta a maior necessidade da execução de um planejamento de transportes (devido ao seu volume e a quantidade da incidência de falhas), foi decidido realizar um projeto piloto para as rotas que

possuem grande número de pedidos (Grupos A e D). Apesar do resultado ser adequado somente na semana C1, foi decidido realizá-lo em todos os períodos, pois, dessa forma, os usuários podem ter um melhor acompanhamento da variação da demanda ao longo do mês e fazer uso dessa informação na previsão da última semana do mesmo.

A implantação do projeto piloto foi aplicada ao longo dos meses de julho a outubro de 2010 e consistiu em duas etapas: processo de cálculo das estimativas e planejamento das operações. Os cálculos foram realizados através da integração entre os softwares MS Access e MS Excel, sendo que o primeiro armazenava todas as informações necessárias para calcular a participação da rota Cliente / Veículo em cada CD e o segundo efetuava os cálculos e possuía a interação com o usuário. Já o planejamento das operações baseia-se em reuniões internas e com as transportadoras.

A estimativa foi executada, conforme a abordagem 3 do item 4.2, através do software MS Excel, no qual utilizaram-se 4 planilhas: uma tela principal que efetuou e apresentou as estimativas (Figura 10) e outras três planilhas em que eram armazenadas as cópias dos resultados finais do MS Access das informações referentes à estimativa de expedição de cada CD, peso transportado por perfil de veículo e representatividade da combinação Cliente / Veículo.

Uma vez disponibilizada as previsões, estas eram verificadas através de uma reunião interna e, após validadas, eram encaminhadas para as transportadoras de acordo com as suas respectivas porcentagens de participação firmadas para a combinação Cliente / Veículo analisada.

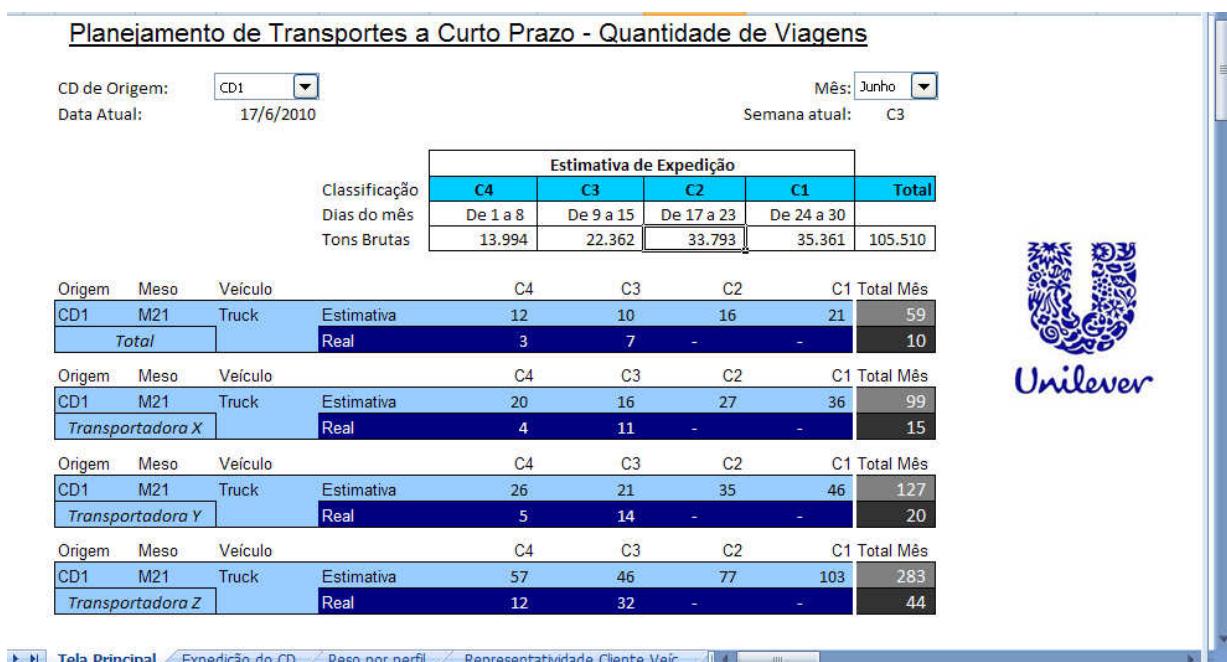


Figura 10 - Layout da Planilha do Projeto Piloto

O acréscimo de mais uma variável de estimativa (transportadoras) resultou em uma maior desagregação nas previsões, cuja precisão, conforme afirmado por Chopra e Meindl (2003), é menor. Desse modo, um resultado que já apresentava estimativas distorcidas dos valores observados, tornou-se ainda mais inadequado. Além disso, após algumas reuniões com as transportadoras, estas encontraram dificuldades em se programar com as previsões semanais que lhe eram fornecidas e solicitaram que fossem realizadas estimativas diárias para o planejamento. Contudo, um estudo para a aplicação da mesma já foi realizado e neste, foi detectado a inviabilidade de sua execução.

Nessa perspectiva, decidiu-se empregar a metodologia somente dentro da empresa para que a mesma tenha disponível uma visão da sua necessidade de transportes, de forma que quando detectar alguma diferença brusca na demanda, possa agir e contatar as transportadoras para a execução de planos de contingência que supram a estimativa.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor de transporte rodoviário possui, atualmente, uma lacuna entre a oferta e a demanda dos serviços das transportadoras. Essa tem mostrado às empresas a importância de um planejamento das suas necessidades, pois possibilita que as mesmas assegurem, junto com as transportadoras, o atendimento das requisições.

A ferramenta desenvolvida nesse trabalho possui a função de auxiliar a empresa analisada nessa tarefa. Através de uma metodologia que aplica técnicas de previsão de demanda e analisa a capacidade de cada veículo, buscou-se estimar as necessidades para a elaboração dos planos.

O desenvolvimento desse método mostrou ser uma tarefa complexa, visto que o mesmo abrange muitas variáveis. Isso acarretou na desagregação dos dados e, consequentemente, na perda de precisão das estimativas. Assim, os resultados não corresponderam às expectativas iniciais do trabalho.

Apesar disso, o modelo proposto ainda pode ser aplicado para as rotas que possuem alto volume. O projeto piloto revelou que, sob esta condição, a previsão pode ser utilizada pela empresa para acompanhar a demanda ao longo do mês e estabelecer planos de contingência quando necessário.

Para o aprimoramento dessa metodologia poderão ser desenvolvidas técnicas que considerem o comportamento de cada variável e agrupe os seus resultados de forma a obter maior precisão nas estimativas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A; ELIAN, S; NOBRE, J. **Modificações e alternativas aos testes de Levene e de Brown e Forsythe para igualdade de variâncias e médias.** Revista Colombiana de Estadística, v. 31, n. 2, p. 241-260, 2008.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão Logística de cadeias de suprimento.** São Paulo: Bookman, 2006.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação.** São Paulo: Prentice Hall, 2003.

FLEURY, P. F. **Transporte Rodoviário de Cargas: Perspectivas da Oferta e Demanda.** In: Centro de Estudos em Logística, 2008, Rio de Janeiro: UFRJ, 2008 p. sg-01. 1 CD-ROM.

HANKE, J. E.; REITSCH, A. G. **Business forecasting.** 6th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Crescimento do PIB brasileiro.** 2009. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 de nov. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mesorregiões e Microrregiões geográficas.** 2002. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 de nov. 2010.

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

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting: methods and applications.** 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, 1983.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Exportações brasileiras.** 2009. Disponível em:< <http://www.mdic.gov.br>>. Acesso em 13 de nov. 2010

**PLANEJAMENTO NACIONAL DE LOGÍSTICA E TRANSPORTE. Distribuição dos modais no Brasil.** 2005. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em: 13 de nov. 2010.

RAMOS, A. W. **Estatística II.** São Paulo: Epusp, 2008. 149 p. Apostila para disciplina de graduação do departamento de engenharia de produção, PRO 2711 – Estatística II.

RAMOS, A. W. **Ferramentas Básicas da Qualidade.** São Paulo: Epusp, 2003. 3 p. Apostila para disciplina de graduação do departamento de engenharia de produção, PRO 2712 – Controle da Qualidade.

SANTORO, M. C. **Planejamento, Programação e Controle da Produção.** São Paulo: Epusp, 2009. Apostila para disciplina de graduação do departamento de engenharia de produção, PRO 2415 – **Planejamento, Programação e Controle da Produção.**

SHAPIRO, J. F. **Modeling the Supply Chain.** Pacific Grove: Thomson Learning, 2001.

TIGERLOG. **Projetos em Transportes.** São Paulo: Tigerlog, 2008. 44 p. Apostila para formação de engenheiros logísticos.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística.** 9.ed.Rio de Janeiro: LTC, 2005.

UNILEVER. **Nossas Marcas.** Disponível em:<<http://www.unilever.com.br>>. Acesso em: 22 de ago. 2010.

## APÊNDICE – Gráficos e Tabelas Auxiliares

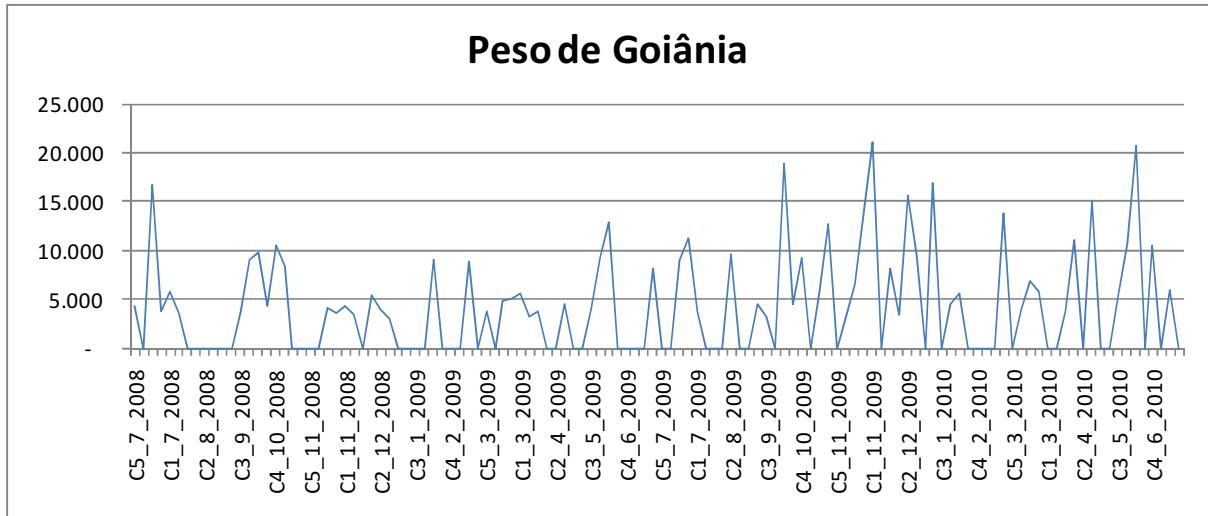


Gráfico 18 - Série temporal das vendas semanais para o Grupo B

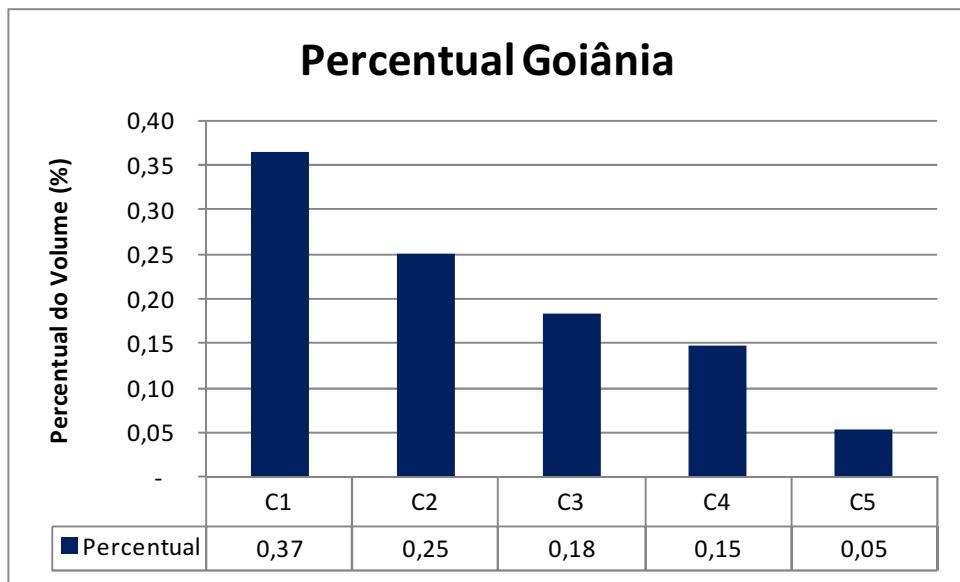


Gráfico 19 – Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas para o Grupo B

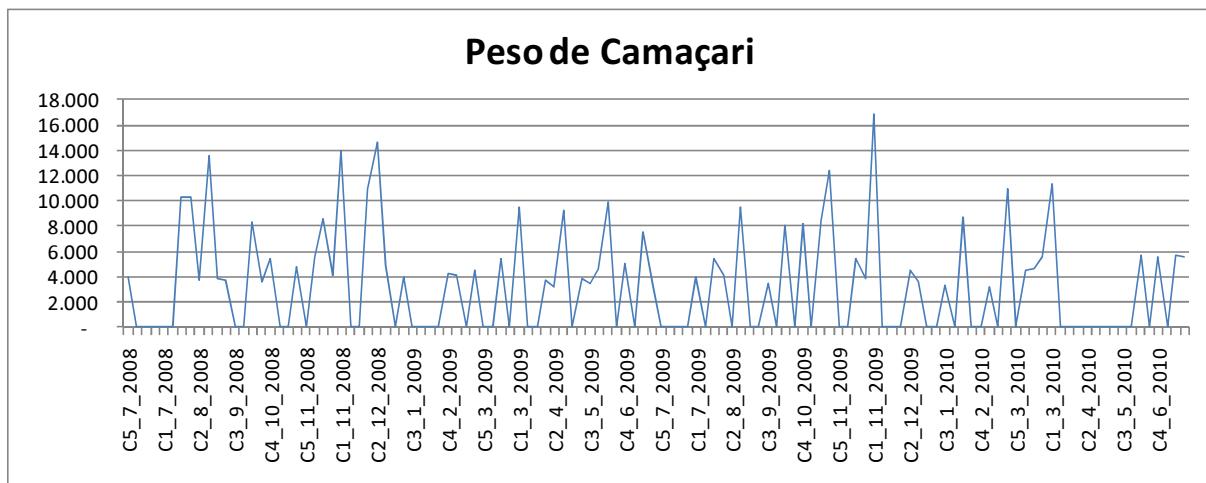


Gráfico 20 - Série temporal das vendas semanais para o Grupo C

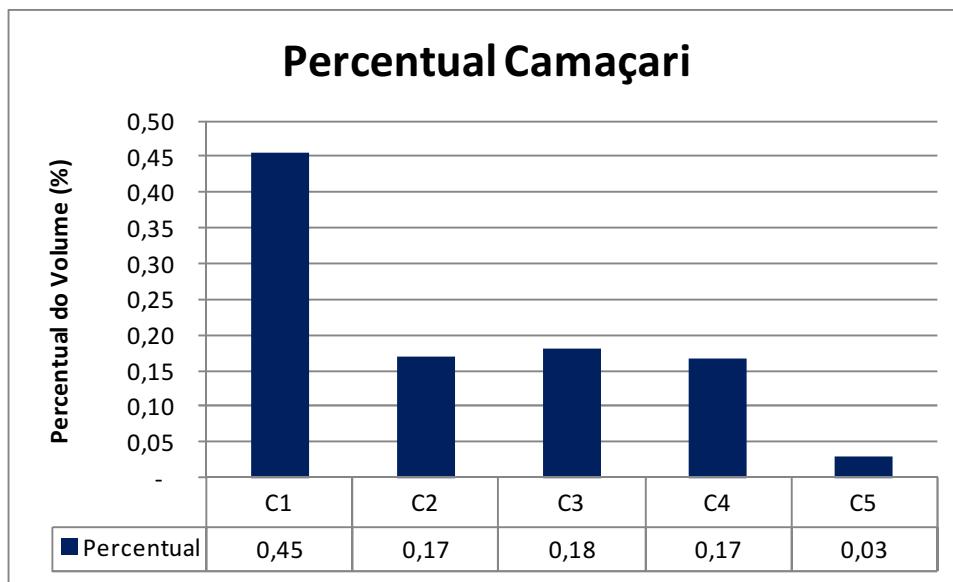


Gráfico 21 - Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas para o Grupo C

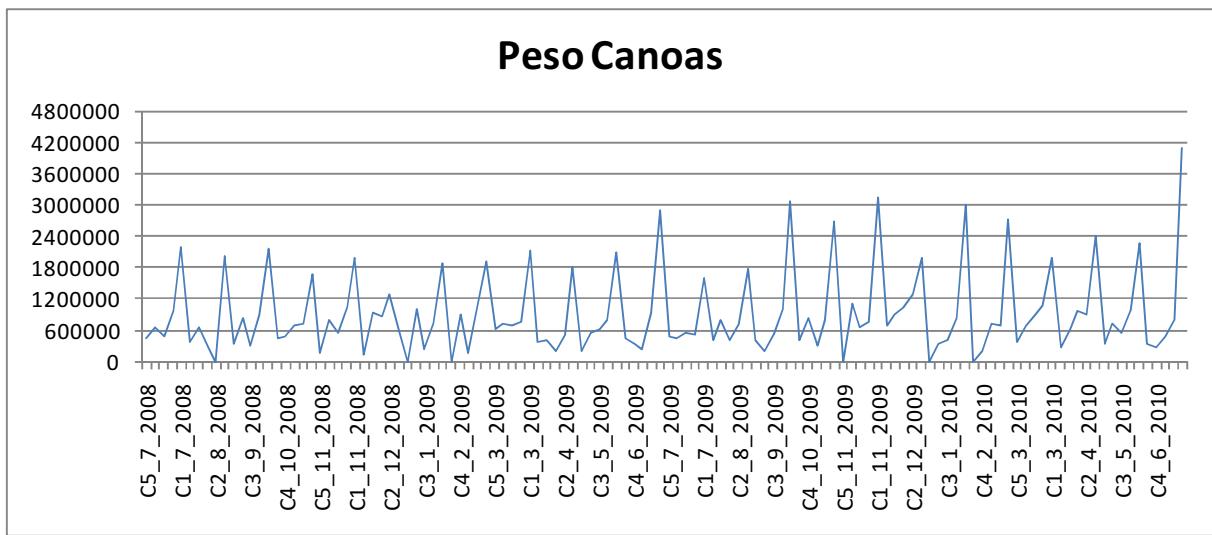


Gráfico 22 - Série temporal das vendas semanais para o Grupo D

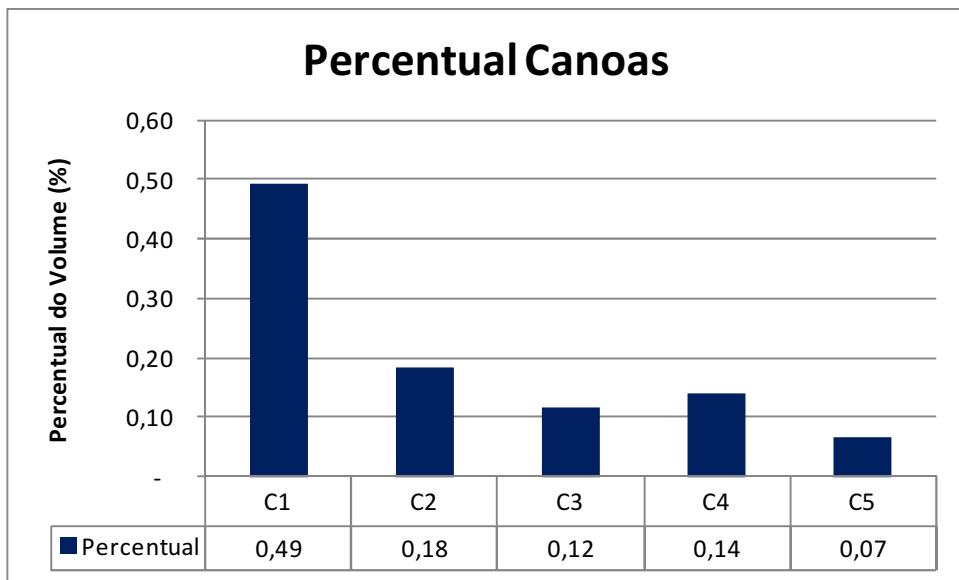


Gráfico 23 - Gráfico de barras da representatividade das vendas ao longo das semanas para o Grupo D

**Teste de Autocorrelação para a soma dos pesos de cada semana do Grupo B**  
 (limites de significância de 5% para o teste de autocorrelação)

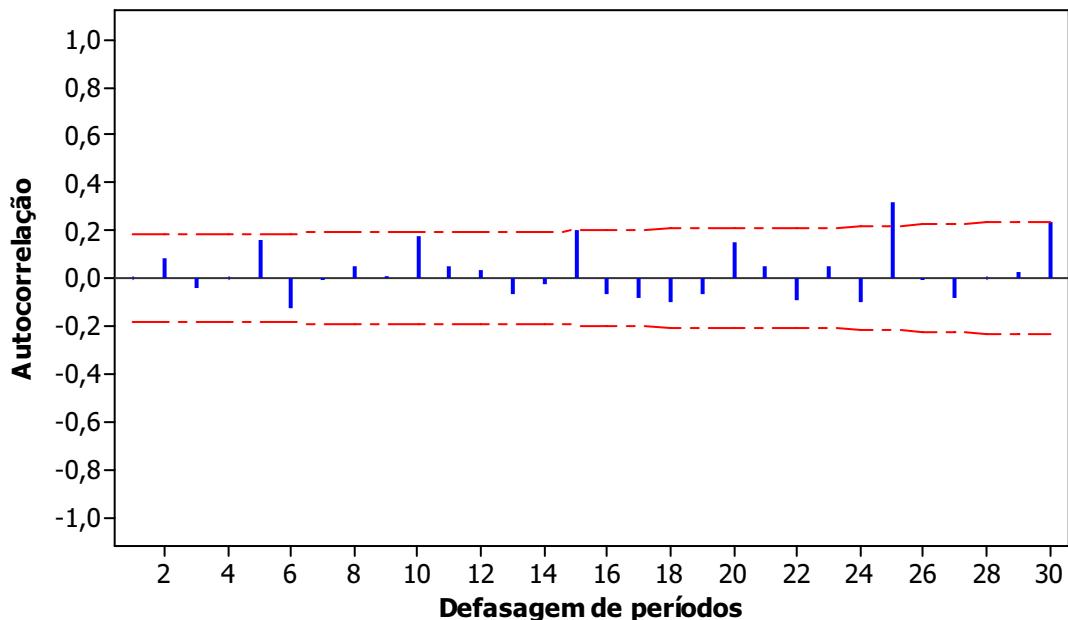


Gráfico 24 - Teste de Autocorrelação para os pesos semanais do Grupo B

**Teste de Autocorrelação para a soma dos pesos de cada semana do Grupo C**  
 (limites de significância de 5% para os teste de autocorrelação)

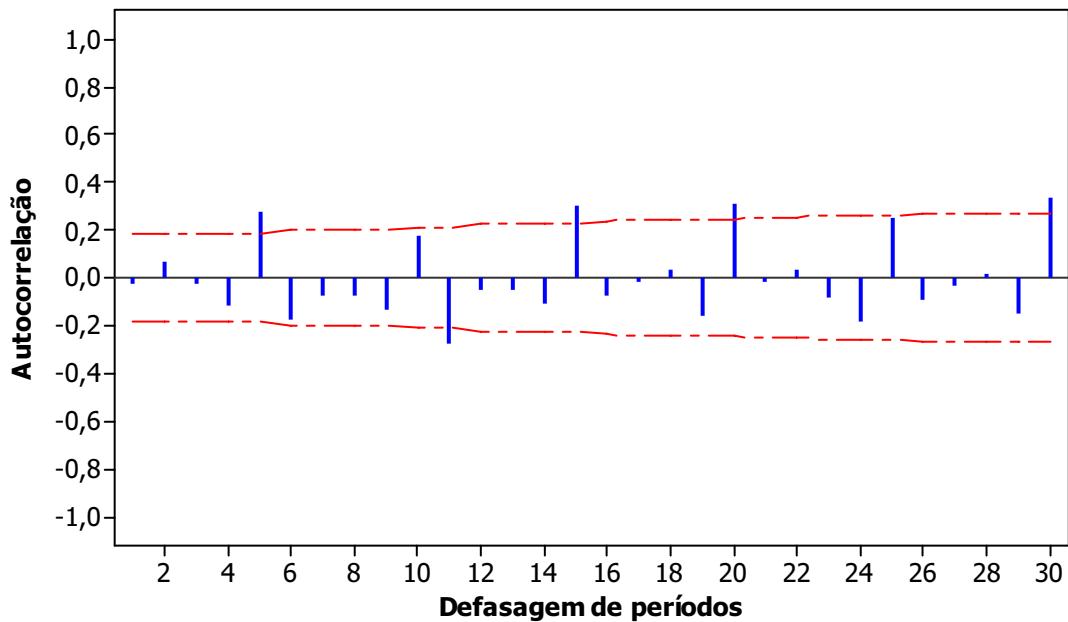


Gráfico 25 - Teste de Autocorrelação para os pesos semanais do Grupo C

**Teste de Autocorrelação para a soma dos pesos de cada semana do Grupo D**  
 (limites de significância de 5% para o teste de autocorrelação)

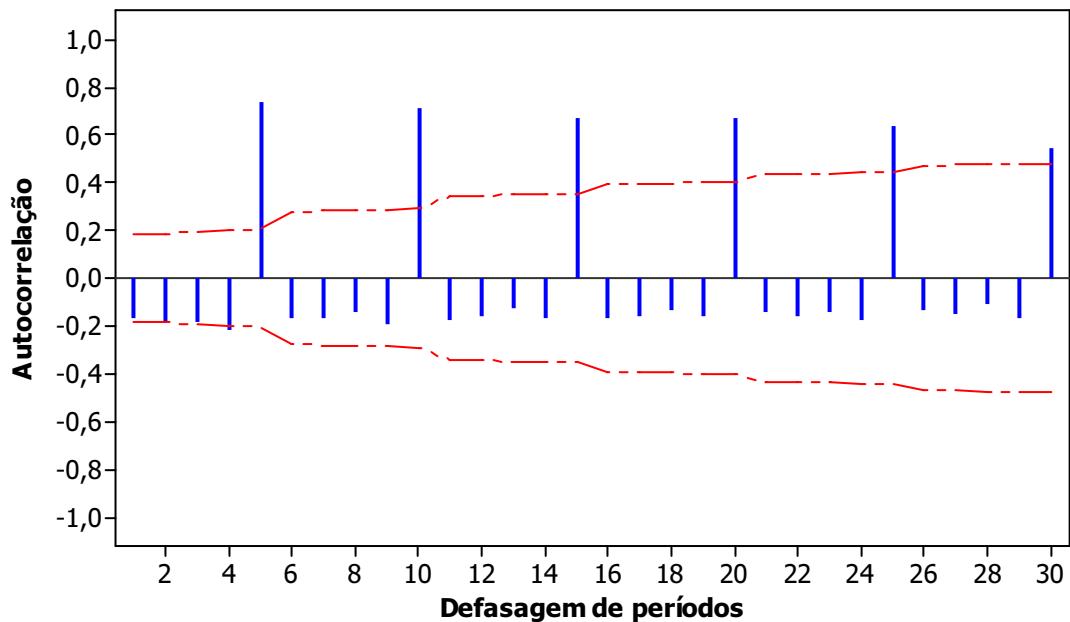


Gráfico 26 - Teste de Autocorrelação para os pesos semanais do Grupo D

**Teste de autocorrelação para a porcentagem dos dados do Grupo B**  
 (limite de significância de 5% para o teste de autocorrelação)

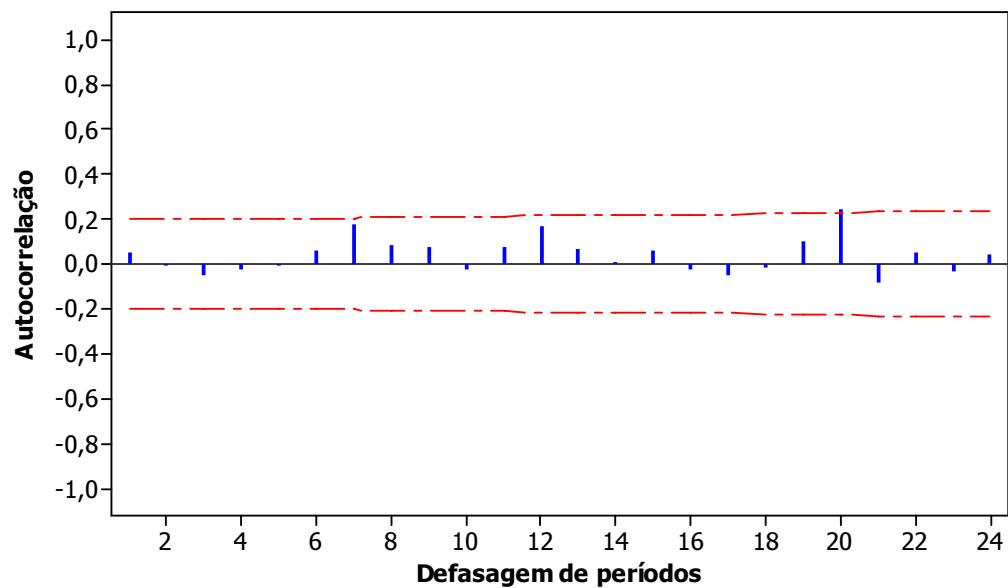


Gráfico 27 - Teste de Autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo B

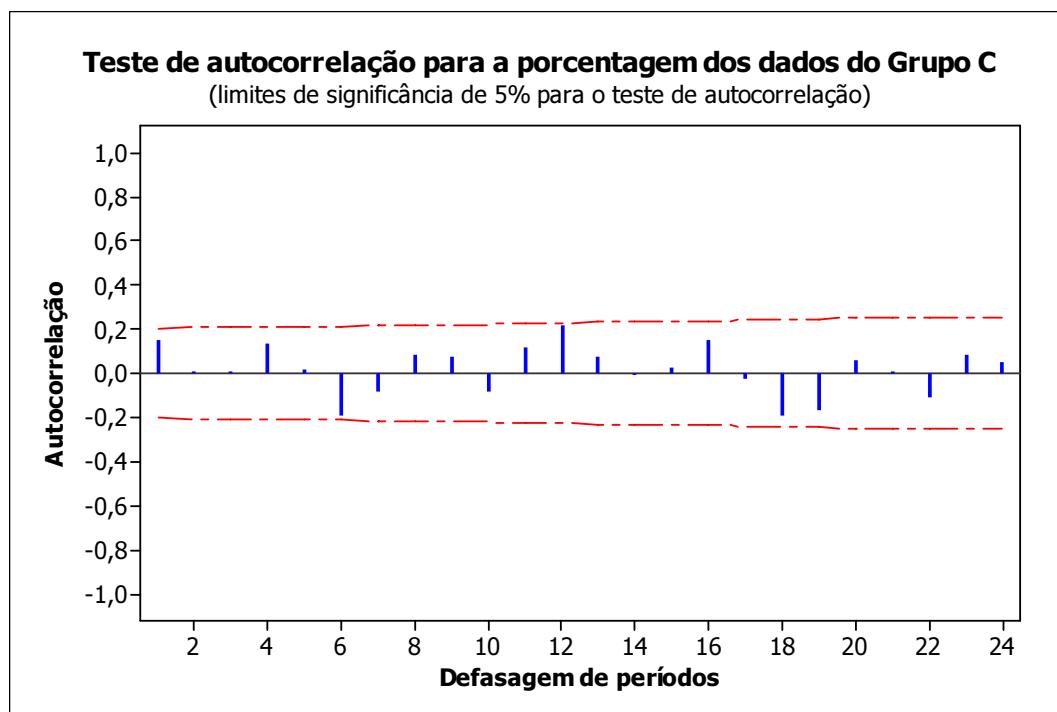


Gráfico 28 - Teste de Autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo C

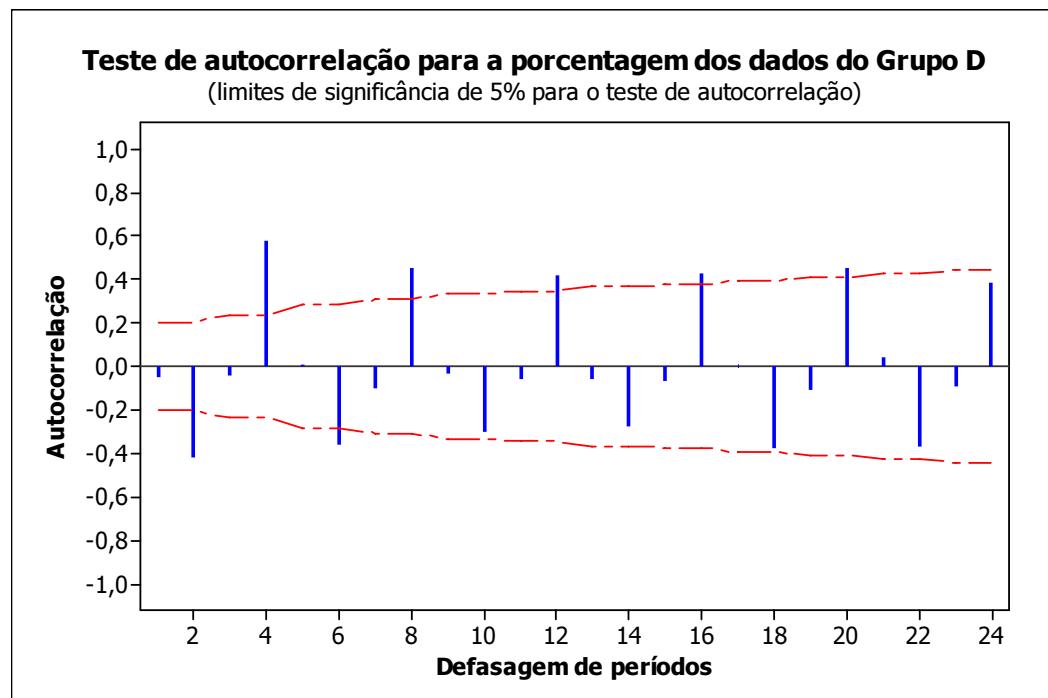


Gráfico 29 - Teste de Autocorrelação para a porcentagem de participação dos dados do Grupo D

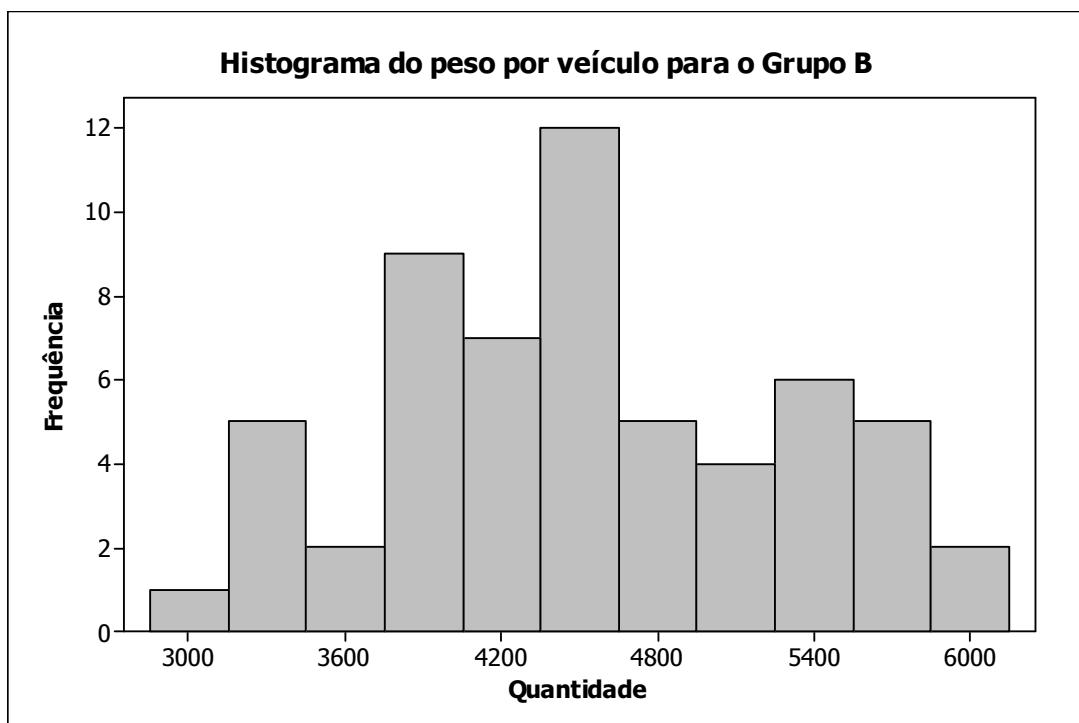


Gráfico 30 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo B

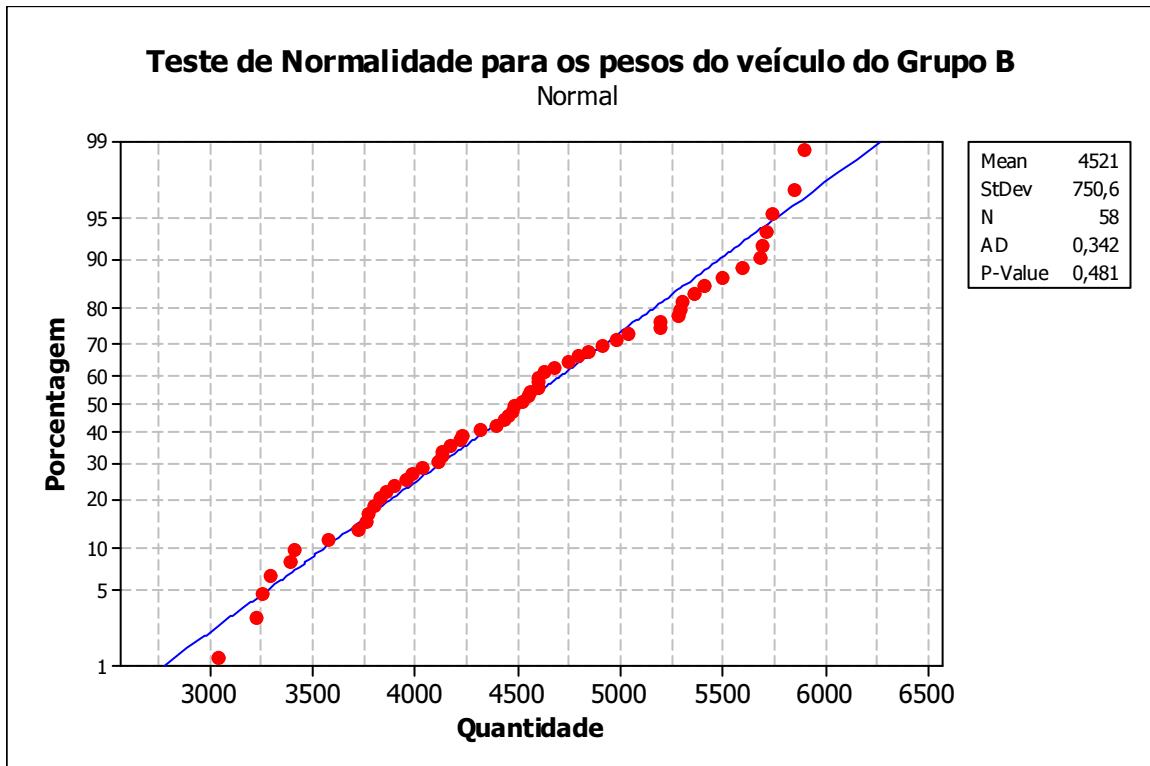


Gráfico 31 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo B

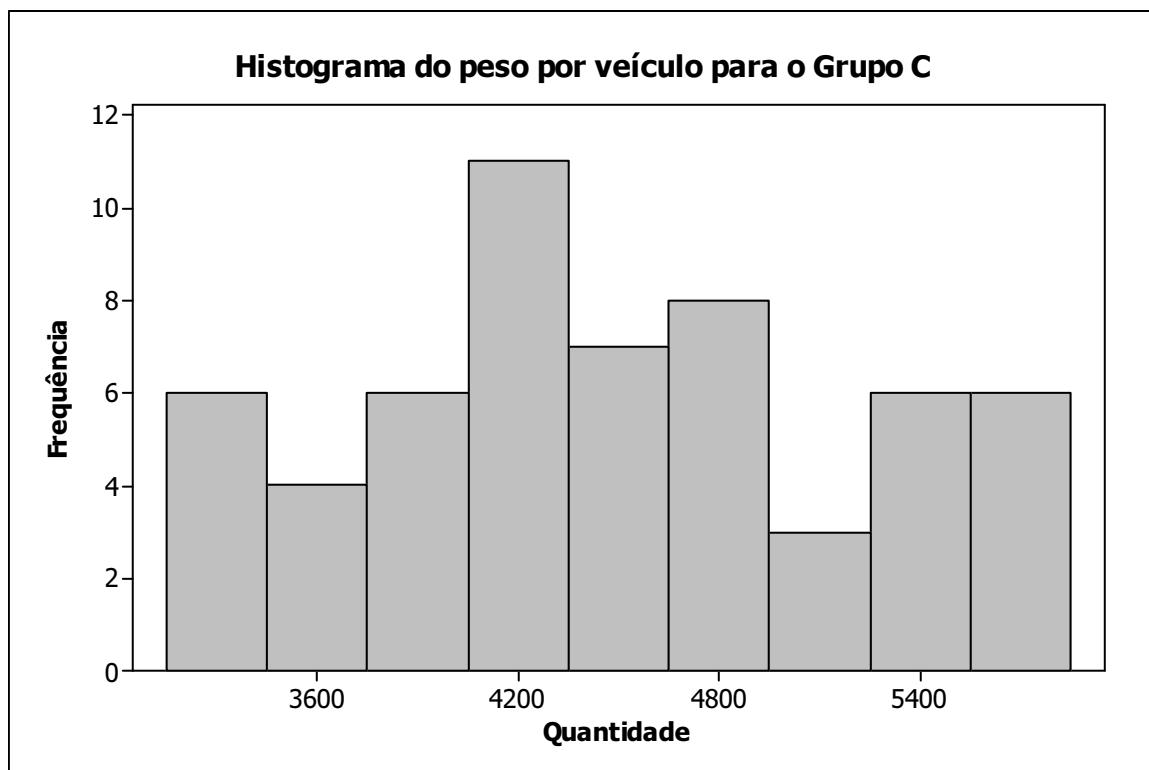


Gráfico 32 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo C

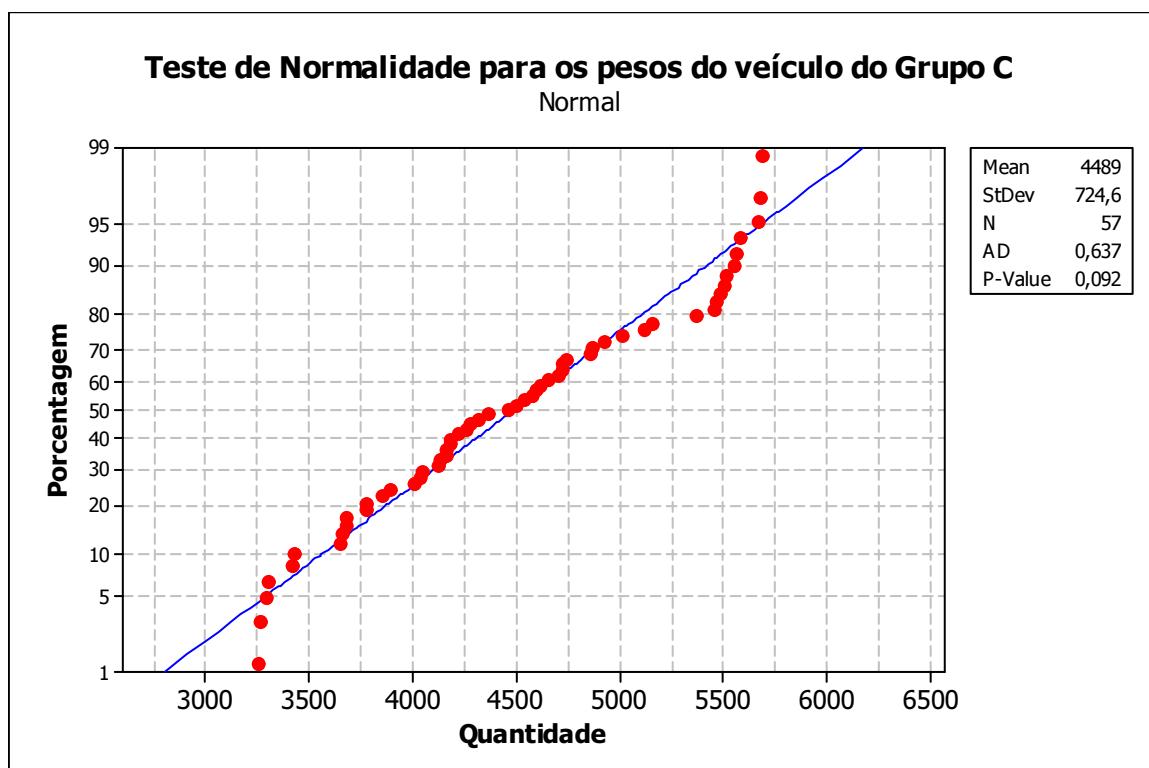


Gráfico 33 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo C

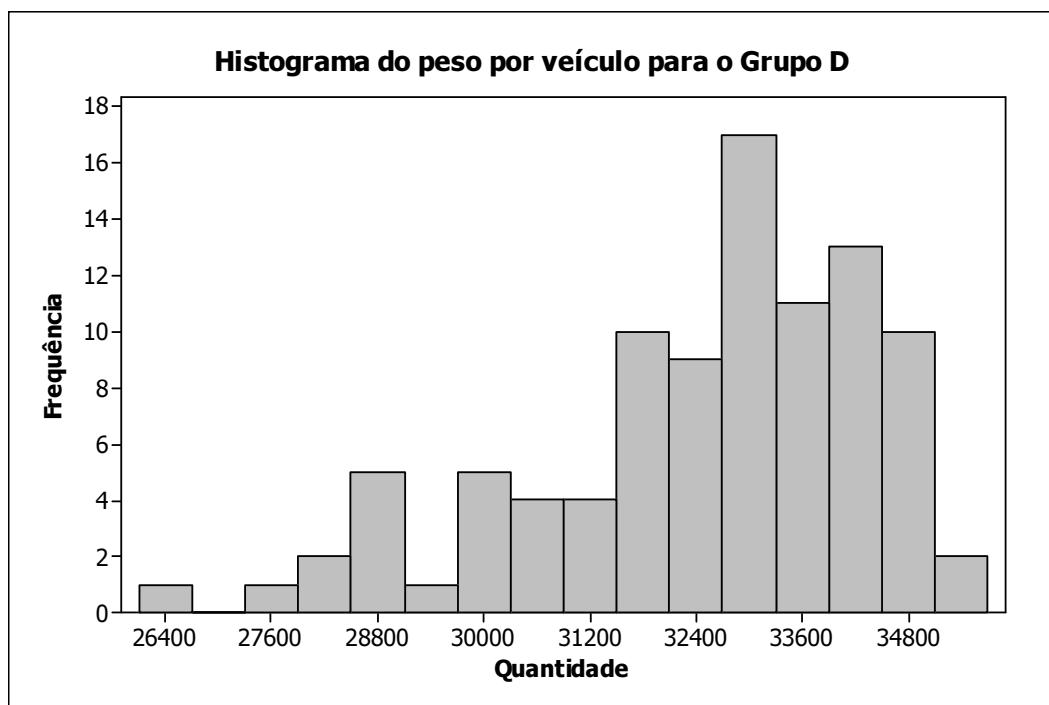


Gráfico 34 - Histograma do peso do veículo para os dados do Grupo D

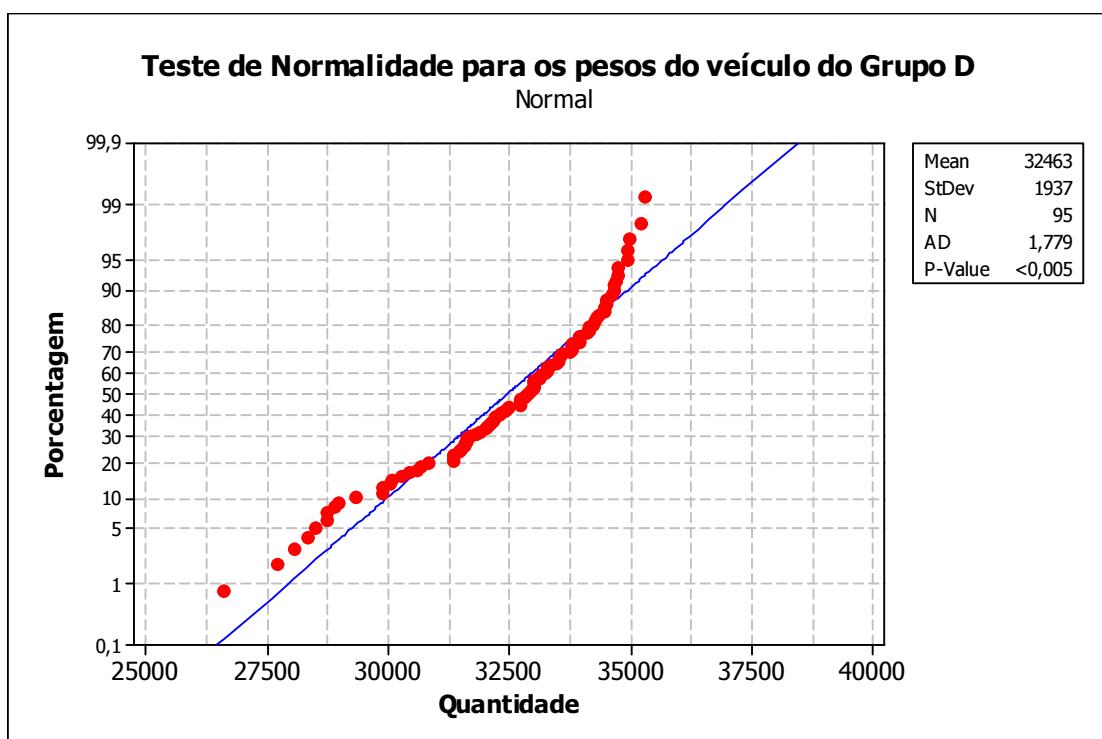


Gráfico 35 - Teste de Normalidade para os pesos do veículo do Grupo D

### Teste de Levene para as semanas C1 e C2 do Grupo A

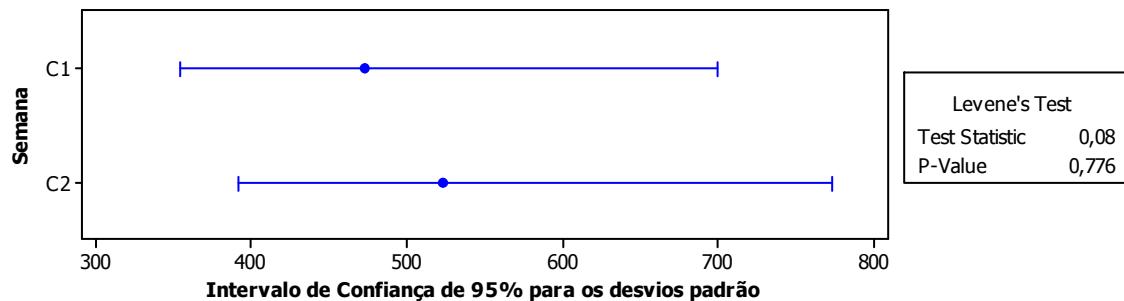


Gráfico 36 - Teste de Levene para os pesos do veículo nas semanas C1 e C2 do Grupo A

### Teste de Levene para as semanas C3 e C4 do Grupo A

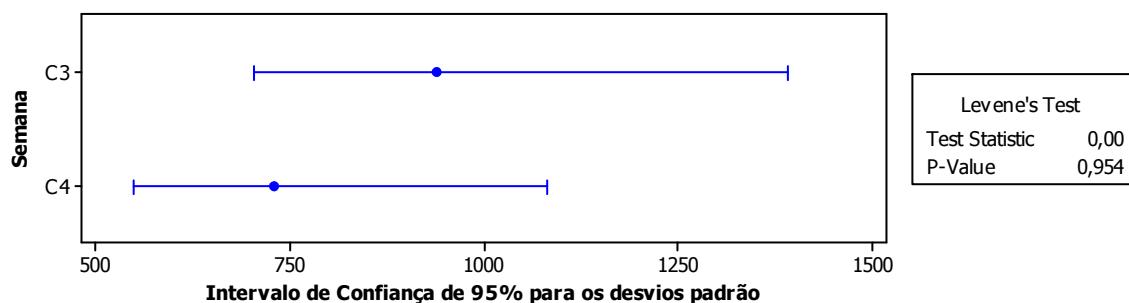


Gráfico 37 - Teste de Levene para os pesos do veículo nas semanas C3 e C4 do Grupo A

Tabela 20 - Análise de Variância dos pesos do veículo para as semanas C1 e C2 do Grupo A

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
C1	24	379.814	15.826	223.722		
C2	24	379.676	15.820	273.114		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	394	1	394	0,0016	0,9684	4,0517
Dentro dos grupos	11.427.231	46	248.418			
Total	11.427.625	47				

Tabela 21 - Análise de Variância dos pesos do veículo para as semanas C3 e C4 do Grupo A

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
C3	24	370.612	15.442	884.392		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	5.286	1	5.286	0,0075	0,9316	4,0517
Dentro dos grupos	32.635.921	46	709.477			
Total	32.641.206	47				

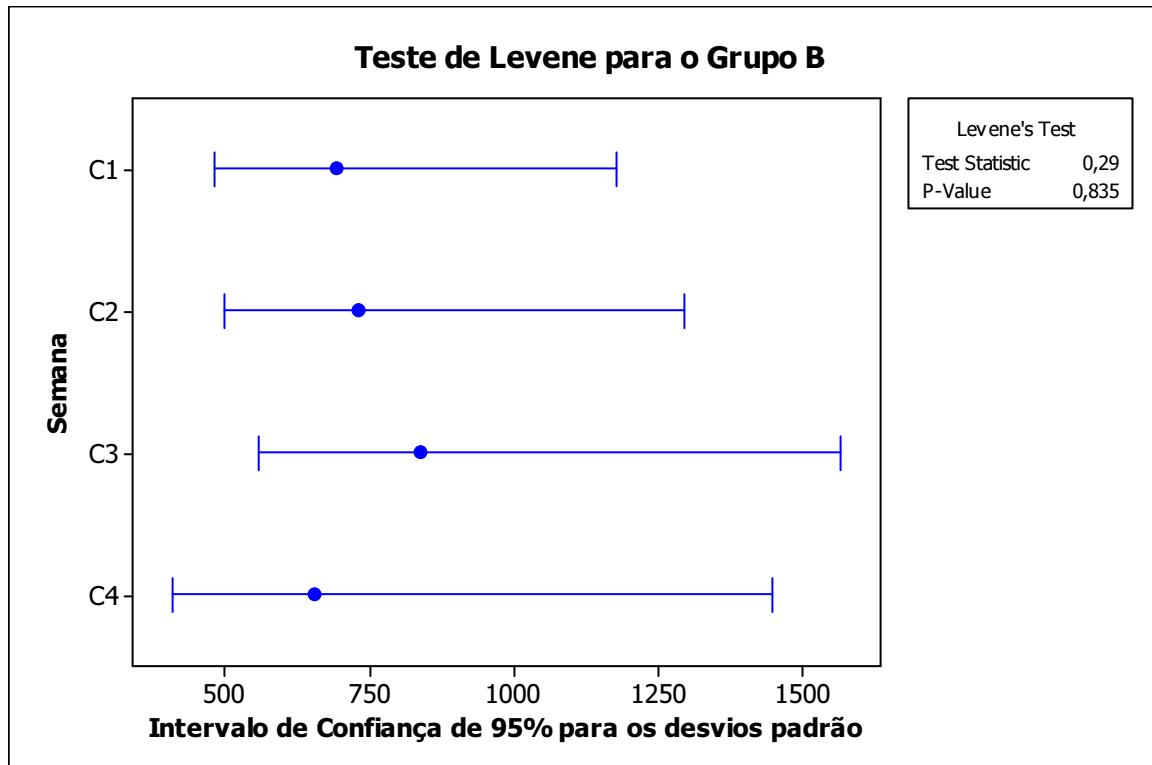


Gráfico 38 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo B

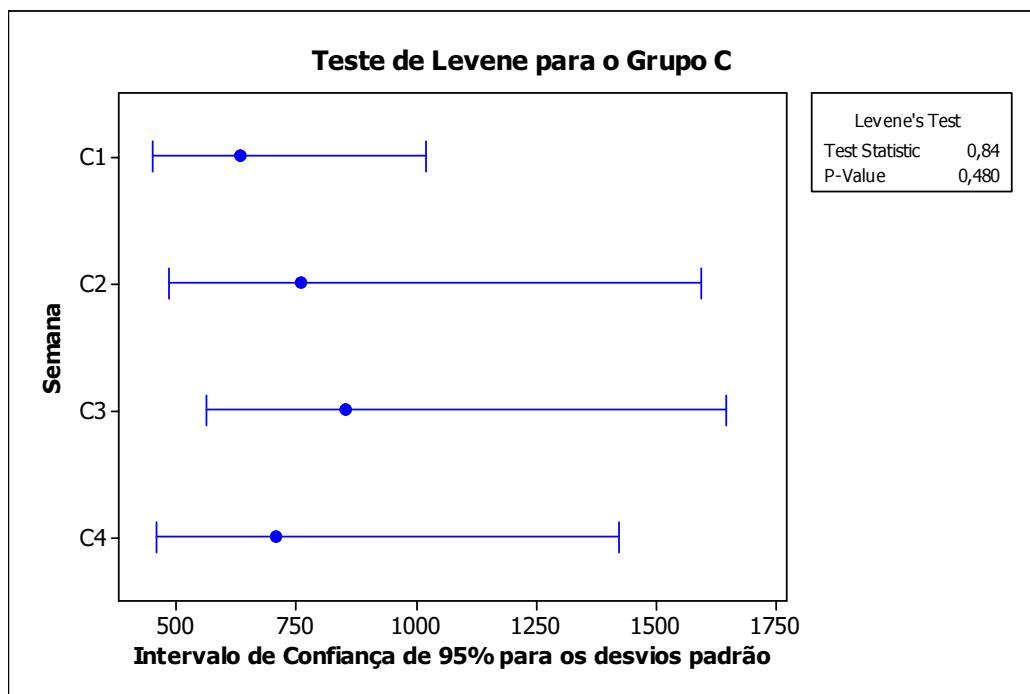


Gráfico 39 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo C

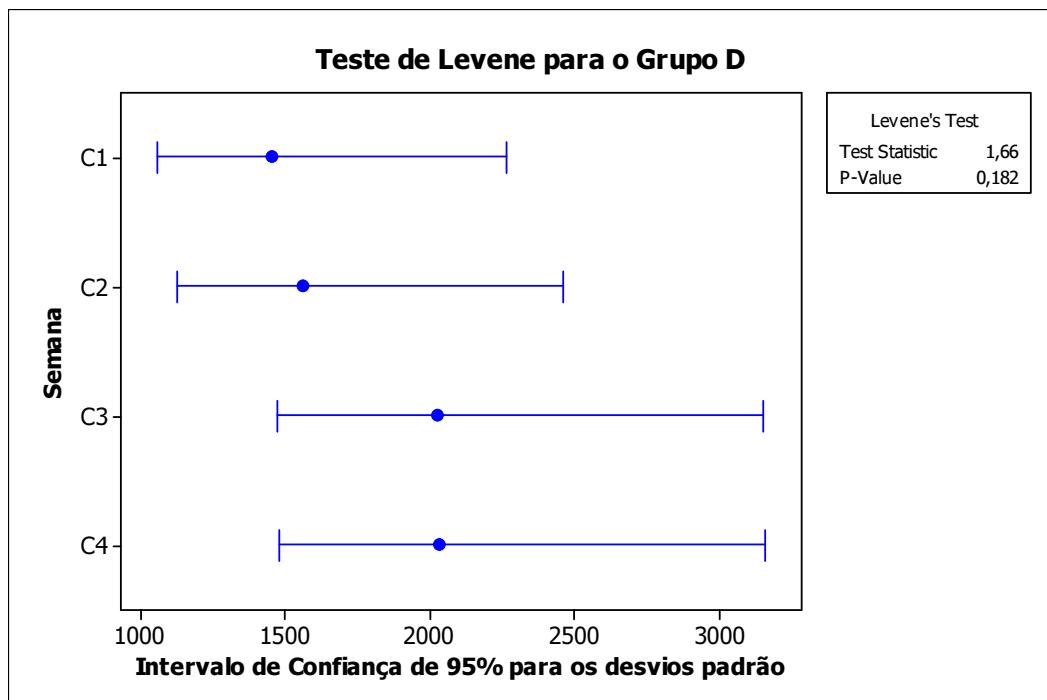


Gráfico 40 - Teste de Levene para os pesos do veículo do Grupo D

Tabela 22 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo B

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
C1	18	84.569	4.698	482.505		
C2	16	75.475	4.717	536.003		
C3	14	59.371	4.241	703.346		
C4	10	42.797	4.280	429.622		

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2.863.290	3	954.430	1,7619	0,1654	2,7758
Dentro dos grupos	29.252.731	54	541.717			
Total	32.116.020	57				

Tabela 23 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo C

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
C1	21	94.773	4.513	401.953		
C2	11	48.446	4.404	579.249		
C3	13	55.858	4.297	729.285		
C4	12	56.773	4.731	503.966		

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1.274.721	3	424.907	0,8007	0,4990	2,7791
Dentro dos grupos	28.126.612	53	530.691			
Total	29.401.333	56				

Tabela 24 - Análise de Variância para os pesos do veículo nas semanas do Grupo D

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
C1	24	806.166	33.590	2.127.511		
C2	23	751.795	32.687	2.452.291		
C3	24	771.871	32.161	4.125.758		
C4	24	754.126	31.422	4.139.087		

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	59.844.464	3	19.948.155	6,1960	0,0007	2,7047
Dentro dos grupos	292.974.588	91	3.219.501			
Total	352.819.053	94				

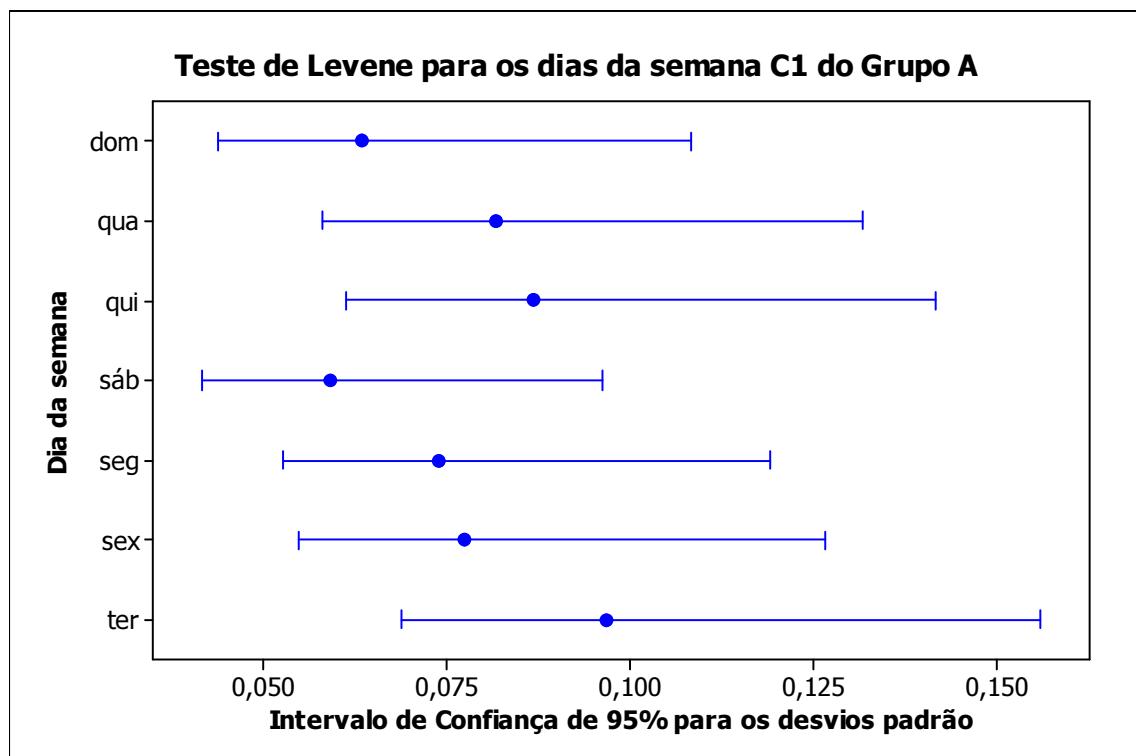


Gráfico 41 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo A

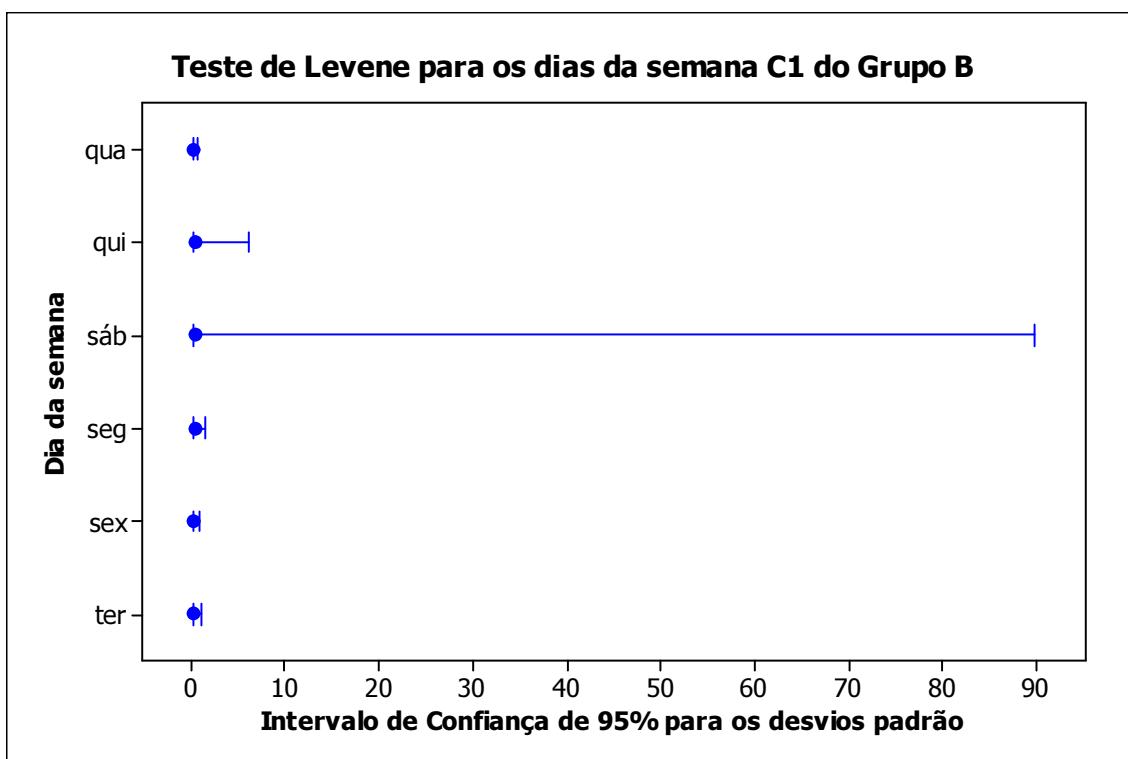


Gráfico 42 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo B

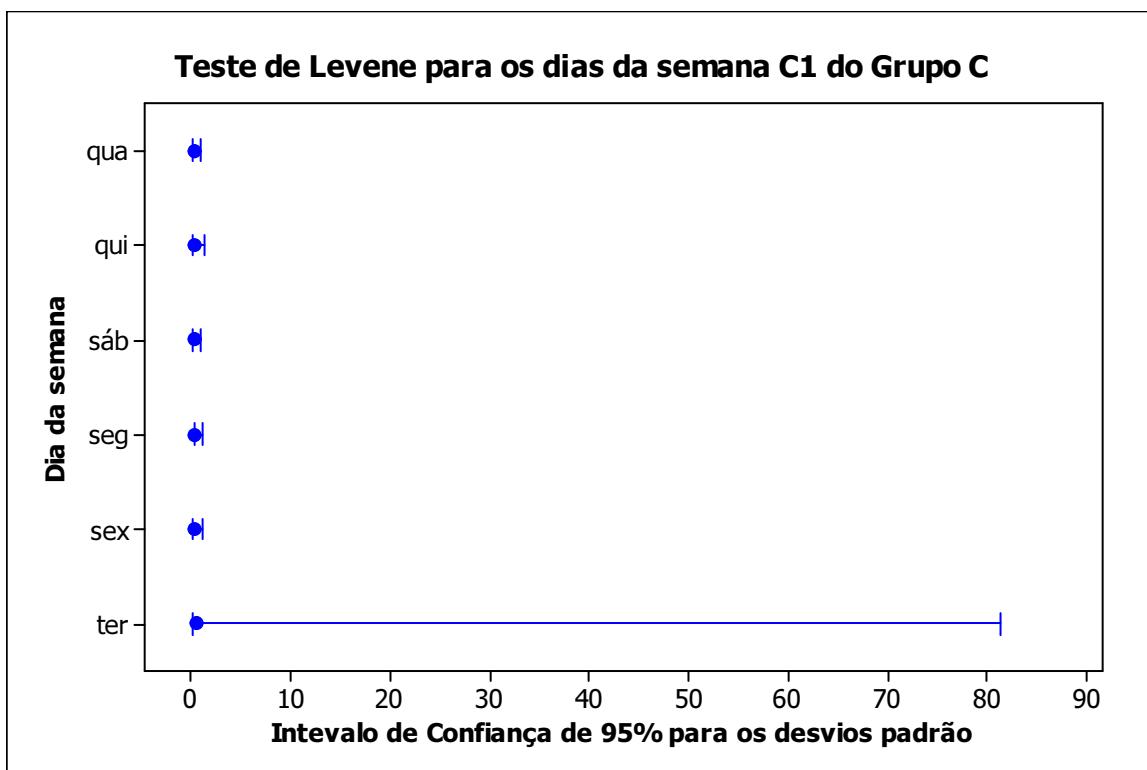


Gráfico 43 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo C

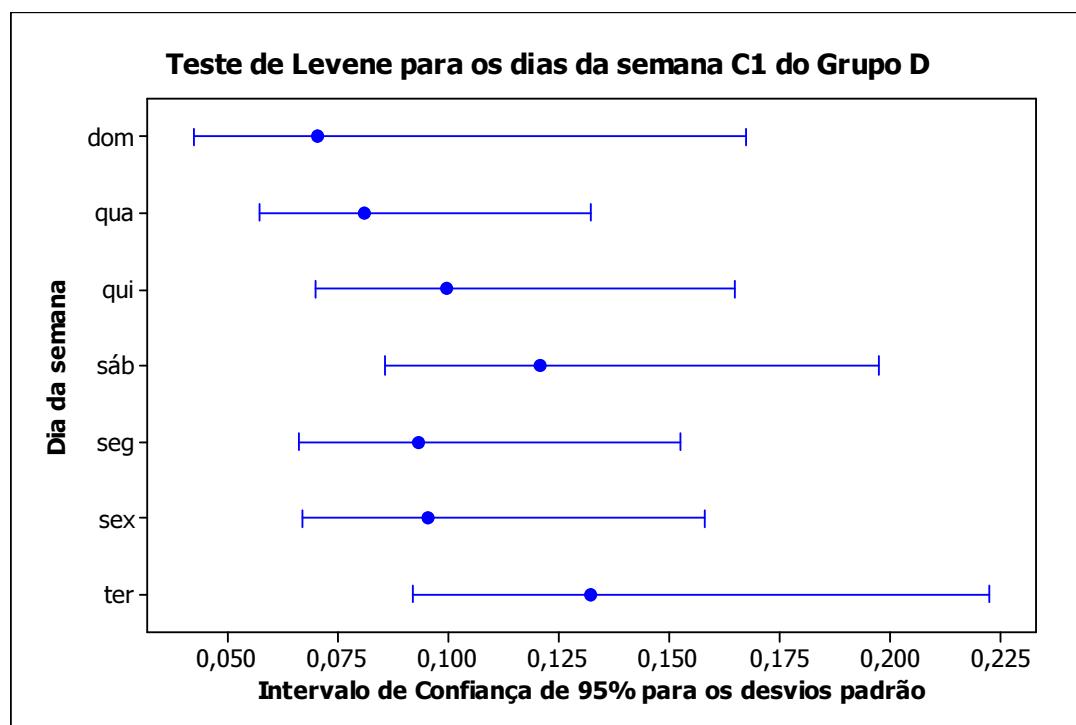


Gráfico 44 - Teste de Levene para a representatividade dos dias da Semana C1 para o Grupo D

Tabela 25- Análise de Variância para a representatividade dos dias da semana C1 no Grupo B

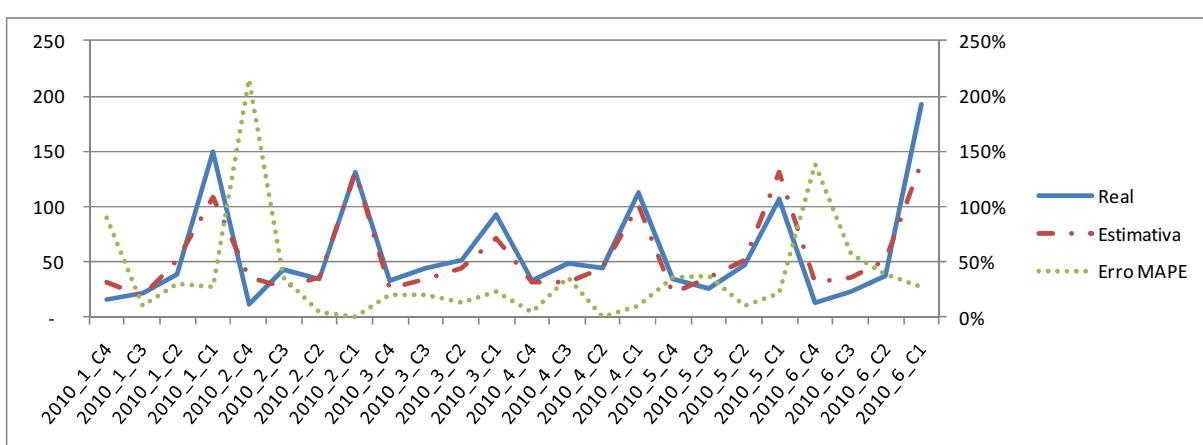
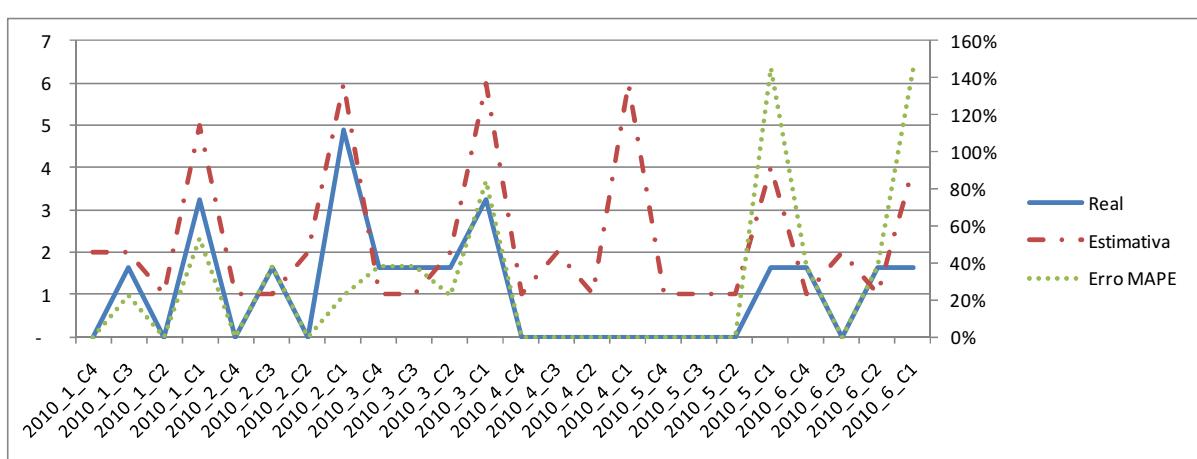
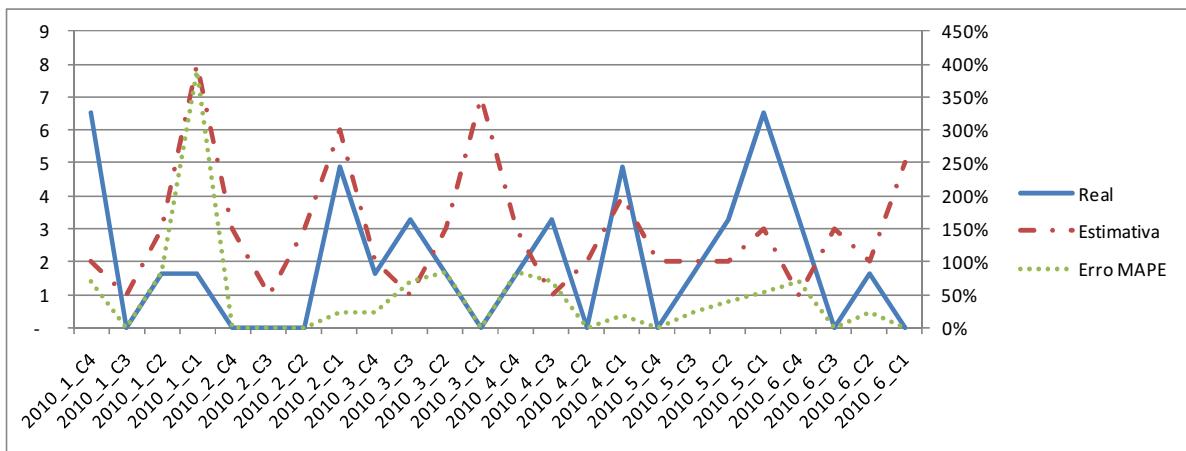
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
seg	5	2,0863	0,4173	0,1067		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,2722	5	0,0544	0,6163	0,6884	-----
Dentro dos grupos	2,2965	26	0,0883			
Total	2,5687	31				

Tabela 26 - Análise de Variância para a representatividade dos dias da semana C1 no Grupo C

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
seg	7	4,6246	0,6607	0,1130		
Fonte da	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,4072	5	0,0814	0,9518	0,4642	2,5719
Dentro dos	2,3102	27	0,0856			
Total	2,7174	32				

Tabela 27 - Análise de Variância para a representatividade dos dias da semana C1 no Grupo D

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
dom	10	1,0257	0,1026	0,0050		
Fonte da	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
seg	23	2,9485	0,1282	0,0087		
ter	21	3,2938	0,1568	0,0175		
qua	23	3,9239	0,1706	0,0065		
qui	22	3,8794	0,1763	0,0099		
sex	22	4,2216	0,1919	0,0091		
sáb	23	4,7070	0,2047	0,0146		
Total	1,5777	143				



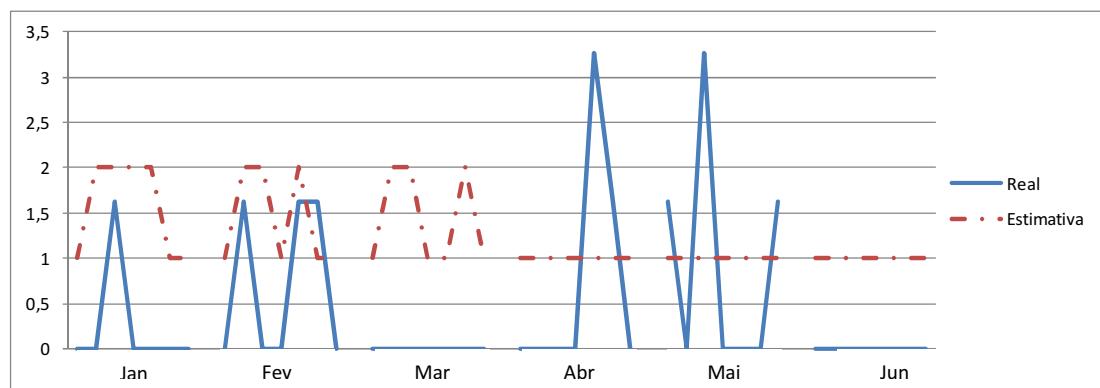


Gráfico 48 - Comparação entre estimativas diárias e valores reais de viagens para o Grupo B

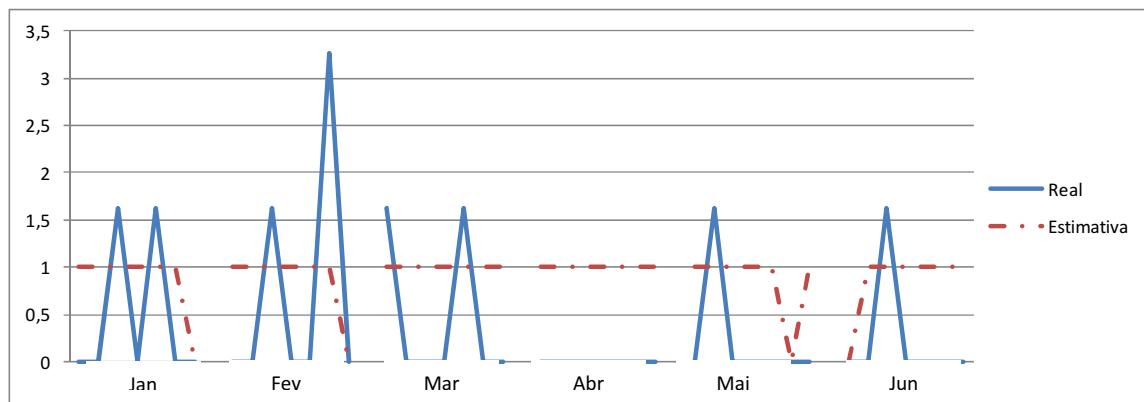


Gráfico 49 - Comparação entre estimativas diárias e valores reais de viagens para o Grupo C

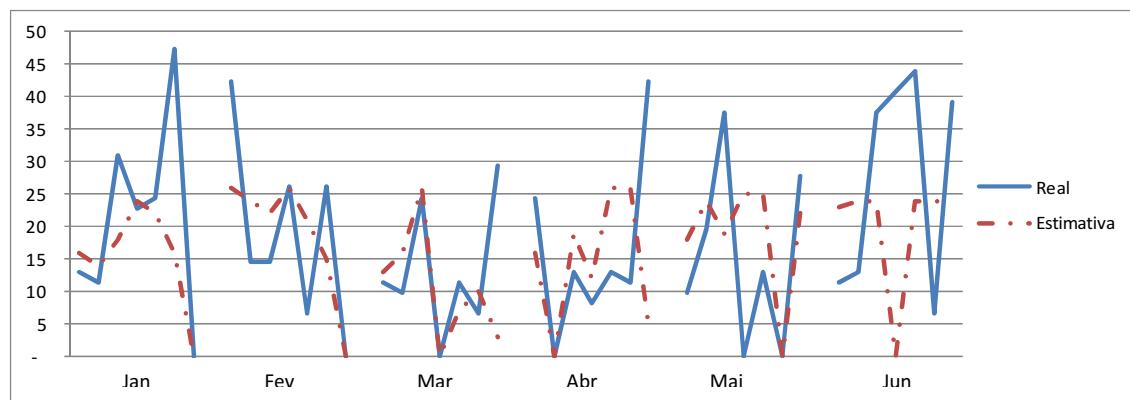


Gráfico 50 - Comparação entre estimativas diárias e valores reais de viagens para o Grupo D

## ANEXO – Comparação do Coeficiente de Correlação

Tabela 28 – Valores Críticos do Coeficiente de Correlação  $r$

$n$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
4	0,950	0,999
5	0,878	0,959
6	0,811	0,917
7	0,754	0,875
8	0,707	0,834
9	0,666	0,798
10	0,632	0,765
11	0,602	0,735
12	0,576	0,708
13	0,553	0,684
14	0,532	0,661
15	0,514	0,641
16	0,497	0,623
17	0,482	0,606
18	0,468	0,590
19	0,456	0,575
20	0,444	0,561
25	0,396	0,505
30	0,361	0,463

Fonte: Triola (2005)