

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

**RODOLFO BENEDITO DA SILVA**

**PREVISÃO DE DEMANDA NO SETOR DE  
SUPLEMENTAÇÃO ANIMAL USANDO COMBINAÇÃO E  
AJUSTE DE PREVISÕES**

Porto Alegre

2014

RODOLFO BENEDITO DA SILVA

**PREVISÃO DE DEMANDA NO SETOR DE  
SUPLEMENTAÇÃO ANIMAL USANDO COMBINAÇÃO E  
AJUSTE DE PREVISÕES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientadora: Liane Werner, Dr<sup>a</sup>.

Porto Alegre

2014

RODOLFO BENEDITO DA SILVA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Liane Werner, Dr<sup>a</sup>.**

Orientadora PPGEP/UFRGS

---

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro**

Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

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

Professor Adriano Mendonça Souza, *Dr.* (PPGEP/UFSM)

Professora Carolina Bremm, *Dr.* (FEPAGRO/RS)

*Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor, compreensão e confiança, às minhas irmãs, meus sobrinhos e minha esposa, por me inspirarem a lutar pela realização deste grande sonho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me proporcionado o dom da vida e também inspiração para lutar em busca dos meus ideais.

Agradeço aos meus pais, familiares e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para que pudesse concluir mais esta trajetória da minha vida profissional.

Agradeço à empresa de suplementação animal, em especial ao senhor João Antônio Fagundes, pela compreensão e colaboração para que pudesse continuar meus estudos e desenvolver este trabalho.

Por fim, agradeço a todos os professores do PPGEP pelos ensinamentos e orientações ao longo do curso. Em especial, à professora Dr<sup>a</sup> Liane Werner por dispensar seu precioso tempo nas orientações para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A previsão de demanda desempenha um papel de fundamental importância dentro das organizações, pois através dela é possível obter uma declaração antecipada do volume demandado no futuro, permitindo aos gestores a tomarem decisões mais consistentes e alocarem os recursos de modo eficaz para atender esta demanda. Entretanto, a eficiência na tomada de decisões e alocação dos recursos requer previsões cada vez mais acuradas. Diante deste contexto, a combinação de previsões tem sido amplamente utilizada com o intuito de melhorar a acurácia e, conseqüentemente, a precisão das previsões. Este estudo tem por objetivo fazer a adaptação de um modelo de previsão para estimar a demanda de produtos destinados à suplementação animal através da combinação de previsões, considerando as variáveis que possam impactar na demanda e a opinião de especialistas. O trabalho está estruturado em dois artigos, sendo que no primeiro buscou-se priorizar e selecionar, através do Processo Hierárquico Analítico (AHP), variáveis que possam impactar na demanda para que estas pudessem ser avaliadas na modelagem via regressão do artigo 2. Por sua vez, no segundo artigo, realizou-se a adaptação do modelo composto de previsão idealizado por Werner (2004), buscando uma previsão final mais acurada. Os resultados obtidos reforçam que as previsões, quando combinadas, apresentam desempenhos superiores para as medidas de acurácia MAPE, MAE e MSE, em relação às previsões individuais.

Palavras-chave: Previsões; Combinação de previsões; Acurácia de previsões

## ABSTRACT

*The demand prediction has a role of fundamental importance inside the organizations, because through it is possible to obtain a previous declaration of the demanded amount in the future, allowing the managers to take more consistent decisions and to allocate the resources in an efficient manner in order to satisfy this demand. However, the efficiency in the support decision and resource allocation demands accurate predictions. So, the combination of predictions have been used with the aim of improving the accuracy and, consequently, the precision of the prediction. This study has as objective to do an adaptation of a prediction model to estimate the demand of products designated to animal supplementation through the combination of prediction, considering the variables that can impact in the demand and in the expert opinion. The work is structured in two papers, considering that the first searches to prioritize and select through the Analytic Hierarchy Process (AHP), variables that can impact in the demand, so they could be evaluated in the regression modelling of the paper 2. By the way, in the second paper, it was done an adaptation of the composed prediction model proposed by Werner (2004), searching for a more accurate final prediction. The obtained results reinforce that the prediction, when combined, present superior performance to the accuracy metrics MAPE, MAE and MSE, in relation to the individual predictions.*

**Key-words:** *Forecasting; Combining forecast; Accuracy forecasting.*

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2 – Artigo 1

Figura 1: Estruturação hierárquica do método AHP .....	20
Figura 2: Estruturação hierárquica do método AHP para o estudo de caso .....	26
Figura 3: Pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ ) das variáveis classificados em ordem decrescente .....	31
Figura 4: Gráfico de Pareto para seleção das variáveis .....	32

### Capítulo 3 – Artigo 2

Figura 1: Combinação de previsões.....	43
Figura 2: Estruturação básica do modelo composto de previsão.....	47
Figura 3: Adaptação do modelo composto de previsão proposto por Werner (2004).....	48
Figura 4: Dados históricos da demanda.....	50
Figura 5: Correlação entre a demanda (ton) e precipitação (mm).....	51
Figura 6: Séries históricas da demanda (ton) e precipitação (mm) .....	52
Figura 7: Previsões individuais .....	53
Figura 8: Previsões combinadas .....	54

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2 – Artigo

Tabela 1: Escala de comparações do método AHP .....	21
Tabela 2: Consistências médias de matrizes randômicas .....	22
Tabela 3: Matriz de Comparação Pareada – Especialista 1 .....	27
Tabela 4: Matriz de Comparação Pareada – Especialista 2 .....	27
Tabela 5: Matriz de Comparação Pareada – Especialista 3 .....	28
Tabela 6: Normalização da Matriz de Comparação Pareada - Especialista 1 .....	28
Tabela 7: Normalização da Matriz de Comparação Pareada - Especialista 2 .....	29
Tabela 8: Normalização da Matriz de Comparação Pareada - Especialista 3 .....	29
Tabela 9: Autovalores encontrados para cada variável e autovalores máximos ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) .....	30
Tabela 10: Pesos relativos e pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ ) de cada variável .....	31

### Capítulo 3 – Artigo 2

Tabela 1: Equações dos modelos de suavização exponencial .....	40
Tabela 2: Medidas de acurácia .....	41
Tabela 3: Medidas de acurácia para os modelos analisados.....	54
Tabela 4: Opiniões e pesos dos especialistas para os fatores que impactam na demanda .....	56
Tabela 5: Obtenção da previsão final .....	57

## SUMÁRIO

I. Introdução .....	12
1.1. Tema e objetivos.....	13
1.2. Justificativa.....	13
1.3. Método de trabalho.....	14
1.4. Limitações do trabalho .....	15
1.5. Estrutura do trabalho .....	15
II. ARTIGO 1: Utilização do Processo Hierárquico Analítico para priorização de variáveis a serem utilizadas na previsão de demanda no setor de suplementação animal.....	17
1. Introdução.....	18
2. Previsões de demanda.....	19
3. <i>Analytic Hierarchy Process</i> – AHP.....	20
4. Procedimentos metodológicos.....	23
5. Estudo de caso no setor de suplementação animal.....	24
5.1. A empresa.....	24
5.2. Seleção dos especialistas .....	25
5.3. Identificação das variáveis.....	25
5.4. Aplicação do método AHP .....	26
5.5. Priorização e seleção das variáveis.....	30
6. Considerações finais .....	32
Referências .....	33
III. ARTIGO 2: Combinação de previsões das vendas no setor de suplementação animal: um estudo de caso com ajustes de especialistas .....	36
1. Introdução.....	37
2. Técnicas de previsões .....	38
3. Combinação de previsões .....	42
4. Ajuste de previsões.....	44
5. Modelo composto de previsão.....	46

6. Procedimentos metodológicos .....	47
7. Apresentação e discussão dos resultados .....	49
7.1. Caracterização da empresa e análise dos dados.....	49
7.2. Previsão estatística.....	50
7.3. Previsão via modelo causal .....	51
7.4. Combinação de previsões .....	53
7.5. Ajuste da previsão combinada e obtenção da previsão final .....	55
8. Considerações finais .....	57
Referências .....	58
IV. Considerações finais.....	61
Referências .....	63

## I. Introdução

A previsão de demanda é uma área de conhecimento considerada de grande importância para as organizações. Isto por que, segundo Makridakis et al. (1998), esta atividade fornece informações para a determinação dos recursos necessários para a organização. Para Werner (2004), não basta a empresa ter boa reputação, reconhecimento pela qualidade de seus produtos e/ou serviços, bem como apresentar custos competitivos, é necessário também que apresente uma estrutura suficiente para dimensionar a quantidade de produtos ou serviços que produzirá de modo que seja possível prever e atender à demanda originária do mercado consumidor.

As previsões de demanda são utilizadas e afetam diversos setores de uma organização, tais como, engenharia, P&D, financeiro, contabilidade, produção, distribuição e logística, marketing e vendas, recursos humanos, dentre outros (ALTABET, 1998; DAVIS et al., 2001; KAHN, 2002). Devido à presença de incertezas no processo de previsão de demanda, é necessário que as previsões forneçam informações com boa acurácia, tornando-as mais confiáveis, com o intuito de evitar a tomada de decisões equivocadas por parte dos gestores das organizações (ABRAHAM e LEDOLTER, 2005).

Werner e Ribeiro (2003) utilizaram uma técnica de previsão de demanda para obter previsões do número de atendimentos em uma empresa de assistência técnica de computadores pessoais. Por sua vez, Staudt (2011) fez uso da previsão de demanda para três itens de classe A de uma indústria madeireira de pequeno porte. Já Hollauer et al. (2008) avaliaram o uso de modelos de previsão de demanda para estimar o crescimento do PIB industrial brasileiro. Por fim, Ribeiro et al. (2010) aplicaram um modelo hierárquico para previsão de preços de *commodities* agrícolas como soja, álcool e açúcar.

Apesar de existirem diversos métodos de previsão de demanda aplicados nas mais diversas áreas, a grande maioria deles utiliza informações usando uma única técnica de previsão (WERNER e RIBEIRO, 2006). Devido a esta característica, a acurácia da previsão pode ser comprometida, pelo fato que outras informações não podem ser agregadas no processo de previsão. Deste modo, Armstrong (2001) e Werner (2004) defendem que é preciso incorporar diversas previsões em uma única e nova previsão. Tal integração permite reduzir os erros de previsão e, conseqüentemente, obter previsões mais acuradas quando comparada às previsões individuais (CLEMEN, 1989). Muitos estudos demonstraram evidências de que a combinação de previsões apresenta bons resultados em relação à acurácia,

porém ainda é preciso pesquisar sobre o assunto (ARMSTRONG e COLLOPY, 1998; GOODWIN, 2002; WERNER, 2004; LEMOS, 2006; ANDRAWIS et al., 2011).

## 1.1. Tema e objetivos

O tema desta dissertação é a previsão de demanda, com foco em métodos de combinação e ajuste de previsões.

Esta dissertação tem como objetivo principal adaptar uma metodologia para prever demanda de produtos destinados à suplementação animal através da combinação de previsões, levando em consideração as variáveis que possam interferir na demanda e a opinião de especialistas.

Dentre os objetivos específicos, têm-se:

- i)* Selecionar variáveis que influenciam na demanda dos produtos utilizando o método Processo Hierárquico Analítico (AHP);
- ii)* Identificar um modelo de suavização exponencial que melhor se ajuste aos dados históricos da demanda dos produtos e também adaptar um modelo de regressão, para realizar as previsões individuais;

## 1.2. Justificativa

O processo de tomada de decisões no meio empresarial é uma rotina cotidiana que desempenha papel importantíssimo no que tange ao grau de competitividade perante aos concorrentes. É comum perceber dentro das organizações a exigência de tomada de decisões rápidas e precisas como fator competitivo. Para isto é necessário que o tomador de decisões tenha dados disponíveis e habilidade suficiente para extrair o maior número de informações de tais dados.

As previsões de demanda são utilizadas como referência para a política de decisões de curto, médio e longo prazo. Além disso, são úteis no monitoramento do desempenho de sistemas por meio de previsões frequentes de curto prazo (LINDBERG e ZACKRISSON, 1991). No entanto, obter informações através das técnicas de previsão de demanda não é suficiente para garantir que este processo auxiliará na tomada de decisões de maneira eficaz. É preciso que tais informações sejam confiáveis através do elevado grau de acurácia, pois

caso contrário a previsão de demanda fornecerá informações que poderão contribuir para os gestores tomarem decisões equivocadas.

Fazer uso da combinação de previsões tem sido vista como uma área promissora para estudiosos interessados em aprimorar o processo de previsão, particularmente em melhorar a acurácia e identificar situações específicas nas quais a integração de previsões de demanda é mais adequada (WRIGHT et al., 1996; RODRIGUES e STEVENSON, 2013).

O setor de suplementação animal desempenha um papel importante dentro da cadeia produtiva de carnes, tendo em vista que este segmento é um fornecedor de insumos para os sistemas produtivos. Deste modo, há necessidade de cada vez mais buscar a eficiência nas atividades para garantir uma boa competitividade do setor produtivo com um todo. Sendo assim, realizar previsões de demanda está diretamente ligado à disponibilização dos recursos utilizados, visando oferecer um atendimento eficaz aos clientes deste segmento.

Neste sentido, como a organização onde foi realizado o estudo de caso não possui um processo de previsão estruturado, acrescido à necessidade de precisão na tomada de decisões em relação aos recursos da empresa, à política de suprimentos e definição de metas dentro do planejamento estratégico, que se justifica o objetivo do trabalho, que é de adaptar uma metodologia para prever demanda de produtos destinados à suplementação animal, em um horizonte de curto e médio prazo, levando em consideração as variáveis que impactam na demanda e a opinião de especialistas.

### 1.3. Método de trabalho

Do ponto de vista de sua natureza, esta pesquisa se caracteriza como aplicada, onde se busca gerar conhecimentos específicos, demonstrados através do estudo de caso. Quanto à abordagem do problema, se caracteriza como pesquisa quantitativa, fazendo-se uso de análises numéricas e técnicas estatísticas no seu desenvolvimento. Já em relação aos objetivos, a pesquisa se classifica como exploratória, buscando maior entendimento e compreensão do problema analisado (SILVA e MENEZES, 2005).

Para atingir seus objetivos o desenvolvimento do presente estudo foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, relacionada com a redação do artigo 1, foi utilizado o método de priorização *Analytic Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico (AHP) com especialistas da empresa onde realizou-se o estudo. Os dados provenientes da aplicação do

AHP possibilitaram priorizar e selecionar variáveis a serem avaliadas em um modelo de regressão para prever a demanda de produtos destinados à suplementação animal.

Na segunda etapa, relacionada com a redação do artigo 2, realizou-se a adaptação do modelo integrado de previsão proposto por Werner (2004). Para isto foram considerados dados históricos da demanda, dados das variáveis que interferem na demanda dos produtos e que foram selecionadas em Silva (2014), informações de especialistas nos ajustes da previsão integrada e, posteriormente, obteve-se a previsão final.

#### 1.4. Limitações do trabalho

As limitações desta pesquisa são apresentadas em duas ênfases, sendo a primeira em relação ao escopo teórico e a segunda ao estudo de caso apresentado.

A revisão bibliográfica limitou-se a abordar os métodos quantitativos de previsão de demanda a serem utilizadas neste trabalho, dando ênfase aos modelos de suavização exponencial e regressão linear simples e múltipla.

Além disso, a combinação de previsões limitou-se a utilizar apenas os métodos de combinação da variância mínima proposto por Bates e Granger (1969) e média aritmética, não abordando outros métodos de combinação de previsões.

O estudo de caso apresentado na pesquisa foi desenvolvido em uma organização específica do segmento de suplementação animal localizada na região sul do estado de Mato Grosso. Desta forma, os resultados obtidos com esta pesquisa não podem ser generalizados a outras organizações do mesmo segmento.

#### 1.5. Estrutura do trabalho

Esta dissertação está organizada em formato de artigos científicos. Deste modo, está dividida em quatro capítulos, incluindo esta introdução. Neste primeiro capítulo, apresenta-se o tema, os objetivos gerais e específicos, as justificativas, o método de trabalho, limitações e também a estruturação da pesquisa.

O capítulo 2 apresenta o artigo 1 intitulado: “Utilização do Processo Hierárquico Analítico para priorização de variáveis a serem utilizadas na previsão de demanda no setor de suplementação animal”, onde foram selecionadas as variáveis que foram utilizadas na previsão via regressão do segundo artigo. No capítulo 3 é apresentado o artigo 2 que trata a

combinação de previsões das vendas no setor de suplementação animal apresentando um estudo de caso com ajustes de especialistas. Por fim, o capítulo 4 traz as conclusões obtidas com a realização desta pesquisa, bem como recomendações para trabalhos futuros.

## II. ARTIGO 1: Utilização do Processo Hierárquico Analítico para priorização de variáveis a serem utilizadas na previsão de demanda no setor de suplementação animal

**Rodolfo Benedito da Silva (UFRGS/IBG)**

rodolfoengenheiro@hotmail.com

**Liane Werner (UFRGS)**

liane@producao.ufrgs.br

**Resumo:** Este estudo buscou priorizar e selecionar variáveis a serem avaliadas em um modelo causal de previsão de produtos destinados à suplementação animal. Para atingir este objetivo, realizou-se a aplicação do método de priorização *Analytic Hierarchy Process* – AHP com três especialistas através de um estudo de caso. Para tanto, através de comparações pareadas entre as variáveis que afetam a demanda dos produtos, os especialistas estabeleceram os pesos que determinaram a importância relativa de cada variável em relação ao problema proposto. Os julgamentos dos especialistas foram considerados consistentes, pois apresentaram valores de Razão de Consistência (RC) inferiores à 0,1, indicando que o método AHP poderá ser utilizado para fazer as análises necessárias para atingir o objetivo do trabalho. Por fim, as variáveis a serem avaliadas no modelo causal foram selecionadas via regra de Pareto, sendo elas: *i*) preço da arroba do boi; *ii*) número de animais abatidos; *iii*) tamanho do rebanho; e *iv*) condições climáticas.

**Palavras-chave:** Priorização de variáveis; Previsão de demanda; Método AHP.

**Abstract:** *This study searches to priorities and select variables to be evaluated in a casual product prediction model destined to animal supplementation. In order to reach this aim, it was done the application of the priority method Analytic Hierarchy Process – AHP with three experts through paired compare among the variables that affect the product demand, the experts fit the weights that determined the relative importance of each variable in relation to the proposed problem. The judgments of the experts were considered consistent, because presented values of consistency ratio (CR) less than 0,1, pointing that the AHP method can be used to do the necessary analysis to reach the aim of the work. So, the variables to be evaluated in the regression model were selected by the Pareto rule: i) cattle arroba price; ii) amount of abated animals; iii) cattle size and iv) climate conditions.*

**Keywords:** *Prioritization of variables; Demand forecasting; AHP method.*

## 1. Introdução

Nos dias atuais é possível perceber cada vez mais uma forte predominância da globalização, implicando na atuação de uma concorrência acirrada entre as empresas. A busca constante por melhores resultados, consolidação e expansão no mercado, têm pressionado muitas organizações a tomarem decisões e utilizarem os recursos produtivos de maneira eficaz para que possam, assim, continuarem com atuações marcantes nos mercados em que estão inseridas (PERGHER; VACCARO; PRADELLA, 2013). Neste sentido, a atividade de previsão de demanda, além de auxiliar no processo de decisões, é o principal canal de comunicação entre os clientes e a organização, contribuindo para a elaboração de um planejamento adequado que permita promover o equilíbrio entre o que o mercado exige e o que é possível atender.

A importância das previsões de demanda se estende para algumas áreas de gestão, tais como: área financeira para planejar os recursos necessários; área de recursos humanos no planejamento da mão-de-obra e a área de vendas para direcionar os planos de marketing. Para a gestão da produção, as previsões são fundamentais para garantir a operacionalidade do sistema, servindo como referência para a gestão de estoques e elaboração de planos agregados de produção (KAHN, 2002; ALTABET, 1998).

Neste sentido, a previsão de demanda também desempenha um papel importante na indústria de suplementação animal, tendo em vista que este setor é caracterizado pela atuação de oferta e demanda sazonal. Isto, por que, segundo Veríssimo et. al (2012), a informação proporcionada pela previsão direciona os esforços para o planejamento da mão-obra, fluxo de caixa e aquisição de matéria-prima que serão necessárias período a período de modo eficaz, permitindo que a empresa tenha um posicionamento competitivo no mercado perante seus concorrentes.

Dado que a obtenção de uma previsão acurada é base para o bom andamento da empresa, faz-se necessário utilizar um modelo de previsão. Quando se trata de um modelo causal de previsão de demanda, em que uma variável dependente se relaciona com diversas outras variáveis explicativas, o processo de coleta, tratamento e análise destes dados requer grande disponibilidade de tempo. Deste modo, fazer uso de uma técnica de priorização, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ou Processo Hierárquico Analítico, demonstra ser útil, visto que através dela é possível identificar as variáveis de maior importância a serem consideradas na modelagem em detrimento àquelas de menor importância, permitindo desta

forma reduzir o tempo gasto no referido processo (DIAS; FENSTERSEIFER; SELMITTO, 2011).

Diante deste contexto, este artigo tem por objetivo priorizar e selecionar as variáveis a serem avaliadas em um modelo de previsão de demanda para suplementação animal, por meio do uso do método de priorização AHP. Para alcançar este objetivo, o método AHP foi aplicado com a participação de especialistas para identificar variáveis prioritárias que afetam a demanda de produtos destinados à suplementação animal.

O trabalho está estruturado da seguinte forma. Após esta parte introdutória, é discutido na seção 2 sobre previsões de demanda. Na seção 3, é apresentado o *Analytic Hierarchy Process*. Em seguida, na seção 4, são apresentados os procedimentos metodológicos. A seção 5 apresenta o estudo de caso e os resultados obtidos. Por fim, a seção 6 traz as conclusões do estudo.

## **2. Previsões de demanda**

A demanda pode ser entendida como a disposição de um determinado mercado para consumir produtos e/ou serviços. Para Kotler (2000), a demanda de um produto é o montante que um determinado consumidor eventual, de certa área geográfica, estaria disposto a adquirir, considerando um período de tempo definido.

Segundo Makridakis et al. (1998), o principal motivo para realizar previsões é o *lead time*, por exemplo, a solicitação de reposição de materiais e a efetiva entrada dos mesmos no estoque. Sendo assim, de posse de uma declaração do que poderá ocorrer no futuro, os tomadores de decisão poderão planejar melhor e antecipadamente as atividades de uma organização.

De acordo com Werner e Ribeiro (2006) existem na literatura diversos métodos de previsão de demanda, porém, muitos deles consideram as informações baseando-se em uma única técnica. Entretanto, é importante utilizar toda e qualquer informação disponível, visto que fazer uso de apenas uma única técnica de previsão pode não trazer resultados satisfatórios. Para que se possam obter previsões confiáveis é necessário fazer uso de diversos métodos com o intuito de utilizar a maior quantidade de informações disponíveis. Além disso, na visão de Abraham e Ledolter (2005), a técnica de previsão que uma empresa deve adotar depende de uma série de fatores, incluindo: (i) horizonte de previsão; (ii) disponibilidade de dados; (iii) precisão necessária; (iv) tamanho do orçamento para previsão, e (v) disponibilidade de pessoal qualificado.

### 3. *Analytic Hierarchy Process* – AHP

Por se tratar de um método qualitativo a ser utilizado como base para o desenvolvimento deste estudo, o *Analytic Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico (AHP) será apresentado nesta seção.

Segundo Saaty (1991), o AHP é um método de análise multicriterial baseado em um processo de ponderação ativa, no qual os diversos atributos relevantes são representados através de sua importância relativa. De acordo com Forman e Peniwati (1998), este método considera dados, experiências, percepções e intuições de uma forma lógica e completa, de modo a permitir que sejam realizadas escalas de prioridade ou de pesos em detrimento a decisões arbitrárias.

Saaty (1994) salienta que, devido a estas características, o método pode lidar com as questões qualitativas e quantitativas em um problema de decisão. Desta forma, o AHP busca aproximar-se de um modelo realista incluindo e medindo todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, tangíveis ou intangíveis.

Segundo Saaty (1991), o AHP é aplicado em três etapas, sendo elas: (i) construção da hierarquia; (ii) análise de prioridades e (iii) verificação da consistência. Inicialmente, a hierarquia é estabelecida de modo que o objetivo principal esteja alocado no nível primário, os critérios no nível intermediário e as alternativas no nível inferior, conforme apresentado na Figura 1.

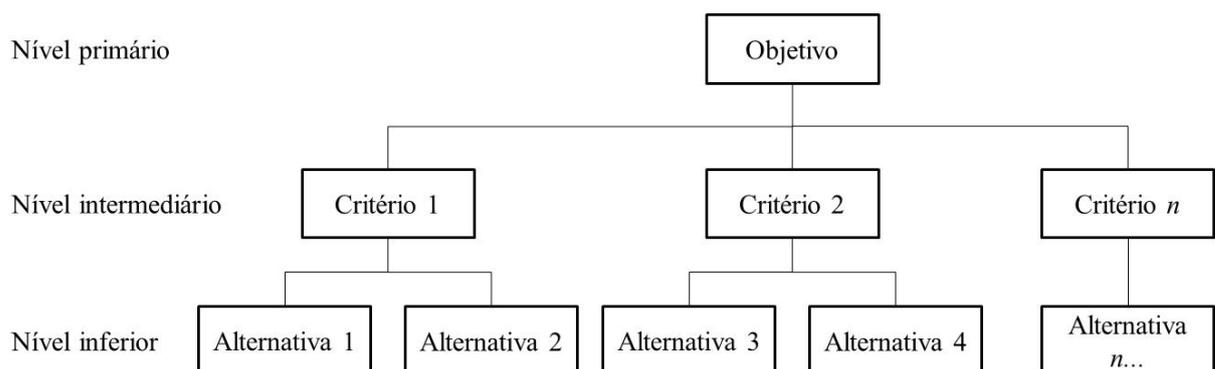


Figura 1: Estruturação hierárquica do método AHP

Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

De acordo com Grandzol (2005) através das comparações par a par em cada nível da hierarquia baseadas na escala de prioridades do AHP, os avaliadores determinam pesos relativos, conhecidos por prioridades, que têm o objetivo de diferenciar a importância dos

critérios. A quantificação das opiniões dos avaliadores é realizada baseando-se na escala recomendada por Saaty (1991) que vai de 1 a 9, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Escala de comparações do método AHP

Pontuação	Intensidade	Forma de avaliação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	A experiência favorece uma atividade em relação à outra.
5	Importância forte	A experiência favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra.
9	Importância extrema	A experiência favorece uma atividade em relação à outra, no mais alto grau.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1991)

A escala de comparação deve ser utilizada buscando responder duas perguntas, sendo elas: *i*) entre os dois elementos, qual é o mais importante em relação a um critério de nível superior, e; *ii*) com qual intensidade, usando a escala apresentada na Tabela 1. As pontuações par a par devem ser organizadas na forma de uma matriz  $A$  quadrada  $n \times n$ , também conhecida por matriz de comparações pareadas (MCP). A quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz genérica  $A$  é  $n(n - 1)/2$ , onde  $n$  é o número de elementos pertencentes a esta matriz (SAATY, 1996). Os elementos  $a_{ij}$  da matriz  $A$ , representada na sequência, são determinados pelas seguintes condições:  $a_{ij} > 0$ , sendo:  $a_{ij} = 1$  para todo  $i = j$  e  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Salienta-se que, na construção desta matriz, para o elemento mais importante da comparação é utilizado um valor inteiro, enquanto que para o elemento menos importante é usado o inverso desta unidade (valor recíproco).

A modificação dos pesos de cada elemento na Matriz de Comparação Pareada é feita através da divisão dos elementos de cada coluna pela somatória da mesma coluna (normalização) e, em seguida, somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (SAATY, 1991).

A consistência da Matriz de Comparação Pareada pode ser verificada multiplicando-se tal matriz pelo vetor de pesos ( $w$ ), encontrado na normalização, obtendo-se a Matriz de Consistência (SAATY, 1996). A razão de consistência dos julgamentos, denominada RC, pode ser determinada através da equação (1).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (1)$$

onde: IC = índice de consistência. IR = índice de consistência randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem  $n$ , através da Tabela 2.

Tabela 2: Consistências médias de matrizes randômicas

Tamanho (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,32	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991)

Saaty (1991) ressalta que se RC for inferior a 0,1 o grau de consistência é satisfatório, caso contrário podem existir sérios problemas de inconsistência e a qualidade dos julgamentos deve ser aperfeiçoada por meio de uma revisão das estimativas.

O índice de consistência (IC) é determinado pela equação (2).

$$IC = \frac{(\lambda_{m\acute{a}x} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

sendo que:  $\lambda_{m\acute{a}x}$  = maior autovalor da matriz de julgamentos;  $n$  = tamanho da matriz.

Uma vez descrito o método AHP, é importante que se analise sua relação com a previsão de demanda. Forman e Gass (2001), apresentam a aplicação do AHP em diversas situações práticas e em diferentes setores para subsidiar a tomada de decisões, tais como escolha, priorização, avaliação e alocação de recursos; *benchmarking*; gestão de qualidade; políticas públicas; planejamento estratégico e inclusive em processos de previsão de demanda.

De acordo com Subramanian e Ramanathan (2012), a previsão de demanda é uma área em que o método AHP foi combinado de modo inovador com diversas outras metodologias, tanto os métodos qualitativos, como o Delphi ou previsões por julgamentos, quanto os quantitativos, como suavização exponencial. Raharjo et al. (2009) utilizaram o método AHP nos processos de previsão como forma de propor o tempo de combinação de previsões. Outro estudo foi de Yuksel (2007), que utilizou o AHP no segmento hoteleiro para realizar ajustes na previsão combinada.

O método AHP pode ser utilizado em três áreas principais da previsão: *i)* primeiramente como ferramenta para obtenção de previsões via opinião de especialistas; *ii)* na seleção do método ou técnica mais apropriado para ser utilizado no processo, e *iii)* na combinação de várias técnicas de previsão para formar uma única previsão combinada (FORMAN e DYER, 1991)

Belton e Goodwin (1996) estudaram a aplicação e o desempenho do AHP como uma ferramenta de previsão de julgamento e observaram que o método não apresentou resultado satisfatório no processo. Desta forma, acrescentaram observações importantes quanto ao uso do AHP diretamente como previsão de julgamento. Entretanto, verificaram que o método poderia desempenhar um papel secundário, como por exemplo, o ajuste de previsões. Neste sentido, novas expectativas e aberturas poderiam ser fornecidas com o método AHP em processos de previsão de demanda.

#### **4. Procedimentos metodológicos**

O presente estudo foi desenvolvido através de uma pesquisa aplicada, que de acordo com Cervo et al. (2006) está focada na geração de conhecimentos destinados à resolução de problemas peculiares a algumas situações práticas.

Além disto, este trabalho está baseado em procedimentos demonstrados através de um estudo de caso. Para Yin (2005), o método de estudo de caso é apropriado para estudos que buscam responder questionamentos do tipo “como” e “por que”, quando o foco está inserido em fenômenos do contexto da vida real. Neste sentido procedeu-se ao estudo da seguinte forma: *i)* primeira etapa – levantamento bibliográfico sobre o tema abordado; *ii)* segunda etapa - seleção dos especialistas; *iii)* terceira etapa - identificação das variáveis e; *iv)* aplicação do método AHP.

Na primeira etapa foram realizadas pesquisas e consultas em livros, artigos científicos e demais documentos impressos e digitais que tratam das técnicas de previsão de demanda e do Processo Hierárquico Analítico, que são os objetos de estudo desta pesquisa.

A segunda etapa consistiu em identificar e selecionar os especialistas que pudessem contribuir para o desenvolvimento do trabalho. Neste momento, buscou-se então verificar dentro do quadro de colaboradores da organização aqueles que possuem experiência suficiente e atuam em setores que estão diretamente ligados ao assunto proposto. Este cuidado foi necessário para que a consistência e coerência do objetivo do trabalho fossem preservadas.

A identificação das variáveis que afetam a demanda dos produtos destinados à suplementação animal, que consiste na terceira etapa do trabalho, foi realizada através de uma seção de *brainstorming* com os especialistas selecionados. Com o uso desta técnica, permitiu que todos pudessem expressar seu ponto de vista em relação às variáveis que interferem na demanda e, em seguida, selecionar, através do consenso, aquelas que foram julgadas mais importantes para o processo de previsão de demanda.

Por fim, na quarta etapa foi realizada a aplicação do método AHP para priorizar as variáveis a serem avaliadas no modelo de previsão. Para isto, foram realizadas entrevistas individuais com os especialistas visando coletar dados a serem utilizados no preenchimento da matriz de comparação pareada do método AHP. Posteriormente, estes dados foram tabulados e analisados e, em seguida, foram obtidos os índices pertinentes à análise.

## **5. Estudo de caso no setor de suplementação animal**

### **5.1. A empresa**

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de suplementação animal localizada na região sul mato-grossense. Sendo considerada uma organização de médio porte, produz anualmente aproximadamente 33.000 toneladas de produtos destinados aos mercados dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo.

Atualmente, não há na empresa um método estruturado para previsão de demanda baseado nos modelos tradicionais encontrados na literatura. A previsão é obtida com base nos dados históricos e nos índices sazonais da demanda dos produtos comercializados. Deste modo, não é possível levar em consideração as variáveis externas que possam interferir na demanda destes produtos. A não incorporação das variáveis no processo de previsão pode acarretar em informações defasadas e equivocadas sobre a realidade dos fatos. Deste modo, o

uso de tais informações pode não apresentar relevância para o planejamento eficaz dos recursos da empresa.

Tendo em vista que tanto a oferta dos recursos quanto a demanda pelos produtos da empresa são sazonais, entender os fatores que interferem na demanda e estabelecer uma estrutura apropriada para estimativa de vendas é importante para as atividades, pois impactará em diversos setores, como compras, gestão de estoques, operações e comercial.

## 5.2. Seleção dos especialistas

Nesta pesquisa foram selecionados três especialistas, apesar da literatura recomendar entre cinco e vinte especialistas. Eles atuam diretamente em setores que são subsidiados pelas informações que o presente trabalho busca proporcionar. Os critérios de seleção destes especialistas foram: *i*) nível de conhecimento e de formação para contribuição com o estudo; *ii*) área de atuação dentro da organização; e, *iii*) tempo de atuação no segmento. A seguir são apresentados alguns detalhes destes especialistas:

***i*) Especialista 1:** graduado em economia, ocupa o cargo de diretor da empresa há seis anos e está diretamente envolvido com as questões estratégicas da organização. Tem conhecimento sobre as técnicas de previsão de demanda e também dos perfis dos clientes e do mercado onde a empresa atua.

***ii*) Especialista 2:** graduado em zootecnia, ocupa a posição de gerente comercial e atua no ramo de suplementação animal há treze anos. Também conhece os perfis dos clientes e está na frente de trabalho para explorar novos mercados. Suas opiniões são consideradas muito importantes para o estudo, visto que este profissional atua diariamente com clientes e precisa estar atualizado sobre as características e posições do mercado.

***iii*) Especialista 3:** graduado em zootecnia, está neste segmento há vinte e seis anos. Atualmente ocupa a posição de gerente de operações e já atuou no departamento comercial como coordenador de território. Possui vasta experiência sobre as características do mercado.

## 5.3. Identificação das variáveis

Este processo foi realizado através de sessão de *brainstorming* com os três especialistas selecionados. Tal procedimento foi necessário para que as informações pudessem ser reunidas e discutidas, visando obter maior clareza e coerência em relação ao problema proposto por este trabalho. Inicialmente os especialistas indicaram dezesseis variáveis que poderiam afetar a demanda, sendo elas preço da arroba do boi, condições climáticas (índice de pluviosidade),

número de confinamentos, preços das commodities, crescimento do rebanho, consumo da carne bovina, volume de exportação da carne bovina, consumo da carne suína, volume de exportação da carne suína, consumo da carne de frango, volume de exportação da carne de frango, política de preços (própria x concorrente), confiabilidade da marca, ações de marketing, taxa de crescimento da organização e renda per capita. Posteriormente às discussões, verificaram que apenas sete delas seriam de interesse para o estudo, visto que na visão deles as demais estariam relacionadas com estas sete. As variáveis são: *i)* preço da arroba do boi; *ii)* número de animais abatidos; *iii)* condições climáticas; *iv)* tamanho do rebanho; *v)* número de animais confinados; *vi)* preços dos insumos e *vii)* *Market share*.

É importante ressaltar que as variáveis indicadas pelos especialistas contemplam apenas o ambiente externo da empresa, ou seja, são variáveis aleatórias sobre as quais a organização não possui controle. Após esta etapa, fez-se uso do AHP para priorizar as variáveis levantadas nesta etapa, conforme pode ser visto na próxima etapa.

#### 5.4. Aplicação do método AHP

O primeiro passo realizado foi a construção da árvore hierárquica do método. A Figura 2 apresenta a estruturação hierárquica do método AHP obtida para o estudo de caso, onde todas as variáveis encontram-se no nível intermediário de hierarquia.

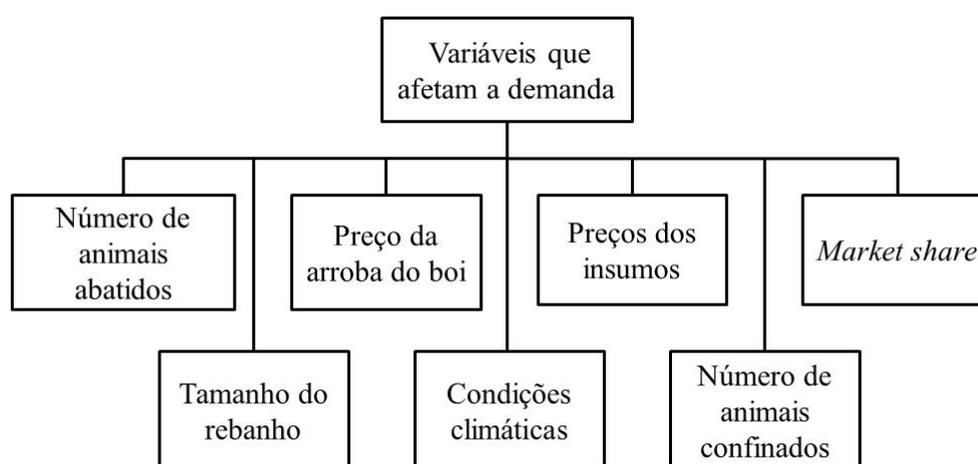


Figura 2: Estruturação hierárquica do método AHP para o estudo de caso

Posteriormente à construção da árvore hierárquica do AHP, cada um dos três especialistas preencheu a Matriz de Comparação Pareada – MCP para as variáveis situadas no nível intermediário da estrutura hierárquica apresentada na Figura 2. Tal preenchimento foi realizado indagando-se, entre as variáveis da coluna e da linha, qual é a que mais afeta a

demanda dos produtos destinados à suplementação animal e com qual intensidade utilizando a escala da Tabela 1 apresentada por Saaty (1991). As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam as Matrizes de Comparações Pareadas preenchidas pelos especialistas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 3: Matriz de Comparação Pareada – Especialista 1

	Tamanho do rebanho	Preço da arroba do Boi	Condições climáticas	Número de animais confinados	Preços dos insumos	<i>Market share</i>	Número de animais abatidos
Tamanho do rebanho	1,00	7,00	7,00	9,00	7,00	9,00	9,00
Preço da arroba do Boi	0,14	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
Condições climáticas	0,14	0,33	1,00	5,00	5,00	3,00	3,00
Número de animais confinados	0,11	0,20	0,20	1,00	0,20	0,33	0,33
Preços dos insumos	0,14	0,33	0,20	5,00	1,00	1,00	1,00
<i>Market share</i>	0,11	0,20	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
Número de animais abatidos	0,11	0,14	0,33	3,00	1,00	1,00	1,00
<b>Soma</b>	<b>1,75</b>	<b>9,20</b>	<b>12,06</b>	<b>31,00</b>	<b>18,20</b>	<b>20,33</b>	<b>22,33</b>

Tabela 4: Matriz de Comparação Pareada – Especialista 2

	Tamanho do rebanho	Preço da arroba do Boi	Condições climáticas	Número de animais confinados	Preços dos insumos	<i>Market share</i>	Número de animais abatidos
Tamanho do rebanho	1,00	0,20	0,33	1,00	0,20	1,00	0,33
Preço da arroba do Boi	5,00	1,00	5,00	5,00	3,00	5,00	3,00
Condições climáticas	3,00	0,20	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00
Número de animais confinados	1,00	0,20	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33
Preços dos insumos	5,00	0,33	1,00	3,00	1,00	5,00	0,33
<i>Market share</i>	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	0,33
Número de animais abatidos	3,00	0,33	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00
<b>Soma</b>	<b>19,00</b>	<b>2,46</b>	<b>9,66</b>	<b>17,00</b>	<b>8,73</b>	<b>17,00</b>	<b>6,32</b>



Tabela 7: Normalização da Matriz de Comparação Pareada - Especialista 2

	Tamanho do rebanho	Preço da arroba do Boi	Condições climáticas	Número de animais confinados	Preços dos insumos	<i>Market share</i>	Número de animais abatidos	Pesos ( $w$ )
Tamanho do rebanho	0,05	0,08	0,03	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05
Preço da arroba do Boi	0,26	0,41	0,52	0,29	0,34	0,29	0,47	0,37
Condições climáticas	0,16	0,08	0,10	0,18	0,11	0,06	0,16	0,12
Número de animais confinados	0,05	0,08	0,03	0,06	0,04	0,06	0,05	0,05
Preços dos insumos	0,26	0,14	0,10	0,18	0,11	0,29	0,05	0,16
<i>Market share</i>	0,05	0,08	0,10	0,06	0,02	0,06	0,05	0,06
Número de animais abatidos	0,16	0,14	0,10	0,18	0,34	0,18	0,16	0,18
<b>Soma</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Tabela 8: Normalização da Matriz de Comparação Pareada - Especialista 3

	Tamanho do rebanho	Preço da arroba do Boi	Condições climáticas	Número de animais confinados	Preços dos insumos	<i>Market share</i>	Número de animais abatidos	Pesos ( $w$ )
Tamanho do rebanho	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,02
Preço da arroba do Boi	0,21	0,18	0,47	0,21	0,15	0,20	0,14	0,22
Condições climáticas	0,21	0,04	0,09	0,21	0,15	0,12	0,14	0,14
Número de animais confinados	0,12	0,04	0,02	0,04	0,03	0,12	0,06	0,06
Preços dos insumos	0,21	0,18	0,09	0,21	0,15	0,12	0,14	0,16
<i>Market share</i>	0,02	0,04	0,03	0,01	0,05	0,04	0,05	0,03
Número de animais abatidos	0,21	0,53	0,28	0,30	0,45	0,36	0,42	0,36
<b>Soma</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Em seguida, continua a operacionalização do método AHP verificando a consistência da Matriz de Comparação Pareada preenchida por cada especialista. Sendo assim, multiplica-se cada entrada destas matrizes pelos pesos ( $w$ ) normalizados encontrados na etapa anterior e, posteriormente, determina-se o autovalor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ).

O cálculo do *lambda* máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) é realizado obtendo-se a soma de cada linha da Matriz de Consistência e, em seguida, dividindo-se pelo seu respectivo peso ( $w$ ). A média destes valores é o autovalor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ).

A Tabela 9 apresenta os autos-valores encontrados para cada Matriz de Consistência dos especialistas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 9: Autovalores encontrados para cada variável e autovalores máximos ( $\lambda_{\text{máx}}$ )

	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3
Tamanho do rebanho	8,81	7,24	7,12
Preço da arroba do Boi	8,33	7,66	8,43
Condições climáticas	7,71	7,53	7,85
Número de animais confinados	7,56	7,35	7,24
Preços dos insumos	7,09	7,34	7,98
<i>Market share</i>	7,35	7,39	7,60
Número de animais abatidos	7,27	7,91	7,86
$\lambda_{\text{máx}}$	<b>7,73</b>	<b>7,49</b>	<b>7,72</b>

Com a obtenção do autovalor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) é possível determinar o Índice de Consistência (IC), através da fórmula  $(\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$ . Neste estudo de caso, os Índices de Consistência foram de 0,12, 0,08 e 0,12 para os especialistas 1, 2 e 3, respectivamente.

Estes índices, quando divididos pelo Índice de Consistência Randômico, que neste caso é 1,32 ( $n = 7$ ), obtêm-se a Razão de Consistência (RC) dos julgamentos realizados pelos especialistas. As Razões de Consistência das matrizes foram de 0,09, 0,06 e 0,09 para os especialistas 1, 2 e 3, respectivamente.

A Razão de Consistência indica que em 9% das vezes os especialistas 1 e 3 e em 6% das vezes o especialista 2, não conseguiram nenhum raciocínio lógico sobre o problema analisado. Salienta-se que os três valores encontrados para RC foram inferiores à 0,1, indicando que as matrizes estão ajustadas para fazerem as análises desejadas, ou seja, são consideradas consistentes conforme recomenda Saaty (1991).

### 5.5. Priorização e seleção das variáveis

A priorização de variáveis pelo método AHP é realizada através dos pesos ( $w$ ) encontrados para cada uma delas nas matrizes normalizadas. Como neste estudo de caso participaram três especialistas, determinou-se a média dos pesos ( $w_{\text{médio}}$ ) de cada variável das

matrizes para descrever a importância relativa de cada uma delas sobre a demanda de produtos destinados à suplementação animal.

A Tabela 10 apresenta os valores individuais dos pesos ( $w$ ) e os pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ ) das variáveis e a Figura 3 apresenta as variáveis com seus respectivos pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ ), classificadas em ordem decrescente de importância

Tabela 10: Pesos relativos e pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ ) de cada variável

	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	Pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ )
Tamanho do rebanho	0,49	0,05	0,02	0,19
Preço da arroba do Boi	0,19	0,36	0,22	0,26
Condições climáticas	0,13	0,15	0,14	0,14
Número de animais confinados	0,03	0,05	0,06	0,05
Preços dos insumos	0,06	0,13	0,16	0,12
<i>Market share</i>	0,05	0,05	0,03	0,05
Número de animais abatidos	0,05	0,21	0,36	0,21
<b>Soma</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

É possível observar, através da Tabela 10, que há uma diferença representativa entre os pesos obtidos para a variável tamanho do rebanho do especialista 1 em relação aos especialistas 2 e 3, respectivamente. Isto se deve ao fato que o especialista 1, com formação em economia, possui uma visão de que, quanto maior for o rebanho, maior será o consumo de produtos de suplementação animal. Por outro lado, os especialistas 2 e 3, ambos com formação em zootecnia e que possuem visões mais técnica e comercial em relação à demanda dos produtos, consideram outros fatores ligados a estas duas áreas mais importante que o tamanho do rebanho. Cabe salientar que, se não houvesse esta discrepância, talvez esta variável não afetasse a demanda dos produtos.

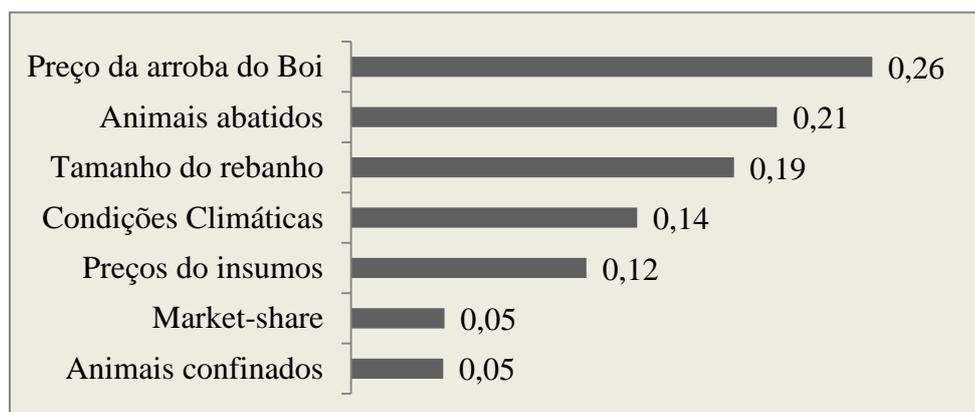


Figura 3: Pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ ) das variáveis classificadas em ordem decrescente

Para selecionar as variáveis a serem avaliadas no modelo de previsão é necessário estabelecer um critério de seleção para complementar a análise do método AHP, sendo utilizada neste estudo de caso a regra de Pareto, conforme apresentado na Figura 4. É possível verificar através desta Figura, que 4 variáveis analisadas (57,14%) apresentam um peso acumulado de 78,40%. Deste modo, as variáveis a serem acrescentadas no modelo de previsão de demanda, em ordem decrescente de importância são: *i)* preço da arroba do boi; *ii)* número de animais abatidos; *iii)* tamanho do rebanho; e *iv)* condições climáticas.

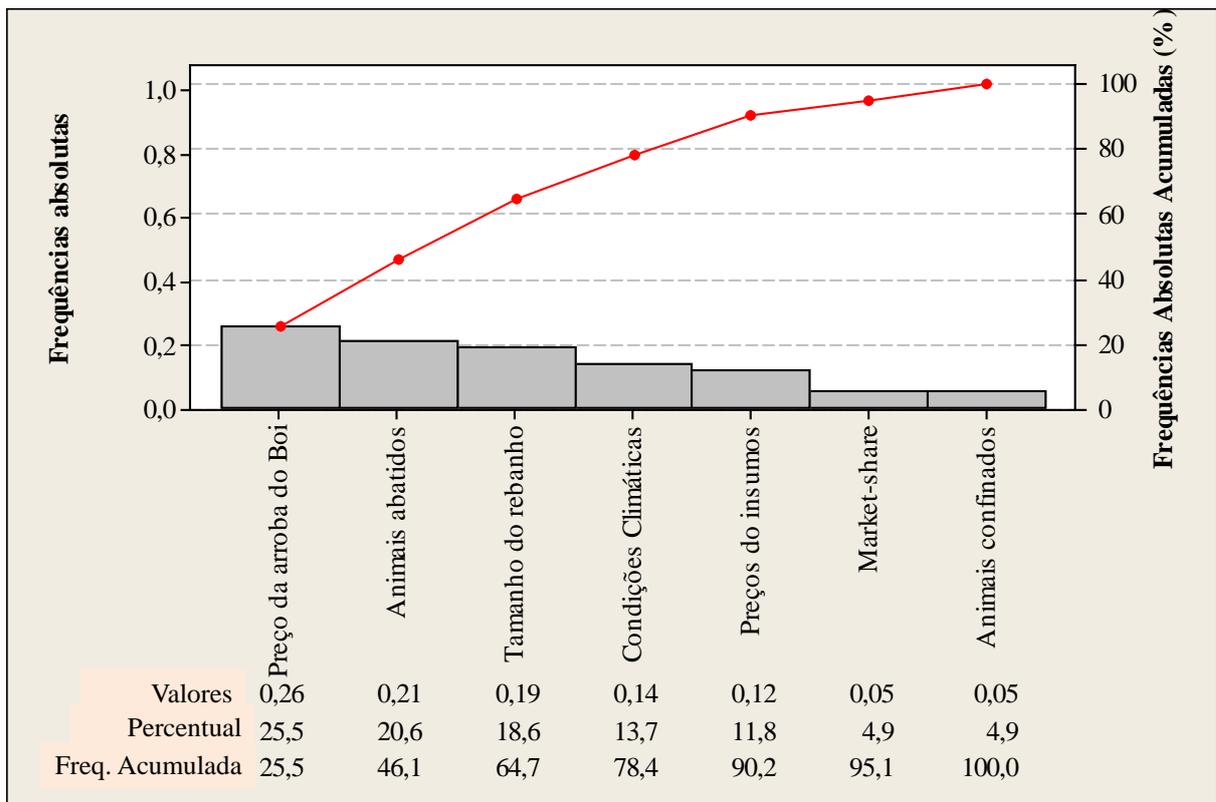


Figura 4: Gráfico de Pareto para seleção das variáveis

Constata-se ainda que o preço da arroba do boi e o número de animais abatidos destacam-se entre as opiniões dos especialistas, pois os mesmos consideram que através de comportamentos passados do mercado, quanto maior o preço da arroba e maior a necessidade de acelerar o processo de engorda para abate dos animais, maior será o consumo de produtos destinados à sua suplementação.

## 6. Considerações finais

Esta pesquisa utilizou o Processo Hierárquico Analítico – AHP para selecionar e priorizar quais as variáveis a serem avaliadas em um modelo de previsão de demanda de

produtos destinados à suplementação animal. Tal priorização e seleção se fazem necessárias para otimização dos tempos na coleta e tratamento dos dados das variáveis consideradas mais importantes, em detrimento às variáveis menos importante, na visão dos especialistas que participaram do estudo.

Para atingir tal proposição, foi necessário primeiramente selecionar os especialistas para contribuir com o estudo e, em seguida, reuni-los para através de *brainstorming* identificar as variáveis que podem afetar a demanda dos produtos. Com esta identificação foi possível aplicar o método AHP com os especialistas selecionados para priorizar tais variáveis. Estes especialistas preencheram as Matrizes de Comparações Pareadas – MCP e, posteriormente, foram construídas as matrizes normalizadas, obtendo-se os pesos das variáveis e, por fim, foram verificadas as consistências destas matrizes por meio da Razão de Consistência (RC).

A partir dos pesos relativos ( $w$ ) de cada variável apresentados pelo método AHP, foi possível determinar os pesos médios ( $w_{\text{médio}}$ ) considerando as opiniões dos três especialistas. Através dos pesos médios, as variáveis foram priorizadas em ordem decrescente de importância para o objetivo almejado do seguinte modo: *i*) preço da arroba do boi com peso 0,26; *ii*) número de animais abatidos sendo o peso de 0,21; *iii*) tamanho do rebanho apresentando peso igual 0,19; *iv*) condições climáticas sendo o peso de 0,14; *v*) preços dos insumos com peso de 0,12; *vi*) *Market share* apresentando peso de 0,05; e *vii*) número de animais confinados tendo o peso apresentado de 0,05.

A seleção das variáveis a serem acrescentadas no modelo de previsão foi realizada através da regra de Pareto. Sendo assim, as variáveis a serem acrescentadas no modelo, em ordem decrescente de importância são: *i*) preço da arroba do boi; *ii*) número de animais abatidos; *iii*) tamanho do rebanho; e *iv*) condições climáticas. Tais variáveis representam 57,14% das variáveis analisadas e um peso acumulado de 78,40%.

Por fim, os resultados obtidos com este estudo demonstram que o método AHP pode ser utilizado para priorizar variáveis a serem avaliadas em um modelo de previsão, através da indicação do grau de importância de cada uma delas em relação ao problema proposto.

## Referências

ABRAHAM, B.; LEDOLTER, J. *Statistical Methods for Forecasting*. New York: John Wiley & Sons, 2005.

ALTABET, R. The Forecaster as a Key Member of Strategic Planning Team. *Journal of Business Forecasting Methods & Systems*. v. 17, n.3, p. 3-6, 1998.

BELTON, V., GOODWIN, P. Remarks on the Application of the Analytic Hierarchy Process to Judgmental Forecasting. *International Journal of Forecasting*, v. 12, p. 155-161, 1996.

BLAIR, A.R., NACHTMANN, R., SAATY, T.L., WHITAKER, R. Forecasting the resurgence of the US economy in 2001: an expert judgment approach. *Socio-Economic Planning Sciences* 36: p. 77–91, 2002.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, 3. ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. *Metodologia Científica*. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

DIAS, M. F. P.; FENSTERSEIFER, J. E.; SELBITTO, M. A. Análise multicriterial em estratégia de operações: estudo de caso com compradores de arroz de seis redes supermercadistas. *Produção Online*, v.11, n. 3, p. 707-734, 2011.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. *Fundamentos da Administração da Produção*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

FORMAN, E. H.; DYER, R. F. *An Analytic Approach to Marketing Decisions*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991.

FORMAN, E., PENIWATI, K. Aggregating individual judgements and priorities with the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, v. 108, p. 165-169, 1998.

FORMAN, E.H.,GASS,S.I. *The Analytic Hierarchy Process — an exposition*. Operations Research, p. 469–486, 2001.

GRANDZOL, J. R. *Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: a case for the analytic hierarchy process*. IR Applications, v. 6, 13 p., 2005.

KAHN, K. An Exploratory Investigation of New Product Forecasting Practices. *The Journal of Product Innovation Management*. v. 19, n. 2, p. 133-143, 2002.

KOTLER, P. *Administração de Marketing*. São Paulo: Ed. Prentice Hall, 2000.

LEMONS, F. O. *Metodologia para seleção de métodos de previsão de demanda*. 2006. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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

MONTGOMERY, D.C. & RUNGER, G.C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PELLEGRINI, F. R. *Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda*. 2000. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PERGHER, I.; VACCARO, G. L.; PRADELLA, M. Aplicação da simulação computacional para determinar a capacidade produtiva do processo de produção de pães: um estudo de caso. *Produto & Produção*, vol. 14 n. 1, p. 22-39, 2013.

RAHARJO, H., XIE, M., BROMBACHER, A.C. On modeling dynamic priorities in the analytic hierarchy process using compositional data analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 194, p. 834–846, 2009.

SAATY, T. L. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: Makron Books, 1991. 367 p.

SAATY, T.L. Highlights and Critical Points in the Theory and Application of the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, v. 74, p. 426-447, 1994.

SAATY, T.L. *The Analytic Hierarch Process*. RWS Publications, 1996.

SUBRAMANIAN, N; RAMANATHAN, R. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, v. 138, p. 215–241, 2012.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Modelo composto para prever demanda através da integração de previsões. *Produção*, v. 16, n.3, p. 493-509, 2006.

VERÍSSIMO, A. J.; ALVES, C. C.; HENNING, E.; AMARAL, C. E.; CRUZ, A. E. Métodos estatísticos de suavização exponencial Holt-Winters para previsão de demanda em uma empresa do setor metal mecânico. *Gestão Industrial*, v. 08, n. 4, p. 154-171, 2012.

WERNER, L. *Um Modelo Composto para Realizar Previsão de Demanda através da Integração da Combinação e de Previsões e Ajuste Baseado na Opinião*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

YUKSEL, S. An integrated forecasting approach to hotel demand. *Mathematical and Computer Modelling*, p. 1063–1070, 2007.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

### III. ARTIGO 2: Combinação de previsões das vendas no setor de suplementação animal: um estudo de caso com ajustes de especialistas

**Rodolfo Benedito da Silva (UFRGS/IBG)**

rodolfoengenheiro@hotmail.com

**Liane Werner (UFRGS)**

liane@producao.ufrgs.br

**Resumo:** O presente trabalho teve por objetivo realizar uma adaptação do modelo composto de previsão idealizado por Werner (2004), para estimativas de vendas de produtos destinados à suplementação animal. Para que este objetivo fosse atingido, primeiramente obtiveram-se as previsões individuais através da modelagem estatística (modelo de suavização exponencial) e da modelagem causal (usando análise de regressão). Posteriormente, estas previsões foram combinadas através dos métodos de variância mínima com erros das previsões individuais não correlacionados e da média aritmética. Com a obtenção da previsão combinada, dois especialistas da empresa realizaram os ajustes nesta previsão, por meio de uma estrutura simplificada baseada no método Processo Hierárquico Analítico. Estes ajustes possibilitaram obter a previsão final. Com os resultados obtidos, constatou-se que o método de combinação de previsões destaca-se em relação às demais técnicas, sendo a previsão via variância mínima utilizada para obtenção da previsão final.

**Palavras-chave:** Previsão de demanda; Previsão combinada; Suplementação animal.

**Abstract:** *The present work has as objective to do an adaptation of a composed model of prediction idealized by Werner (2004), to sale estimates of products destined to animal supplementation. In order to reach this objective, first it was obtained the individual prediction through the statistical (modeling exponential smoothing) and the causal modeling (using regression analysis). After, these predictions were combined through the minimum variance methods with individual prediction errors not correlated and the arithmetic media. With the obtained combined prediction, two experts of the company did the adjustments in this prediction, through a simplified structure based on the method Analytic Hierarch Process. These adjustments enabled them to obtain a final prediction. With the obtained results, it was pointed that the method of prediction combination contrasts in relation to the others techniques, and the prediction via minimum variance was used to obtain the final prediction.*

**Keywords:** *Demand forecasting; Combining forecast; Animal supplementation.*

## 1. Introdução

A previsão de demanda tem desempenhado um papel importante dentro das organizações, pois através dela é possível obter uma declaração antecipada do comportamento do mercado em momentos futuros. Tendo em mãos estas informações, os gestores podem definir planos para atender a demanda, alocando de modo eficaz os recursos disponíveis, tais como, mão-de-obra, recursos financeiros, estoques, dentre outros.

Tendo em vista que o processo de previsão envolve incertezas, não basta somente obter as informações para garantir a eficiência da aplicação da ferramenta. É preciso que estas informações apresentem boa acurácia, de modo que sejam mais confiáveis, conforme exposto por Abraham e Ledolter (2005).

Existem diversos métodos de previsão de demanda, no entanto, muitos deles usam as informações utilizando uma única técnica de previsão (WERNER e RIBEIRO, 2006). Este fato pode comprometer a acurácia da previsão, pois não permite que outras informações possam ser incorporadas no processo. Para sanar esta lacuna, é necessário agregar diversas previsões em uma única e nova previsão (ARMSTRONG, 2001; WERNER, 2004). Esta integração tem permitido reduzir os erros de previsão e obter previsões mais acuradas em relação às previsões individuais (CLEMEN, 1989; RODRIGUES e STEVENSON, 2013).

Segundo Werner (2004), a obtenção de previsões confiáveis requer a utilização de várias técnicas, de modo a captar o maior número de informações disponíveis. O processo de incorporação de diferentes previsões obtidas de diferentes técnicas é realizado através do método conhecido como combinação de previsões.

A principal vantagem da combinação de previsões é a incorporação de conhecimentos sobre a natureza e comportamento das variáveis estudadas no processo de previsão de demanda, aliado às informações contextuais obtidas dos dados históricos, de fontes de informações públicas e/ou de fontes internas da empresa. Especialistas com domínio de conhecimento possuem capacidade de julgar quais informações são importantes para o processo de previsão (WEBBY et al., 2001). Estudos como de Armstrong e Collopy (1998), Lemos (2006) e Rodrigues e Stevenson (2013) apresentam evidências de que a combinação de previsões tem apresentado resultados satisfatórios quanto à acurácia.

Este estudo fará uma adaptação do modelo integrado de previsão proposto por Werner (2004), para prever demanda de produtos destinados à suplementação animal. Para isto, serão considerados dados históricos que refletem o comportamento da demanda em períodos anteriores, dados históricos das variáveis que interferem na demanda dos produtos e dados de

especialistas que contribuirão com conhecimentos para realizar os ajustes na previsão integrada com o intuito de obter a previsão final.

O trabalho está dividido em oito seções, incluindo esta introdução. A seção 2 apresenta o levantamento bibliográfico sobre técnicas de previsões de demanda. Na seção 3 é apresentada a combinação de previsões. Logo após, a seção 4 trata o ajuste de previsões. A seção 5 aborda o modelo composto de previsão. Em seguida, na seção 6 encontram-se os procedimentos metodológicos. Na seção 7 são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Por fim, a seção 8 apresenta as conclusões do estudo.

## 2. Técnicas de previsões

As técnicas de previsões, aqui chamadas de previsões individuais, são obtidas através de modelos quantitativos ou métodos qualitativos de previsão de demanda. Os métodos quantitativos são aqueles que usam dados históricos para estimativas de demandas em momentos futuros. Para isto, requerem a construção de modelos matemáticos a partir desses dados históricos, dispostos em forma de séries temporais. Tais técnicas utilizadas para a construção desses modelos são conhecidas por técnicas de *forecasting* (PELLEGRINI, 2000).

As técnicas quantitativas se dividem em dois grupos, dependendo de como as causas da demanda são consideradas nos modelos. No primeiro, enquadram-se os modelos baseados em séries temporais, aqueles que não buscam conhecer as causas da demanda e sim descrever o comportamento desta demanda em função de dados passados. Já no segundo grupo, encontram-se os modelos causais, que se preocupam em identificar e compreender as variáveis que interferem na demanda (MAKRIDAKIS et al., 1998). Salienta-se que os dois grupos são focos deste estudo.

Dentre as técnicas baseadas em séries temporais, encontram-se a média móvel, suavização exponencial e o método de *Box-Jenkins*. Já entre as técnicas baseadas nos modelos causais, têm-se os modelos obtidos via análise de regressão linear simples ou múltipla.

Como este artigo foca no uso de modelos de suavização exponencial para previsão estatística, somente estes modelos serão delineados neste referencial teórico. Os métodos de previsão de demanda que aplicam suavização exponencial são divididos em três categorias: *i*) Suavização Exponencial Simples; *ii*) Suavização Exponencial com Tendência - modelo linear de *Holt* e, por fim; *iii*) Suavização Exponencial com Sazonalidade - modelo de *Holt-Winters* (MAKRIDAKIS et al., 1998). Esta classificação se deve ao seguinte fato: o modelo de suavização exponencial simples leva em consideração apenas a componente de nível na

modelagem; o modelo linear de *Holt* considera tanto o nível como a tendência e o modelo de *Holt-Winters* contempla nível, tendência e sazonalidade.

O modelo de Suavização Exponencial Simples é um método que obtêm a previsão com base na previsão anterior, acrescentando o erro auferido nesta previsão, corrigido por um coeficiente de ponderação (HOLT, 2004).

Para casos em que os dados históricos apresentam tendência linear e não apresentam sazonalidade, Makridakis et al. (1998), recomendam que seja utilizado o modelo linear de *Holt*. Este método, também conhecido como Suavização Exponencial Dupla, contempla o nível e a tendência da série temporal empregando duas constantes de suavização,  $\alpha$  e  $\beta$  (com valores entre 0 e 1, e não relacionados).

Por fim, tem-se o modelo de *Holt-Winters* que é indicado para casos em que as séries temporais apresentam padrão de demanda com tendência linear e sazonalidade. Este modelo faz aplicação de equações de suavização para estimar o nível, a tendência e a sazonalidade da série temporal estudada no processo de previsão (MAKRIDAKIS et al., 1998). Tal método apresenta duas abordagens distintas, as quais dependem da forma como é modelada a sazonalidade: forma multiplicativa ou aditiva. A forma multiplicativa é indicada para séries temporais em que a amplitude da sazonalidade varia com o nível da demanda. A forma aditiva é apropriada para séries temporais cuja amplitude da sazonalidade é independente do nível de demanda (HOLT, 2004).

As equações utilizadas para obter previsões pelos modelos de suavização exponencial são apresentadas na Tabela 1. Na Tabela 1,  $F$  é o valor da observação prevista,  $Y$  corresponde à demanda real,  $L$  é a estimativa do nível da série temporal,  $b$  corresponde à estimativa de tendência da série temporal,  $S$  é o índice sazonal da série temporal,  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são constantes de suavização (com valores entre 0 e 1, não correlacionados, que controlam o peso relativo ao nível, à tendência e à sazonalidade, respectivamente),  $t$  é o instante de observação no tempo ( $t = 1, 2, 3...$ ) e, por fim,  $m$  são os períodos a frente que se deseja obter previsões ( $m = 1, 2, 3...$ ).

Tabela 1: Equações dos modelos de suavização exponencial

Modelos	Fórmulas
Suavização Exponencial Simples	$F_t = F_{t-1} + \alpha(Y_{t-1} - F_{t-1})$
Modelo linear de <i>Holt</i>	$F_{t+m} = L_t + b_t m$ $L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$ $b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$
Modelo de <i>Holt-Winters</i> (método multiplicativo)	$F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m}$ $L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$ $b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$ $S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s}$
Modelo de <i>Holt-Winters</i> (método aditivo)	$F_{t+m} = (L_t + b_t m) + S_{t-s+m}$ $L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$ $b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$ $S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s}$

Os modelos causais, aqueles que buscam conhecer as causas da demanda e as variáveis que interferem na mesma, são estruturados por análise de regressão e podem ser divididos em: *i*) regressão linear simples; *ii*) regressão linear múltipla. A regressão linear simples considera apenas um único regressor ou preditor  $X$  e uma variável dependente ou variável de resposta  $Y$  de modo linear (MONTGOMERY e RUNGER, 2009). A regressão simples é baseada na correlação linear, medida pelo coeficiente linear de Pearson. Quando se eleva este coeficiente ao quadrado, têm-se o coeficiente de determinação, que é um indicador de qualidade da regressão realizada. Os valores deste indicador variam de 0 a 1 e, valores próximos a 1 são desejáveis e indicam que as variáveis dependente e independente estão fortemente correlacionadas (MONTGOMERY e RUNGER, 2009), o que indica que um modelo de regressão será adequado.

Segundo Werner (2004), em muitas ocasiões, dificilmente uma variável dependente  $Y$  se relaciona com apenas uma única variável explicativa, por exemplo, a demanda de um determinado produto depende de diversas outras variáveis, como por exemplo: preço, preço do concorrente, renda do consumidor. Para situações como esta, a regressão linear múltipla deve ser utilizada. Sendo assim, a primeira etapa é coletar dados históricos de cada variável independente. A aplicação do modelo de regressão linear múltipla requer a listagem de todas

as variáveis que interferem na demanda de  $Y$ . A lista inicial de variáveis independentes pode ser obtida com base nos seguintes fatores: *i*) experiência de especialistas; *ii*) disponibilidade dos dados, e; *iii*) restrições de tempo e custo. Tal lista deve ser filtrada utilizando procedimentos formais, tais como regressões de subconjuntos de variáveis ou análise de componentes principais de todas as variáveis (incluindo  $Y$ ) para decidir quais são as variáveis importantes. De modo geral, uma combinação de procedimentos é utilizada para obter a lista final de variáveis explanatórias (MAKRIDAKIS et al., 1998). Neste estudo, estas variáveis foram selecionadas através da aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* conforme proposto por Silva (2014).

Quando se trata da utilização de métodos quantitativos de previsão, há necessidade de mensurar o desempenho das modelagens, com o intuito de identificar quão acurada é esta previsão. Segundo Paliwal e Kumar (2009), diversos estudos utilizaram as medidas MAPE (*Mean Absolute Perceptual Error*), MAE (*Mean Absolute Error*) e MSE (*Mean Square Error*) para medir o desempenho das modelagens. As medidas de acurácia MAPE, MAE e MSE podem ser obtidas através das equações apresentadas na Tabela 2. Na Tabela 2,  $e_t$  é o erro de previsão no instante  $t$ ,  $n$  é o número de observações,  $Y_t$  é o valor observado no tempo  $t$  e  $t = 1, 2, \dots, n$ .

Tabela 2: Medidas de acurácia

Siglas	Fórmulas
MAPE	$\sum_{t=1}^n \frac{ e_t/Y_t * 100 }{n}$
MAE	$\sum_{t=1}^n \frac{ e_t }{n}$
MSE	$\sum_{t=1}^n \frac{e_t^2}{n}$

Por sua vez, as técnicas qualitativas obtêm previsões futuras através de opiniões, intuição, indicadores, pesquisas de mercado, experiência de especialistas ou informações subjetivas. De acordo com Wright et al. (1996) e Goodwin (2002), a opinião está envolvida em toda e qualquer técnica de previsão de demanda.

Tendo em vista a natureza subjetiva, estes métodos geralmente são utilizados quando os dados são escassos para formulação de estratégias; desenvolvimento de novos produtos e tecnologias que possuem introdução e aceitação de mercado desconhecidas e também no

desenvolvimento de planos de longo prazo (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; HYNDMAN, 1998).

Visto que os métodos quantitativos de previsão não agregam mudanças internas e externas ao ambiente organizacional em suas análises, as técnicas subjetivas devem ser integradas ao processo preditivo com o intuito de evitar a obtenção de resultados equivocados. De acordo com Sanders e Ritzman (2001), as previsões baseadas em julgamento são facilmente adaptáveis às mudanças no ambiente quando os especialistas têm domínio do conhecimento atualizado e é necessário ter cuidado com as inconsistências e tendências naturais ao julgamento humano, que podem comprometer a confiabilidade dos resultados.

Para evitar que isto aconteça, a previsão subjetiva deve ser realizada através de um método consistente e estruturado. Além disso, deve-se buscar a obtenção de previsões mais acuradas. Diversas técnicas de previsão subjetiva são encontradas na literatura, dentre eles destacam-se: *i*) método Delphi; *ii*) analogia histórica; *iii*) pesquisa de mercado; e *iv*) painel de consenso.

### **3. Combinação de previsões**

A combinação de duas ou mais técnicas de previsões tem apresentado boa aceitação e demonstrado evidências de um aumento na acuracidade das previsões finais (WEBBY e O'CONNOR, 1996; COSTANTINI e PAPPALARDO, 2010). Na visão de Lawrence et al. (2006), isto se deve ao fato de que as previsões, quando combinadas, agregam informações de diversas fontes, aumentando deste modo as informações sob as quais a previsão está fundamentada.

A combinação de previsões parte do seguinte princípio: baseando-se em conjunto de dados históricos e informações contextuais, são gerados os modelos de previsões com base em diferentes métodos (método 1, método 2, ... , método  $n$ ), obtendo-se  $n$  previsões. Posteriormente, estas previsões são combinadas e gera-se uma única previsão final, conforme pode ser visto na Figura 1. De acordo com Armstrong (2001), o ideal seria utilizar cinco técnicas de previsão na combinação para obter uma boa eficiência. Segundo o autor, a combinação de cinco previsões ganha-se com a redução dos erros. No entanto, quando são combinadas mais de cinco técnicas, os ganhos são menores e inferiores a cada acréscimo.

Na literatura, pode-se encontrar diversos estudos que propõem a combinação de previsões. No entanto, para fazer uso desta combinação e considerar as variáveis que podem

afetar as previsões, há necessidade, segundo Werner (2004), de saber quais técnicas usar e como proceder (quais métodos utilizar para combiná-las).

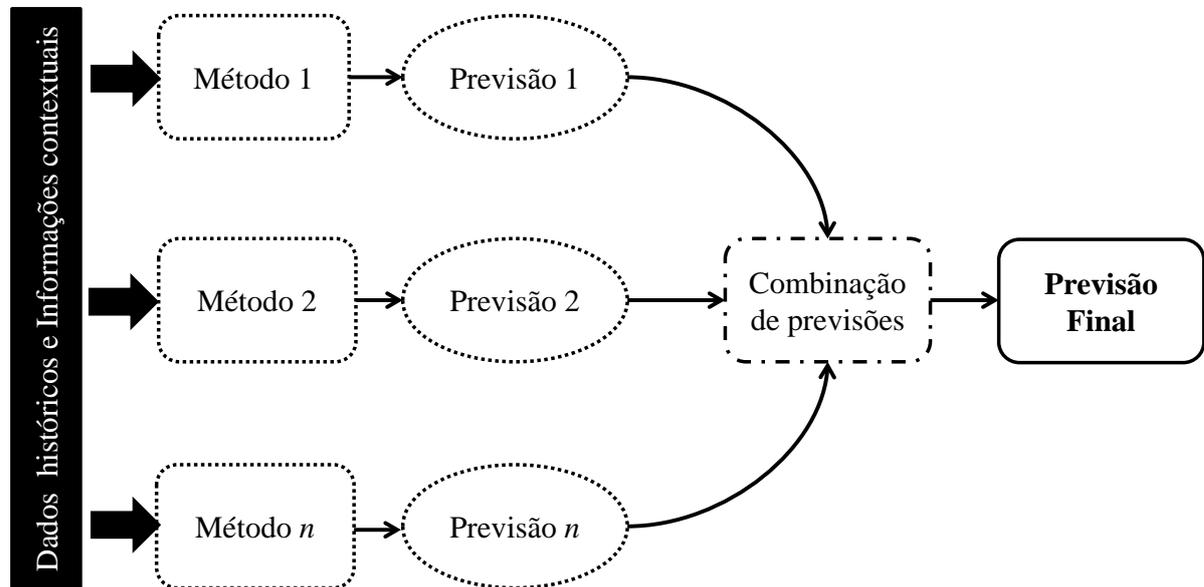


Figura 1: Combinação de previsões  
Fonte: Adaptado de Webby e O'Connor (1996, p. 100)

Existem duas abordagens para combinação de previsões, sendo uma de abordagem objetiva e outra de abordagem subjetiva. Segundo Werner (2004), “a abordagem objetiva reflete os métodos que fazem uso da matemática, de forma que os resultados possam ser repetidos. A abordagem subjetiva inclui esforços intuitivos para combinar previsões-base, empregando conhecimento e opinião individual ou de grupo”.

Os métodos objetivos de combinação foram originados a partir do estudo de Bates e Granger (1969). Estes autores sugeriram o método de combinar as previsões por meio de uma combinação linear de duas previsões objetivas não viciadas (ou devidamente corrigidas), atribuindo peso  $k$  para a primeira previsão e peso  $(1 - k)$  para a segunda, conforme pode ser visto na equação (1).

$$C = k f_1 + (1 - k) f_2 \quad (1)$$

onde:  $C$  é valor combinado,  $f_1$  é a previsão 1,  $f_2$  é a previsão 2 e  $k$  é o peso da previsão 1.

Bates e Granger (1969) recomendam ainda a atribuição de um peso maior à previsão que apresenta os menores erros. Para isto, propuseram a minimização da variância dos erros da previsão combinada.

Após a proposta de obtenção de pesos via variância mínima de Bates e Granger (1969), apresentada anteriormente, De Gooijer e Hyndman (2006) afirmam que diversos métodos já foram propostos para selecionar os pesos combinados, sendo que a média aritmética é a técnica de combinação mais utilizada. O método da média aritmética, composto por duas previsões, é apresentado na equação (2).

$$C = 0,5f_1 + 0,5f_2 \quad (2)$$

onde:  $C$  é o valor combinado,  $f_1$  é a previsão 1 e  $f_2$  é a previsão 2.

De acordo com Werner (2004), apesar de não ter pesos ótimos, a média pode gerar resultados melhores que os métodos mais sofisticados. Esta mesma conclusão também foi relatada por Clemen (1989). Já Armstrong (2001) relata que, embora a média aritmética das previsões demonstre ser relativamente robusta e mais acurada que métodos mais elaborados, diversos autores continuaram na busca pelo melhor método de combinação.

Na literatura não há um consenso de que os métodos de combinação sofisticados são superiores aos mais simples, como a média das previsões individuais, tendo em vista que muitas vezes os métodos simples reproduzem resultados tão bons quanto os mais sofisticados (CHAN et al., 1999).

Pode-se ainda obter a combinação de previsões através de técnicas quantitativas e qualitativas de modo semelhante à combinação apresentada anteriormente na Figura 1. Inicialmente, obtém-se uma previsão quantitativa através de um modelo que se baseia em dados históricos e, paralelamente, é realizada uma análise subjetiva destes mesmos dados, incorporando informações contextuais, obtendo-se a previsão qualitativa. Tais previsões são combinadas gerando a previsão final também com base em informações contextuais (WEBBY e O'CONNOR, 1996).

#### **4. Ajuste de previsões**

O ajuste de previsões baseada na opinião de especialistas consiste em uma maneira de acrescentar informações no processo de previsão. Para isto, os especialistas devem ter disponíveis informações contextuais não capturadas pelo modelo estatístico e também domínio de conhecimento para fazer a interpretação de modo correto dos eventos inesperados e das informações informais (STAUDT, 2011). De acordo com Armstrong e Collopy (1998), o ajuste de previsões é uma das maneiras mais comuns de integração entre métodos estatísticos e opiniões de especialistas.

Nas visões de Sanders e Ritzman (2001) a decisão de quando e como usar o julgamento no ajuste de previsões estatísticas deve-se considerar cinco princípios, sendo eles: *i)* a previsão estatística deve ser ajustada quando houver domínio de conhecimento suficiente; *ii)* ajustar quando há alto grau de incerteza; *iii)* ajustar quando existe conhecimento de mudanças no ambiente; *iv)* o processo de ajuste deve ser estruturado; e *v)* levar em consideração a integração mecânica de previsões estatísticas e por julgamento.

Webby e O'Connor (1996) recomendam três maneiras de ajuste por julgamento no resultado de uma previsão estatística: *i)* ajuste sem contexto; *ii)* ajuste contextual e; *iii)* ajuste estruturado. A primeira situação pode ser utilizada quando o previsor verifica que a previsão está imprecisa, apesar do mesmo não conseguir associar nenhuma informação contextual com a série, ou seja, sem o uso de qualquer processo de raciocínio. Já o ajuste contextual é usado quando há informações contextuais disponíveis e o especialista ajusta a previsão inicial com o intuito de incorporar os efeitos destas informações. Comumente este ajuste é eficaz, apesar de ser difícil afirmar que o aumento da acuracidade se dá apenas pelo contexto, visto que a experiência e a motivação do especialista podem influenciar. Por sua vez, o ajuste estruturado leva em consideração a aplicação de metodologias estruturadas para construir um julgamento sem informalidade, pois a principal crítica do ajuste por julgamento está em ser, muitas das vezes, de natureza empírica.

O ajuste estruturado pode ser realizado simplificadaamente por meio de um procedimento formal de conhecimento dos especialistas ou até mesmo fazendo-se uso de um sistema de suporte à decisão como, por exemplo, o método *Analytic Hierarchy Process – AHP* (STAUDT, 2011). Werner (2004) fez uso de uma estrutura baseada no AHP para realizar ajustes na previsão de demanda em uma empresa de assistência técnica de computadores. Já Lim e O'Connor (1996), utilizaram o método julgamento revisado para estruturação do ajuste de previsão fictícia de vendas de refrigerantes. Segundo Werner (2004), realizar um ajuste na previsão baseada na opinião de especialistas ainda é um assunto pouco explorado.

Para se tornar útil, o ajuste baseado na opinião deve acrescentar informações que não são consideradas pela previsão estatística de modo estruturado (ARMSTRONG e COLLOPY, 1998). O uso de uma estrutura de ajuste tem por objetivo minimizar a incorporação de viés, intrínseco à tomada de decisão humana (WEBBY e O'CONNOR, 1996).

O bom desempenho do ajuste pode depender também da acurácia da previsão estatística inicial. Exemplificando, quando se realiza um ajuste sem contexto, comumente ele não trará bons resultados quando a previsão estatística é precisa. Entretanto, poderá trazer

resultados satisfatórios quando a previsão estatística apresenta grandes erros ou ainda espaços para melhorias (WEBBY e O'CONNOR, 1996).

## **5. Modelo composto de previsão**

O modelo composto de previsão aqui apresentado foi proposto por Werner (2004). Esta autora desenvolveu um modelo composto para obter previsão de demanda de curto prazo, através de um estudo de caso em uma empresa de assistência técnica de computadores pessoais, com o objetivo de obter previsões mais acuradas.

Werner (2004) ressalta que as etapas e passos descritos do modelo composto apresentado em sua pesquisa são amplamente encontrados na literatura e que a contribuição do seu trabalho está na estruturação do modelo, ou seja, no modo como as etapas e os passos estão reunidos, especificamente, na composição das duas formas de integração, sendo elas: a combinação de previsões e o ajuste baseado na opinião.

O modelo composto apresentado pela autora está estruturado na combinação de três previsões individuais. Tais previsões, com base em informações de séries temporais, dados econômicos e na opinião de especialistas, são agrupadas de modo a permitir a obtenção de uma previsão intermediária. Esta previsão intermediária é então ajustada para obter a previsão final (WERNER, 2004). A estruturação básica do modelo composto pode ser vista esquematicamente através da Figura 2.

Segundo Werner (2004) o modelo composto de previsão completo está estruturado em seis etapas, sendo elas: *i*) verificação da existência de dados e de especialistas; *ii*) obtenção das previsões individuais; *iii*) estudo da variância dos erros das previsões; *iv*) obtenção da previsão combinada; *v*) verificação da necessidade de fazer ajuste e, por fim; *vi*) obtenção da previsão final.

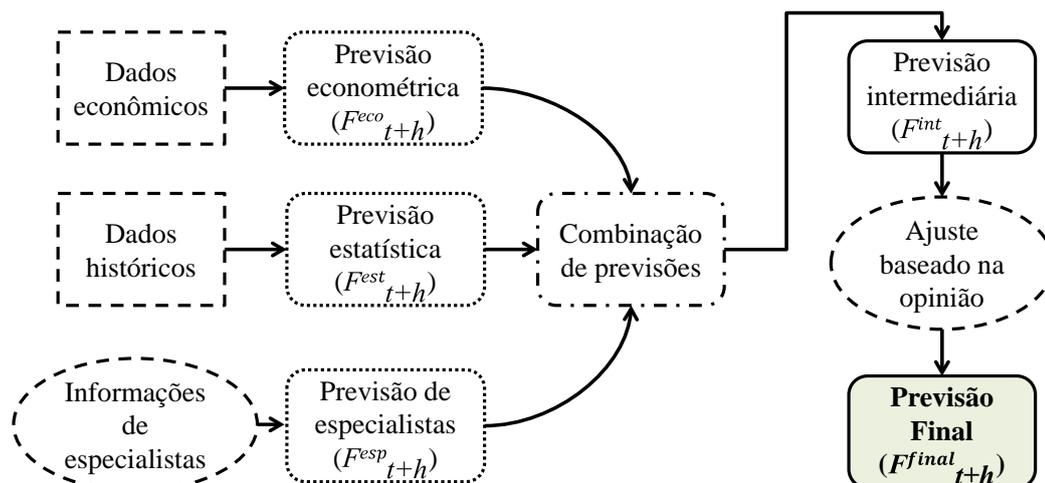


Figura 2: Estruturação básica do modelo composto de previsão

Fonte: Werner (2004, p. 98)

## 6. Procedimentos metodológicos

Tendo em vista os objetivos propostos neste estudo, esta pesquisa é caracterizada como explanatória e descritiva. Segundo Gil (2007), a pesquisa explanatória busca possibilitar mais familiaridade com o problema, com o intuito de torná-lo mais explícito ou de construir hipóteses. Na maioria das vezes estas pesquisas envolvem: *i*) levantamento bibliográfico; *ii*) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema estudado; e *iii*) análise de situações que estimulem a compreensão. Por sua vez, a pesquisa descritiva exige do pesquisador diversas informações a respeito do objeto de pesquisa. Este tipo de pesquisa busca descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (GIL, 2007). A partir da compreensão desses tipos de pesquisas, procedeu-se o estudo do seguinte modo.

Inicialmente foram realizadas pesquisas em livros, artigos científicos, teses, dissertações e demais documentos impressos e digitais, apresentando os modelos de previsão de demanda (métodos quantitativos e qualitativos), combinação de previsões e o modelo composto de previsão proposto por Werner (2004).

A seguir foram obtidas as previsões de demanda através da adaptação do método proposto por Werner (2004) apresentado na seção 5. Esta adaptação consistiu primeiramente na exclusão da previsão baseada na opinião de especialistas, devido à restrição quanto ao número mínimo, sendo recomendado pela literatura entre cinco e vinte especialistas. Por se tratar de uma empresa de médio porte, não há número mínimo suficiente de especialistas que possam contribuir com a previsão. Sendo assim, foram obtidas somente as previsões individuais: estatística e via regressão e, posteriormente, realizou-se a combinação destas duas

previsões. Diferentemente de Werner (2004), neste estudo foram realizadas as duas formas de combinação e, posteriormente, através das medidas de acurácia optou-se pela melhor forma de combinação. Após selecionar o modo de combinar as previsões, foi realizado o ajuste baseado na opinião para a obtenção da previsão final. A Figura 3 apresenta a adaptação do modelo proposto por Werner (2004) utilizado neste estudo.

Para a previsão via regressão, além dos dados históricos de demanda da empresa (variável dependente), foi necessário realizar a coleta, tratamento e análise de dados históricos das variáveis independentes que interferem na demanda dos produtos destinados a suplementação animal. Os dados das variáveis independentes utilizados neste estudo foram selecionados através da técnica de decisão multicriterial AHP (Processo Hierárquico Analítico) com três especialistas da empresa, conforme o estudo realizado por Silva (2014), de onde foram selecionadas as variáveis a serem avaliadas na modelagem via regressão, *i*) preço da arroba do boi; *ii*) número de animais abatidos; *iii*) tamanho do rebanho; e *iv*) condições climáticas.

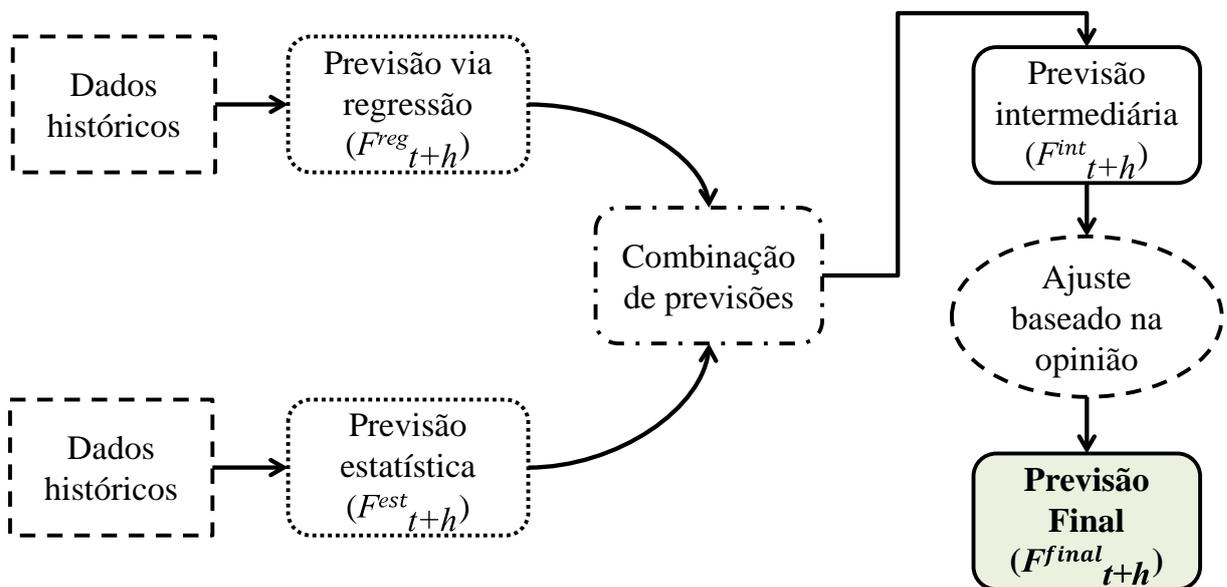


Figura 3: Adaptação do modelo composto de previsão proposto por Werner (2004)  
Fonte: Adaptado de Werner (2004, p. 98)

Todos estes dados foram coletados para o estado de Mato Grosso, que é o mercado onde a empresa comercializa aproximadamente 90% de seus produtos. As fontes de informações consultadas foram: Instituto Mato-grossense de Economia Aplicada (IMEA) – preço da arroba do boi (R\$/@); Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC) – animais abatidos (número de cabeças); Instituto de Defesa Agropecuária de Mato

Grosso (INDEA-MT) – tamanho do rebanho (número de cabeças) e; Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – condições climáticas, mensurada através do índice de pluviosidade - quantidade de precipitação de água de chuva na região (mm).

Na construção do modelo estatístico, foi realizada a análise da série temporal para identificar o comportamento da mesma e selecionar o modelo que melhor se ajustou aos dados. Foram utilizados dados históricos de vendas em toneladas disponibilizados no software de gestão da empresa. Para isto, foram reunidos dados de janeiro de 2008 a agosto de 2013, totalizando 68 períodos, dos quais 56 períodos foram utilizados na modelagem (treino) e 12 períodos para o teste de previsões.

Neste estudo, os desempenhos das modelagens foram analisados através das seguintes medidas de acurácia: MAPE (*Mean Absolute Perceptual Error*), MAE (*Mean Absolute Error*) e MSE (*Mean Square Error*).

Após a modelagem e obtenção das previsões via regressão e estatística, realizou-se a combinação destas previsões através do método de variância mínima proposto por Bates e Granger (1969) e da média aritmética e, posteriormente, verificou-se os desempenhos de todas as previsões através das medidas de acurácia citadas anteriormente. Por fim, realizou-se o ajuste na previsão combinada mais acurada por meio da opinião de especialistas, fazendo-se uso de uma estrutura simplificada baseada no método AHP (Processo Hierárquico Analítico) e, posteriormente, obteve-se a previsão final.

Todo o processo de tratamento, análise dos dados e dos modelos de previsão foi realizado por meio do software estatístico MINITAB, versão 14.0, e com auxílio do *Microsoft Excel*.

## **7. Apresentação e discussão dos resultados**

### **7.1. Caracterização da empresa e análise dos dados**

Esta seção apresenta a aplicação da adaptação do modelo composto de previsão através de um estudo de caso que está fundamentado nos dados disponibilizados por uma empresa de produção e comercialização de produtos destinados à suplementação animal. Por questões sigilosas das informações utilizadas, seu nome não será mencionado ao longo deste trabalho. Trata-se de uma empresa de médio porte que disponibiliza seus produtos (rações, proteicos e energéticos, sais minerais e núcleos e concentrados para bovinos, equinos, aves e suínos) aos mercados dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo.

Deste modo, a demanda desta empresa é estabelecida pelo total mensal em toneladas de produtos comercializados.

A Figura 4 apresenta os dados históricos coletados da demanda. Através desta figura é possível visualizar a relação entre os valores demandados (toneladas) em função do período de observação e também o comportamento e as principais características da série temporal, a saber: que a série apresenta tendência levemente positiva por meio da linha tracejada. Além disso, sugere-se comportamento sazonal da série com comprimento sazonal de 12 meses, indicada através dos picos elevados da demanda nos meses de julho de cada ano. Sendo assim, a descrição realizada, sugere que a série é não estacionária e sazonal.

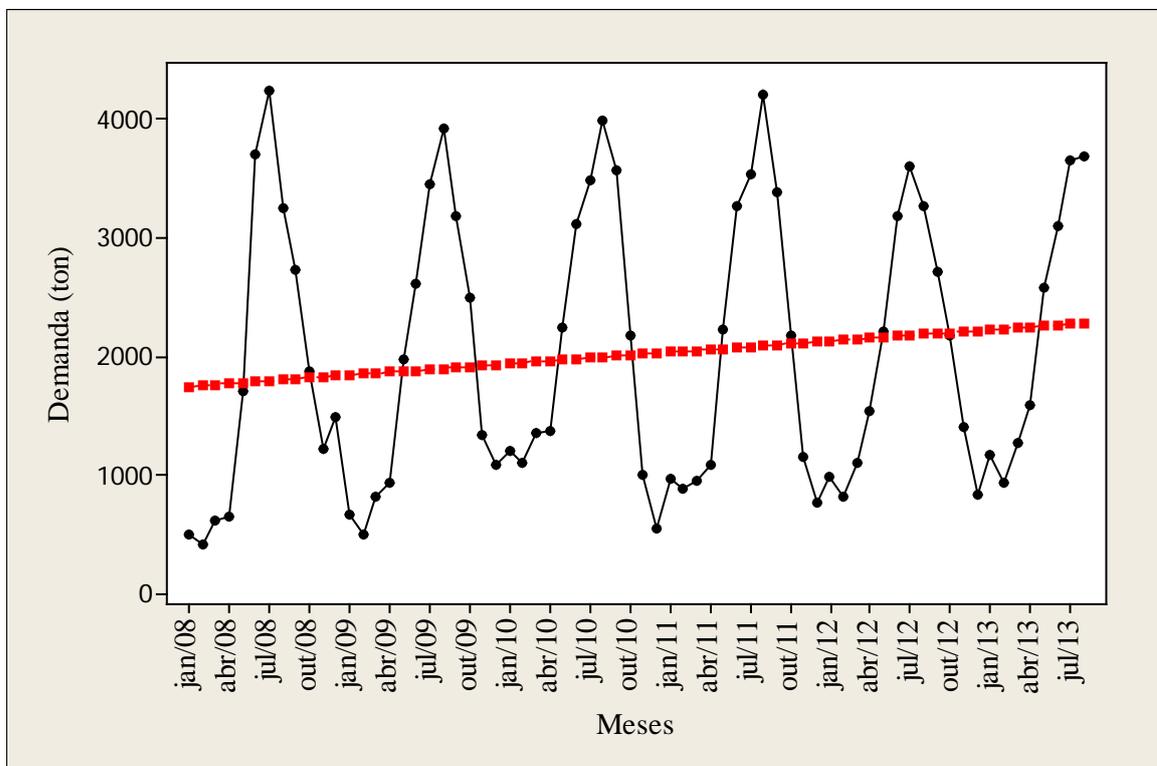


Figura 4: Dados históricos da demanda

## 7.2. Previsão estatística

Para os dados apresentados na Figura 4, foram obtidas primeiramente as previsões via modelagem estatística pelo modelo aditivo de *Holt-Winters*, seguindo a recomendação de Makridakis et al. (1998), visto que a série apresenta comportamento sazonal e a amplitude de sazonalidade é independente do nível da demanda.

### 7.3. Previsão via modelo causal

Após a obtenção da previsão estatística através do modelo aditivo de *Holt-Winters*, obteve-se a previsão via regressão. Inicialmente, realizou-se uma regressão linear múltipla utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) com todas as variáveis selecionadas em Silva (2014): *i*) preço da arroba do boi; *ii*) número de animais abatidos; *iii*) tamanho do rebanho; e *iv*) condições climáticas.

Para esta modelagem, verificou-se através da análise de variância um modelo significativo, com *p-value* inferior a 0,0005. No entanto, o modelo apresentou um coeficiente de determinação ajustado baixo ( $R^2 = 0,477$ ) e os coeficientes das três primeiras variáveis demonstraram não serem significativos, a um nível de significância de 5%. Devido a este baixo poder de explicação do modelo, outros modelos de regressão foram testados, tais como, os modelos logarítmico e polinomial, levando em consideração apenas a variável condições climáticas, que demonstrou ser significativa para a modelagem (*p-value* = 0,000) com as variáveis indicadas no AHP, visto que mesmo fazendo diversos tratamentos das outras variáveis, os seus respectivos coeficientes continuaram não significantes.

Inicialmente realizou-se um estudo da correlação entre o volume de vendas e a variável condições climáticas, através do coeficiente de correlação de Pearson, cujo valor foi de  $-0,842$ . Deste modo, verifica-se uma forte correlação negativa entre as variáveis, o que significa que, quanto menor for o valor das condições climáticas, medida através do índice de pluviosidade (precipitação), maior será o volume demandado, como pode ser observado através das Figuras 5 e 6, respectivamente.

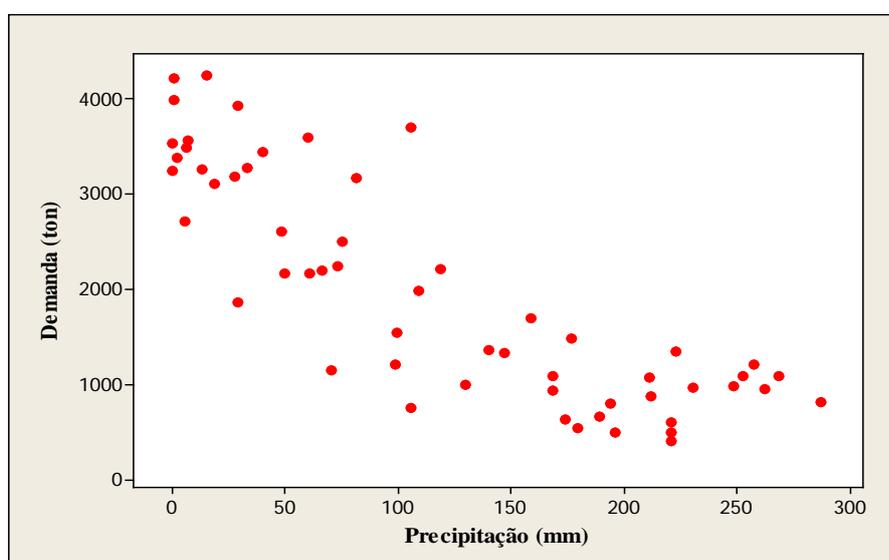


Figura 5: Correlação entre a demanda (ton) e precipitação (mm)

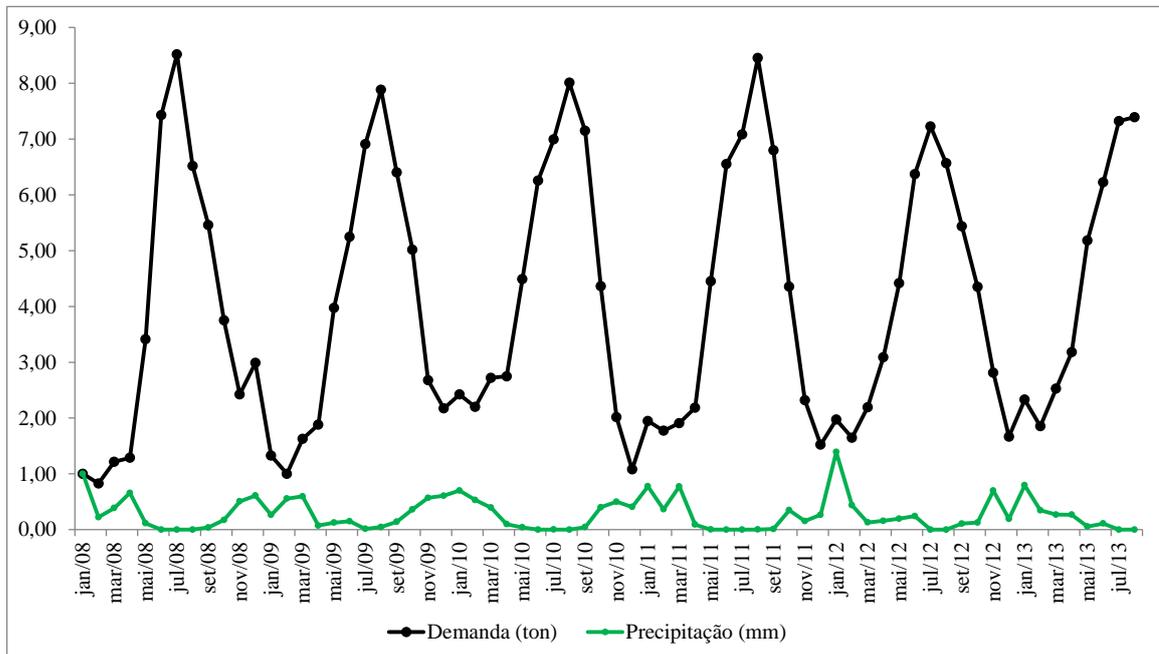


Figura 6: Séries históricas da demanda (ton) e precipitação (mm)

Constata-se através da Figura 6 que nos meses em que há redução considerável de chuvas, ou seja, valores da precipitação baixos ou zero, que geralmente ocorre entre os meses de abril e setembro de cada ano, a demanda se eleva consideravelmente. Isto se deve ao fato que nos períodos de pouca chuva as pastagens diminuem e os produtos comercializados pela empresa são utilizados como alimento substituto para garantir a sobrevivência dos animais. Posteriormente a estas análises, procedeu-se o estudo buscando encontrar um modelo que apresentasse um melhor poder de explicação. Após diversos testes e análises, encontrou-se um modelo de regressão polinomial de 2ª ordem, com coeficiente de determinação ajustado razoável ( $R^2 = 0,768$ ), que é representado através da equação 3.

$$Y = 3,712 - 23,42 X + 0,04799 X^2 \quad (3)$$

em que:  $Y$ : demanda ou volume de vendas (ton);  $X$ : condições climáticas ou pluviosidade (mm).

A Figura 7 apresenta as duas previsões individuais modeladas e selecionadas a partir de um conjunto de validações.

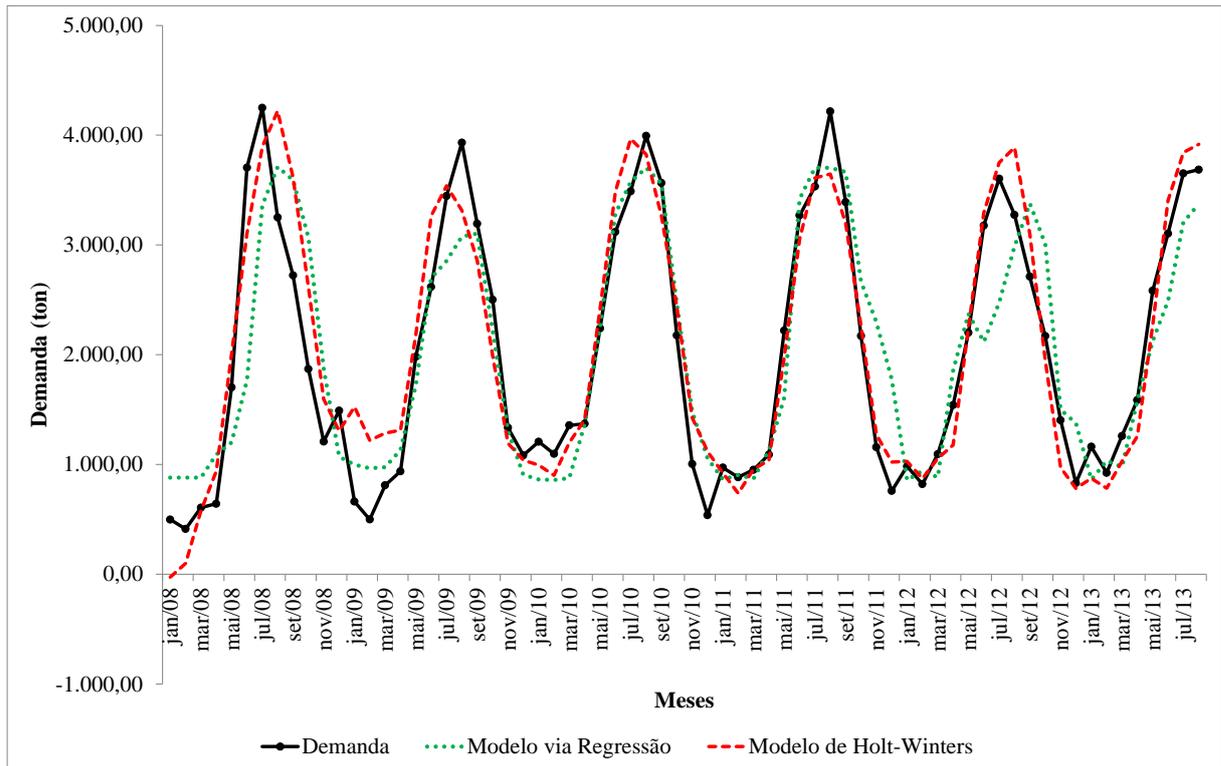


Figura 7: Previsões individuais

#### 7.4. Combinação de previsões

Após a obtenção das duas previsões individuais apresentadas na seção anterior, realizaram-se os ajustes das previsões combinadas, via variância mínima e média aritmética. A previsão combinada via variância mínima foi obtida considerando o formato sem correlação entre os erros das previsões individuais.

A Figura 8 apresenta o comportamento destas duas técnicas de previsões combinadas. É possível verificar através desta Figura, que as previsões combinadas via variância mínima e média aritmética apresentam comportamentos similares. No entanto, somente através da Tabela 2 que é possível ter uma noção real da acurácia dos modelos analisados.

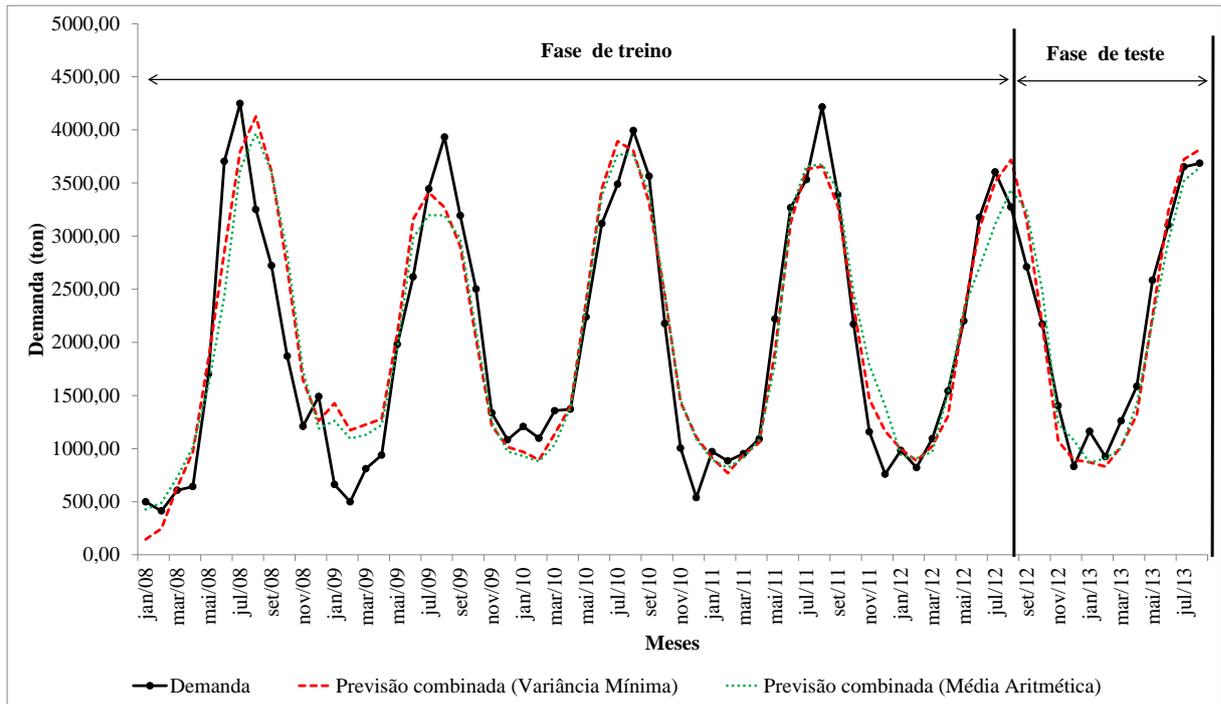


Figura 8: Previsões combinadas

A Tabela 3 apresenta as medidas de acurácia Erro Absoluto Percentual Médio (MAPE), Erro Absoluto Médio (MAE) e Erro Quadrático Médio (MSE) para as previsões individuais e previsões combinadas obtidas na fase de teste. Os valores para estas medidas de acurácia que se encontram entre parênteses, são referentes aos 68 períodos da série temporal.

Tabela 3: Medidas de acurácia para os modelos analisados

Modelos	MAPE	MAE	MSE
Modelo de <i>Holt-Winters</i>	14,47 (22,16)	259,48 (302,21)	77.608,43 (142.252,21)
Modelo via Regressão	21,18 (27,54)	389,43 (406,62)	209.607,85 (290.704,18)
Previsão Combinada (Variância Mínima)	11,87 (20,48)	201,65 (282,33)	57.266,14 (131.487,81)
Previsão Combinada (Média Aritmética)	13,17 (20,40)	224,80 (297,92)	69.627,76 (153.139,18)

Pode-se constatar, através da Tabela 3, que as previsões combinadas, tanto via regressão mínima quanto através da média aritmética, apresentaram desempenhos superiores (melhores resultados) para todas as medidas de acurácia analisadas em relação às técnicas de previsões individuais, ficando na primeira e segunda colocação, respectivamente.

Na terceira posição, encontra-se o modelo de *Holt-Winters* que apresentou os menores resultados para MAPE, MAE e MSE em comparação ao modelo via regressão, que ficou na última colocação. Com base nestes resultados, a previsão combinada via variância foi utilizada no estudo para a obtenção da previsão final.

### 7.5. Ajuste da previsão combinada e obtenção da previsão final

Nesta etapa é realizado o ajuste da previsão combinada através da opinião de especialistas e, posteriormente, obtém-se a previsão final conforme proposto por Werner (2004). Para isto, faz-se necessário usar um método estruturado visando o aprimoramento da acurácia da previsão combinada. Werner (2004) recomenda fazer uso de uma estrutura simplificada baseada no método AHP (Processo Hierárquico Analítico), seguindo os passos descritos a seguir. O ajuste da previsão foi realizado por somente dois especialistas, visto que o terceiro não compunha mais o quadro da empresa no momento da realização desta etapa.

**Passo 1: Fixação do percentual máximo e mínimo de ajuste** - o especialista 1, estabeleceu um percentual máximo de 30% e mínimo de -30%, indicando que de um período para o outro a demanda poderá ter um acréscimo ou uma de redução de 30%. Já o especialista 2 fixou um percentual máximo de 40% e mínimo de -25%.

**Passo 2: Listagem dos fatores que impactam na demanda** - neste momento os especialistas fizeram a listagem de fatores que influenciam o comportamento da demanda, conforme apresentado na Tabela 4.

**Passo 3: Mensuração do impacto de cada um dos fatores identificados** - aqui os especialistas atribuíram pesos para os fatores, com o intuito de identificar a influência (fraca, moderada ou forte) sobre demanda, fazendo-se uso da escala de importância proposta por Saaty (1991), no desenvolvimento do método AHP. Após esta atribuição de pesos, os mesmos foram normalizados através da relação entre o peso do fator  $i$  e a soma de todos os pesos.

**Passo 4: Mensuração da opinião dos especialistas** - nesta etapa os especialistas informaram como cada fator irá contribuir na alteração da demanda para o próximo período, de modo que se a contribuição for de aumento na demanda, optaram pelo valor +1, se a contribuição for de queda na demanda optaram pelo valor -1.

A Tabela 4 apresenta a listagem dos fatores com seus respectivos pesos, pesos normalizados, bem como os impactos de cada um deles na demanda para o próximo período.

Tabela 4: Opiniões e pesos dos especialistas para os fatores que impactam na demanda

Fatores que impactam na demanda	Especialista 1			Especialista 2		
	Peso	Peso Normalizado	Intensidade	Peso	Peso Normalizado	Intensidade
Confiabilidade da marca	3	0,073	1	1	0,024	1
Estrutura comercial	5	0,122	1	7	0,171	1
Qualidade do produto	3	0,073	1	3	0,073	1
Preço dos produtos	9	0,220	-1	9	0,220	-1
Migração de clientes	5	0,122	1	3	0,073	1
Tempo de atendimento	9	0,220	1	9	0,220	1
Campanha de vendas	7	0,171	-1	9	0,220	-1

**Passo 5: Cálculo das médias ponderadas** - os resultados obtidos da soma de produto entre os pesos normalizados e o impacto de cada fator corresponde à média ponderada que se deseja obter neste passo. Deste modo, para o especialista 1 obteve-se a média 0,220 e para o especialista 2 a média foi de 0,122.

**Passo 6: Cálculo do ajuste percentual** - como os resultados das médias ponderadas foram positivos, realiza-se a multiplicação de tais médias pelo percentual máximo. No caso do especialista 1, o valor de ajuste percentual foi de  $0,220 \times 0,35 = 7,70\%$ . Sendo assim, o especialista sugere que a previsão combinada deve ter um acréscimo de 7,70%. Para o especialista 2, o valor de ajuste obtido foi de  $0,122 \times 0,35 = 4,27\%$ , ou seja, na visão do especialista 2 a previsão combinada deve ter um acréscimo de 4,27%. A média aritmética dos percentuais de ajuste dos dois especialistas resulta no percentual de ajuste médio, sendo 5,985%.

**Passo 7: Obtenção da previsão final** – para proceder com o ajuste final da previsão combinada, adiciona-se o valor 1 ao ajuste percentual médio encontrado e multiplica-se o resultado desta soma pelo valor da previsão combinada, assim como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Obtenção da previsão final

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
Previsão Combinada por Variância Mínima para o período 69 – set 2013	3.327,39 ton
Ajuste Percentual Médio	(1,05985)
<b>Previsão Final</b>	<b>3.526,53 ton</b>

O valor real da demanda observado para setembro de 2013 foi de 3.338,93 toneladas. Deste modo, o volume previsto final foi superior em 187,60 toneladas, o que corresponde que a demanda real foi inferior em 5,32% em relação ao valor previsto.

## 8. Considerações finais

Este estudo realizou a aplicação na área de suplementação animal para obter a previsão de demanda com base no modelo apresentado por Werner (2004). Para tanto, foram considerados dados históricos de vendas em toneladas, dados históricos das variáveis que impactam na demanda dos produtos selecionadas em Silva (2014) e também informações de especialistas que contribuíram na realização dos ajustes da previsão combinada para obtenção da previsão final.

Tendo em vista o comportamento da série temporal analisada, na previsão estatística foi utilizado o modelo aditivo de *Holt-Winters*, seguindo a recomendação de Makridakis; Wheelwright; Hyndman (1998). Já na obtenção da previsão causal obtida via regressão, levou-se em consideração na modelagem apenas a variável condições climáticas (precipitação), visto que as outras três variáveis demonstraram não impactar na demanda a um nível de significância de 5%. Além disso, foi possível verificar uma forte correlação negativa ( $r = -0,842$ ) entre a demanda e esta variável, indicando que, quanto menor o volume de chuvas, maior o volume demanda de produtos produzidos e comercializados pela empresa. Após diversas análises, chegou-se a um modelo polinomial de 2ª ordem que apresentou um coeficiente determinação ajustado razoável ( $R^2 = 0,768$ ) para obter a previsão via modelo de regressão.

Buscando-se evidenciar o desempenho das previsões individuais e das previsões combinadas, foram utilizadas três medidas de acurácia: MAPE, MAE e MSE. Através destas medidas, constatou-se que as previsões combinadas apresentaram desempenhos superiores em relação às técnicas de previsões individuais. Diante deste contexto, a previsão combinada por meio da variância mínima foi selecionada para a obtenção da previsão final. Os modelos de

*Holt-Winters* e de regressão obtiveram a terceira e quarta colocação, respectivamente, no ranking de desempenhos.

O ajuste da previsão combinada foi feito levando em consideração a opinião de dois especialistas da empresa. Para realizar o ajuste, foram estabelecidos os percentuais máximos e mínimos que a demanda pode aumentar ou diminuir de um período para outro. Também foram listados os fatores que mais impactam na demanda e os pesos e a intensidade dos fatores para o próximo período, com o intuito de obter o ajuste percentual médio a ser utilizado na obtenção da previsão final. Este ajuste percentual demonstrou que os especialistas sugerem um acréscimo de 5,985% na previsão combinada de um período para outro, sendo a previsão para o período de setembro/2013 igual a 3.526,53 toneladas. Recomenda-se que as intensidades dos fatores sejam revisadas para previsões futuras, pois estas podem impactar de modo diferente na demanda de período a período.

Por fim, foi possível verificar que o método de combinação de previsões destaca-se em relação às técnicas individuais. Os resultados obtidos demonstraram que a previsão combinada via variância mínima não deve ser desconsiderada pelos previsores, bem como pelos interessados na previsão. Além disso, o modelo de previsão adaptado demonstrou ser apropriado para obter previsões combinadas e ajustadas também no setor de suplementação animal.

## Referências

ABRAHAM, B.; LEDOLTER, J. *Statistical Methods for Forecasting*. New York: John Wiley & Sons, 2005.

ARMSTRONG, J. S. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. Kluwer Academic Publishers, 2001.

ARMSTRONG, J. S.; COLLOPY, F. Integration of Statistical Methods and Judgment of Time Series Forecasting: Principles for Empirical Research. In: WRIGHT, G. & GOODWIN, P. (Ed.) *Forecasting with Judgment*. Wiley & Sons, 1998.

BATES, J. M.; GRANGER, C. W. J. The Combining of Forecasts. *Operational Research Quarterly*. v.20, n.4, p. 451-468, 1969.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, 3. ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.

COSTANTINI, M; PAPPALARDO, C. A hierarchical procedure for combination of forecasts. *International journal of forecasting*, v. 26, p. 725-743, 2010.

CHAN, C. K.; KINGSMAN, B. G.; WONG, H. The Value of Combining Forecasts in Inventory Management – a Case Study in Banking. *European Journal of Operational Research*, v.117, p.199-210, 1999.

CHAMBERS, J. C.; MULLICK, S. K.; SMITH, D. D. How to Choose the Right Forecasting Technique. *Harvard Business Review*. v. 49, July-August, p. 45-57, 1971.

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. *Administração da produção e operações para vantagens competitivas*. 11ª Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

CLEMEN, R. T. Combining Forecasts: A Review and Annotated Bibliography. *International Journal of Forecasting*. v. 5, p.559-583, 1989.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. *Fundamentos da Administração da Produção*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DE GOOIJER, J. G.; HYNDMAN, R. J. 25 years of time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, v. 22, p. 443–473, 2006.

FIGLEWSKI, S.; URICH, T. Optimal Aggregation of Money Supply Forecasts: Accuracy, Profitability and Market Efficiency. *The Journal of Finance*, v.38, p. 695-710, 1983.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOODWIN, P. Integration Management Judgement and Statistical Methods to Improve Short-term Forecasts. *Omega. The International Journal of Management Science*. v.30, p.127-135, 2002.

HOLT, C. C. Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages. *International Journal of Forecasting*. v. 20, n. 1, p. 5-10, 2004.

LAWRENCE, M.; GOODWIN, P.; O'CONNOR, M.; ONKAL, D. Judgmental forecasting: A review of progress over the last 25years. *International Journal of Forecasting*, v. 22, p.493-518, 2006.

LIM, J. S.; O'CONNOR, M. Judgmental forecasting with time series and causal information. *International Journal of Forecasting*, v. 12, p. 139-153, 1996.

LEMOIS, F. O. *Metodologia para seleção de métodos de previsão de demanda*. 2006. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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

MONTGOMERY, D.C. & RUNGER, G.C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PALIWAL, M.; KUMAR, U. A Neural networks and statistical techniques: A review of applications. *Expert Systems with Applications*, v. 36, p. 2-17, 2009.

PELLEGRINI, F. R. *Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda*. 2000. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RODRIGUES, B. D.; STEVENSON, M. J. Takeover prediction using forecast combinations. *International Journal of Forecasting*. v. 29, n. 4, p. 628-641, 2013.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi Technique as a Forecasting Tool: Issues and Analysis. *International Journal of Forecasting*. v. 15, n. 4, p. 353-375, 1999.

SANDERS, N. R.; RITZMAN, L. P. Judgmental adjustment of statistical forecasting. In: ARMSTRONG, J. S. *Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 405-416, 2001.

SOUDER, W.; THOMAS, R. Significant Issues for the Future of Product Innovation. *The Journal of Product Innovation Management*. v. 11, n. 4, p. 344-353, 1994.

STAUDT, F. H. *Estudo de métodos de previsão de demanda com incorporação de julgamentos*. 2011. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

THOMAS, R. J. Estimating Market Growth for New Products: an Analogical Diffusion Model Approach. *The Journal of Product Innovation Management*. v. 2, n. 2, p. 45-55, 1985.

WEBBY, R.; O'CONNOR, M. Judgement and Statistical Time Series Forecasting: a Review of the Literature. *International Journal of Forecasting*, v.12, p.91-118, 1996.

WEBBY, R.; O'CONNOR, M.; LAWRENCE, M. Judgmental Time-Series Forecasting Using Domain Knowledge. In: ARMSTRONG, J. S. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. Kluwer Academic Publishers. 2001.

WERNER, L. *Um Modelo Composto para Realizar Previsão de Demanda através da Integração da Combinação e de Previsões e Ajuste Baseado na Opinião*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Modelo composto para prever demanda através da integração de previsões. *Produção*, v. 16, n.3, p.493-509, 2006.

WRIGHT, G. LAWRENCE, M. J.; COLLOPY, F. The Role and Validity of Judgement in Forecasting. *International Journal of Forecasting*, v.12, 1996, p.1-8.

#### IV. Considerações finais

O estudo em questão demonstrou a adaptação de um modelo de previsão referenciado na literatura, por meio da aplicação aos dados reais de uma empresa do segmento de suplementação animal. Esta adaptação foi realizada com o intuito de estimar demandas futuras dos produtos produzidos e comercializados pela empresa, visando melhorar a precisão de suas previsões. Para isto, foram considerados os dados históricos da demanda e dados das variáveis que possam impactar na demanda para gerar as previsões individuais e, em seguida, a previsão combinada. Posteriormente, esta previsão sofreu um ajuste dos especialistas e obteve-se a previsão final.

Para atingir os objetivos inicialmente propostos, estruturou-se esta dissertação no formato de dois artigos. O primeiro artigo, apresentado no capítulo 2, buscou priorizar através do método AHP e, posteriormente, selecionar as variáveis que possam interferir na demanda para serem avaliadas na previsão do segundo artigo, no caso a previsão causal obtida via regressão. Deste modo, por intermédio de comparações pareadas entre as variáveis que impactam na demanda dos produtos, os especialistas estabeleceram os pesos que determinaram a importância relativa de cada variável em relação ao problema proposto. Os julgamentos dos especialistas foram considerados consistentes, pois apresentaram valores de Razão de Consistência (RC) inferiores à 0,1, indicando que o método AHP poderá ser utilizado para fazer as análises necessárias para atingir o objetivo do trabalho. Os resultados obtidos no estudo demonstraram que as variáveis a serem avaliadas na modelagem, são: *i*) preço da arroba do boi; *ii*) número de animais abatidos; *iii*) tamanho do rebanho; e *iv*) condições climáticas.

Por sua vez, no segundo artigo, apresentado no capítulo 3, fez-se a adaptação do modelo composto de previsão idealizado por Werner (2004), para estimativas de vendas de produtos destinados à suplementação animal. Inicialmente, obtiveram-se as previsões individuais fazendo uso da modelagem estatística através do modelo de *Holt-Winters* e da modelagem via análise de regressão. Em seguida, as previsões individuais foram combinadas por meio do método de variância mínima com erros das previsões individuais não correlacionados e da média aritmética. Com a obtenção da previsão combinada, dois especialistas da empresa realizaram os ajustes nesta previsão, utilizando uma estrutura simplificada baseada no método AHP. Estes ajustes possibilitaram obter a previsão final. Com os resultados obtidos verificaram-se que na obtenção da previsão via regressão, as variáveis *i*)

preço da arroba do boi; *ii*) número de animais abatidos; *iii*) tamanho do rebanho demonstraram não impactar na demanda a um nível de significância de 5%. Deste modo, procedeu-se a modelagem levando em consideração apenas as condições climáticas (precipitação), verificando que há uma forte correlação negativa entre a demanda e esta variável. Por fim, chegou-se a um modelo polinomial de 2ª ordem que apresentou um coeficiente de determinação ajustado razoável para obter a previsão via regressão.

Além disso, constatou-se ainda no artigo 2 que o método de combinação de previsões individuais destaca-se em relação às demais técnicas, sendo a previsão via variância mínima utilizada para obtenção da previsão final. Por fim, o cálculo do ajuste percentual demonstrou que os especialistas sugerem um acréscimo de 5,985% na previsão combinada de um período para outro, sendo a previsão para o período de setembro/2013 igual a 3.526,53 toneladas. Sugere-se ainda, que para previsões futuras, as intensidades dos fatores que afetam a demanda sejam revisadas, visto que elas podem ter impactos diferentes de período a período.

Com base nos resultados encontrados neste estudo, observa-se que a combinação de previsões apresentam desempenhos superiores em relação às técnicas de previsões individuais. Além disso, verificou-se que a adaptação proposta no modelo composto de previsão idealizado por Werner (2004) demonstrou ser apropriada para obter previsões combinadas e ajustadas no setor de suplementação animal.

Para trabalhos futuros, recomenda-se analisar mais técnicas de combinações de previsão, tais como os métodos bayesianos e regressão, de modo a comparar os resultados com os que foram obtidos nesta dissertação. Além disso, recomenda-se fazer uso de um modelo causal que considere mais variáveis explicativas com o intuito de obter bom um coeficiente de determinação ajustado. Por fim, sugere-se utilizar outras medidas de acurácia para avaliar os desempenhos das previsões individuais e combinadas, além das usadas neste estudo.

## Referências

- ABRAHAM, B.; LEDOLTER, J. *Statistical Methods for Forecasting*. New York: John Wiley & Sons, 2005.
- ALTABET, R. The Forecaster as a Key Member of Strategic Planning Team. *Journal of Business Forecasting Methods & Systems*. v. 17, n.3, p. 3-6, 1998.
- ANDRAWIS, R. R.; ATIYA, A. F.; EL-SHISHINY, H. Combination of long term and short term forecasts, with application to tourism demand forecasting. *International Journal of Forecasting*, v. 27, n. 3, p. 870-886, 2011.
- ARMSTRONG, J. S. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. Kluwer Academic Publishers. 2001.
- ARMSTRONG, J. S.; COLLOPY, F. Integration of Statistical Methods and Judgment of Time Series Forecasting: Principles for Empirical Research. In: WRIGHT, G. & GOODWIN, P. (Ed.) *Forecasting with Judgment*. Wiley & Sons, 1998.
- BATES, J. M.; GRANGER, C. W. J. The Combining of Forecasts. *Operational Research Quarterly*. v.20, n.4, p. 451-468, 1969.
- CLEMEN, R. T. Combining Forecasts: A Review and Annotated Bibliography. *International Journal of Forecasting*. v. 5, p.559-583, 1989.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. *Fundamentos da Administração da Produção*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- GOODWIN, P. Integration Management Judgement and Statistical Methods to Improve Short-term Forecasts. Omega. *The International Journal of Management Science*. v.30, p.127-135, 2002.
- HOLLAUER, G.; ISSLER, J. V.; NOTINI, H. H. Prevendo o crescimento da produção industrial usando um número limitado de combinações de previsões. *Economia Aplicada*, v.12, n.2, p.177-198, 2008.
- KAHN, K. An Exploratory Investigation of New Product Forecasting Practices. *The Journal of Product Innovation Management*. v. 19, n. 2, p. 133-143, 2002.
- LEMOS, F. O. *Metodologia para seleção de métodos de previsão de demanda*. 2006. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- LINDBERG, E; ZACKRISSON, U. Deciding about the Uncertain: The Use of Forecasts as an Aid to Decision-making. *Scandinavian Journal of Management*. v. 7, n. 4, p. 271-283, 1991.
- MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. J. *Forecasting: Methods and Applications*. 3ª ed. New York, John Wiley & Sons, 1998.

PELLEGRINI, F. R. *Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda*. 2000. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RIBEIRO, C. O.; SOSNOSKI, A. A. K. B; OLIVEIRA, S. M. Um modelo hierárquico para previsão de preços de commodities agrícolas. *Revista Produção Online*, v.10, n.4, p. 719-733, 2010.

RODRIGUES, B. D; STEVENSON, M. J. Takeover prediction using forecast combinations. *International Journal of Forecasting*. v. 29, n. 4, p. 628-641, 2013.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

STAUDT, F. H. *Estudo de métodos de previsão de demanda com incorporação de julgamentos*. 2011. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

WERNER, L. *Um Modelo Composto para Realizar Previsão de Demanda através da Integração da Combinação e de Previsões e Ajuste Baseado na Opinião*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Modelo composto para prever demanda através da integração de previsões. *Produção*, v. 16, n.3, p.493-509, 2006.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos boxjenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. *Gestão & Produção*, v. 10, n. 1, p.47-67, 2003.

WRIGHT, G. LAWRENCE, M. J.; COLLOPY, F. The Role and Validity of Judgement in Forecasting. *International Journal of Forecasting*, v.12, 1996, p.1-8.