

UNIVERSIDADE FUMEC
FACULDADE DE CIÊNCIAS EMPRESARIAIS- FACE

PREVISÃO DE DEMANDAS VARIÁVEIS EM ESTOQUES
AERONÁUTICOS:
um estudo da gestão de peças de reposição da frota Boeing 737NG no
Brasil

Luis Henrique Santos

Belo Horizonte
2013

Luís Henrique Santos

**PREVISÃO DE DEMANDAS VARIÁVEIS EM ESTOQUES
AERONÁUTICOS:**
um estudo da gestão de peças de reposição da frota Boeing 737NG no
Brasil

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE
FUMEC, como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Jersone Tasso Moreira Silva
Coorientador: Prof. Dr. Hugo Ferreira Braga
Tadeu

Belo Horizonte
2013

S237p Santos, Luís Henrique.
Previsão de demandas variáveis em estoques aeronáuticos: um estudo da gestão de peças de reposição da frota Boeing 737NG no Brasil. / Luís Henrique Santos. – Belo Horizonte, 2013

114 f. : il. ; 30 cm.

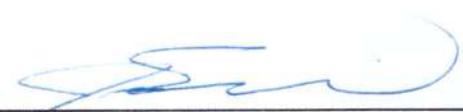
Orientador: Jersone Tasso Moreira Silva
Dissertação (mestrado) – Universidade FUMEC. Faculdade de Ciências Empresariais.

Inclui bibliografia.

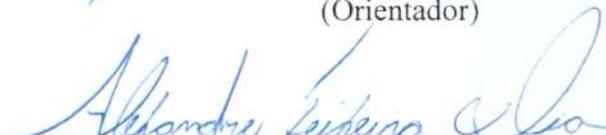
1. Aeronaves – Manutenção e reparos – Estudo de casos.
2. Controle de estoque – Estudo de casos. I. Silva, Jersone Tasso Moreira. II. Universidade FUMEC. Faculdade de Ciências Empresariais. III. Título.

CDU: 651.814.382

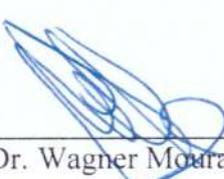
Dissertação intitulada “**Previsão de Demandas Variáveis em Estoques Aeronáuticos: um estudo da gestão de peças de reposição da frota Boeing 737NG no Brasil**”, de autoria do Mestrando *Luis Henrique Santos* aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. Dr. Jersone Tasso Moreira Silva- Universidade FUMEC
(Orientador)



Prof. Dr. Alexandre Teixeira Dias – Universidade FUMEC



Prof. Dr. Wagner Moura Lamounier – UFMG



Prof. Dr. Cid Gonçalves Filho
Coordenador do Programa de Doutorado e Mestrado em Administração
Universidade FACE/FUMEC

Belo Horizonte, 07 de junho de 2013.

Dedico este trabalho à Luciene, minha esposa e companheira inseparável que me apoiou e me deu força ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

...ao meu filho Dante pela paciência e inspiração.

... aos meus pais pela educação e carinho.

... a toda a minha família pela força e apoio.

... ao professor Jersone pela orientação e por acreditar em meu potencial.

... ao professor Hugo pelo apoio e suporte na produção desta pesquisa.

...ao professor Lúcio Patrício que contribuiu para que tudo isso fosse possível.

... ao colega Gilson pelas trocas de informações sobre manutenção.

... ao colega Gemison pelas orientações sobre planejamento.

...aos departamentos de manutenção, planejamento, qualidade e compras da VRG Linhas Aéreas S/A.

...aos professores e funcionários do departamento de mestrado em administração da FUMEC.

“Nada é impossível. Se puder ser sonhado, então pode ser feito”.

Theodore Roosevelt

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo apresentar os principais conceitos sobre os métodos utilizados na previsão de demandas variáveis de materiais e peças de reposição aeronáuticas. Foram simulados os métodos Winters, Croston, *Single Exponential Smoothing*, *Weight Moving Average* e Distribuição de Poisson por meio da utilização de uma base de dados real, que contempla o histórico de consumo de peças, do modelo 737 *Next Generation* fabricado pela Boeing, entre 2009 e 2012. Os resultados revelaram que os métodos *Weight Moving Average*, Distribuição de Poisson e o método de Croston apresentaram os melhores ajustamentos corroborando autores como Croston (1972), Ghoobar & Friend (2003), Callegaro (2010) e Bradley (2011). Os resultados indicaram, ainda, que existe uma relação estreita entre a variabilidade da demanda, a frequência de falhas apresentadas pelas aeronaves, o tempo de vida útil das peças, o planejamento de paradas para manutenção dos aviões e mudanças nos programas de manutenção da frota. Esses fatores podem acarretar picos de demanda, distorcendo as previsões. Sugere-se trabalhar com horizontes de previsão abaixo do mensal para as peças mais críticas e que indisponibilizam a aeronave para voo, como também incorporar ao uso dos métodos de previsão à análise do número de paradas para manutenção das aeronaves e as ocorrências de falhas na frota.

Palavras-chave: Previsão; Métodos; Demandas

ABSTRACT

This study examines the concepts and methods used in the forecast of the variable demands of materials and spare parts in the aviation field. Were simulated the methods Winters, Croston, Single Exponential Smoothing, Weight Moving Average and Poisson Distribution through a 737 Next Generation's database that include real historical parts consumption between 2009 and 2012. The results revealed that the methods Weight Moving Average, Poisson Distribution and Croston method presented the best adjustments corroborating the authors as Croston (1972), Ghoobar & Friend (2003), Callegaro (2010) and Bradley (2011). The results also indicated that there is a close relationship between the variability of demand, the frequency of failures presented by the aircraft, the lifetime of the parts, planning maintenance shutdowns and changes in aircraft fleet maintenance programs. These factors may lead to distorting the peak demand forecasts. It is suggested to work with forecasting horizons below the monthly for more critical aircraft parts and incorporate the number of stops for aircraft maintenance and then frequency of occurrences of failures in the fleet in the forecast analyses.

Keywords: forecasting, methods, demands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Frequência de Aplicação da Carga x Número de Ciclos para o alumínio e o aço carbono	22
Figura 2: Perfil de demanda intermitente.....	35
Figura 3: Perfil de demanda slow Moving.....	36
Figura 4: Diferenças entre demandas slow moving e errática.....	36
Figura 5: Padrão de demanda tipo smooth.....	37
Figura 6: Padrão de demanda lumpy.....	37
Figura 7: Organograma de uma empresa de Engenharia e Manutenção	38
Figura 8: Esquema de classificação de Bartazzghi.....	41
Figura 9: Matriz de classificação de demanda.....	44
Figura 10: Equações das metodologias de amortecimento exponencial	47
Figura 11: Descrição das variáveis que compõem as equações da Figura 10...	48
Figura 12: Organograma de uma empresa de Engenharia e Manutenção	67
Figura 13: Organograma da empresa estudada	68
Figura 14: Organograma de uma empresa de Engenharia e Manutenção	70
Figura 15: Matriz de classificação de demanda.....	74

Figura 16: Controle de remoções anual de peças de reposição.....	86
Figura 17: Monitoramento de falhas da frota	87
Figura 18: Principais motivos de remoção de componentes na frota	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação da demanda conforme decomposição da variância do LTD.....	40
Quadro 2: Utilização do método Exponential Smoothing nas áreas da indústria e serviços.....	49
Quadro 3 : Classificação das peças da base de dados conforme PMP e MEL.	76
Quadro 4 : Classificação das peças conforme importância na operação da aeronave.....	78
Quadro 5: Valores calculados de CV^2 e ρ para cada componente.....	79
Quadro 6: Demanda classificada para cada componente.....	80
Quadro 7 : Previsão de demanda para o alternador (Alternator).....	81
Quadro 8: Componentes que apresentaram picos de consumo durante o período de observação.....	83
Quadro 9: Classificação global dos métodos de previsão de demanda.....	84
Quadro 10: Valores de erros na previsão para os métodos de melhor ajustamento.....	84
Quadro 11: Custos com canibalização, atrasos e cancelamentos de voos.....	90
Quadro 12: Comparação entre os trabalhos de Ghoobar e Friend (2003) e o presente estudo.....	92

LISTA DE SIGLAS

ADF	<i>Automatic Directional Finder</i>
ACAU	<i>Air conditioning and Auto Brake Unit</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AOA	<i>Angle of Attack</i>
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i>
CM	<i>Conditioning Monitoring</i>
CV	Coeficiente de Variação
EAU	<i>Engine Accessory Unit</i>
FCC	<i>Flight Control Computer</i>
FMC	<i>Flight Management Computer</i>
HT	<i>Hard Time</i>
LTD	<i>Lead Time Demand</i>
MEL	<i>Minimum Equipment List</i>
OC	<i>On Conditioning</i>
PMP	<i>Primary Maintenance Process</i>
PN	<i>Part Number</i>
TAP	<i>Transporte Aéreo Portugal</i>
UKCAA	<i>United Kingdom Civil Aviation Authority</i>
USAF	<i>United States Air Force</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	20
<i>1.2.1 Objetivo Geral</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2 Objetivos Específicos</i>	<i>20</i>
2. REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 As Peças de Reposição	21
2.2 A Vida Limite das Peças de Reposição.....	22
2.3 O Monitoramento de Falhas e a Manutenção Operacional da Frota	24
2.4 As Políticas de Estoque	26
2.5 A Canibalização de Peças de Reposição	27
3 ETAPAS DO SISTEMA DE PREVISÃO	30
3.1 A Classificação dos Materiais	30
<i>3.1.1 A Classificação segundo o consumo e o valor unitário do material..</i>	<i>30</i>
<i>3.1.2 Classificações segundo a condição de reutilização</i>	<i>32</i>
<i>3.1.3 Classificações segundo Processo Hierárquico Analítico (PHA)</i>	<i>33</i>
<i>3.1.4 Classificação por segmento ou tipo de serviço</i>	<i>34</i>
3.2 Características dos Padrões de Demandas Variáveis.....	35
<i>3.2.1 Metodologia para a classificação da demanda variável.....</i>	<i>38</i>
<i>3.2.2 Metodologia para a previsão de demanda variável</i>	<i>45</i>
3.3 Acurácia na Previsão	52
<i>3.3.1 O Erro Quadrático Médio (MSE)</i>	<i>53</i>
<i>3.3.2 O Erro Absoluto Médio (MAE)</i>	<i>54</i>
<i>3.3.3 O Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE)</i>	<i>54</i>
4METODOLOGIA	
4.1 Conceituações Básicas	56
<i>4.1.1 Tipificação da pesquisa</i>	<i>56</i>
<i>4.1.2 Instrumentos de pesquisa e coleta de dados</i>	<i>57</i>
<i>4.1.3 Escolha da base de dados</i>	<i>58</i>

4.2 Modelamento Matemático dos Métodos de Previsão de Demanda ...	59
<i>4.2.1 Modelamento do método de Croston</i>	59
<i>4.2.2 Modelamento do método Single Exponential Smoothing (SES)</i>	60
<i>4.2.3 Modelamento do método de Winters</i>	62
<i>4.2.4 Modelamento do método Wheighted Moving Average (WMA)</i>	63
<i>4.2.5 Modelamento deo método de Poisson</i>	65
5. ESTUDO DE CASO	65
5.1 Aspectos gerais da empresa	66
5.2 Aspectos operacionais da empresa	66
<i>5.2.1 Os departamentos de Engenharia e Manutenção</i>	66
<i>5.2.2 O departamento de planejamento</i>	67
<i>5.2.3 O departamento de confiabilidade</i>	69
<i>5.2.4 A política de estoques da empresa</i>	70
<i>5.2.5 O departamento de compras</i>	71
5.3 O Tratamento da Base de Dados	72
<i>5.3.1 O tratamento da base de dados amostrais</i>	72
<i>5.3.2 O tratamento da base de dados bibliográfica</i>	72
6 RESULTADOS	75
7 CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS	94
ANEXOS	91
	100

1 INTRODUÇÃO

Apesar de a demanda pelo transporte aéreo comercial no mundo ter alçado grandes voos entre os anos de 2004 e 2007, verifica-se uma desaceleração no movimento dos aeroportos norte-americanos e britânicos a partir de 2008. Essa queda é apontada por relatórios de importantes autoridades internacionais como a *United Kingdom Civil Authority Aviation*¹ (UKCAA) e a *Federal Aviation Administration*² (FAA). Eles foram emitidos em 2012 e ressaltam um crescimento discreto de apenas 1,7% no trânsito de passageiros nos Estados Unidos entre 2010 e 2012 contra um recuo de -3,8% na Inglaterra no mesmo período. Em seu relatório anual 2011, a Transporte Aéreo Portugal (TAP)³ divulgou dados sobre o cenário da aviação comercial europeia e sua estratégia para a manutenção do crescimento. Ele aponta os períodos entre 2005 e 2008 como de acentuado crescimento para a empresa, mas entre 2008 e 2012 como o período de exposição a forte crise financeira.

Diante desse cenário, a empresa propôs uma otimização na estrutura de custos com o lançamento de um vasto programa organizacional, redução sustentada da dívida do grupo e um reforço da *performance* comercial. Além disso, investiu em programas de melhoria contínua na área de manutenção de frota, com o objetivo de reduzir atrasos e aumentar a disponibilidade das aeronaves. As ações adotadas contemplam a antecipação na entrega de materiais e peças de reposição e planejamento de compras prioritárias. Ambos os projetos permitiram alcançar significativas melhorias na produtividade e na redução dos prazos de entrega de componentes utilizados nas aeronaves (GRUPO TAP, 2011, p. 47).

O relatório ressalta, ainda, que a área de manutenção de aviões assegurou a manutenção total da frota da TAP, tendo sido realizadas um total de 315 inspeções, valor ligeiramente inferior à atividade do ano anterior (-3,4%). Essa diminuição, verificada essencialmente no nível das pequenas inspeções, resulta fundamentalmente da modificação do plano de manutenção, o que levou ao aumento do número de horas de voo entre as paradas para manutenção (GRUPO TAP, 2011, p.83).

No Brasil, a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) publicou, em 2012, uma revisão em seu Anuário Estatístico Operacional 2011. Os dados

¹ UKCAA: Autoridade britânica que trata da aviação civil na Grã-Bretanha.

² FAA: Autoridade norte-americana que trata da aviação civil nos Estados Unidos da América.

³ TAP: Empresa portuguesa que atua na área da aviação comercial europeia. Transporte de passageiros, carga e centro de manutenção.

também apontam uma retração no crescimento das operações de embarque e desembarque de passageiros nos aeroportos brasileiros. Dentre eles, destacam-se os 21,25% em 2010, seguidos de 15,82% em 2011(dados atualizados em 12/04/2012). Verifica-se também uma elevação dos custos operacionais no cenário nacional, ocasionada, sobretudo, pela variação no valor do barril de petróleo. Tais dados são confirmados pelo *United States Energy Information Administration* (EIA) ⁴, cujos estudos apontam que o barril de petróleo saltou de oitenta e nove dólares em outubro de 2012 para noventa e cinco dólares em fevereiro de 2013 e deverá se manter no patamar de noventa e dois dólares até dezembro de 2014.

Segundo relatório interno publicado pela VRG Linhas Aéreas⁵ em março de 2013, o barril manteve um preço médio de noventa e seis dólares entre o período de outubro de 2012 e março de 2013, sendo que a empresa pagaria em abril um dos preços mais altos cobrados pelo litro do QAV⁶ em sua história. No mesmo relatório, são ressaltadas as ferramentas para a manutenção da rentabilidade. Para a empresa, a pontualidade e a regularidade dos voos são metas importantes que devem ser superadas. Segundo Paulo Kakinoff, presidente da empresa:

[...] Atingir esses objetivos significa um envolvimento de todas as áreas da nossa companhia, principalmente aeroportos, tripulação, manutenção e operações. Manter voos no horário é o resultado de processos executados no tempo necessário e com qualidade, além de garantir a entrega do produto que nosso cliente adquiriu. Partir e chegar no horário previsto, permitindo que ele siga com sua programação, seja ela a lazer ou corporativa [...]. (VRG Linhas Aéreas S/A, 2013, p.3).

A *Federal Aviation Administration (FAA) commissioned five NEXTOR universities*, formada pela *UC Berkeley, MIT, George Mason University, the University of Maryland and Virginia Tech* e a *Brattle Group* publicou, em dezembro de 2010, um estudo sobre os custos causados por atrasos e cancelamentos no setor de transporte aéreo norte-americano. A instituição verificou que os atrasos respondem por 4.7 bilhões de dólares e os cancelamentos somam 3.2 bilhões, totalizando um custo de 7.9 bilhões de dólares.

Diante dessas informações, pode-se concluir que o mercado de aviação, seja ele internacional ou nacional, está sofrendo impactos ocasionados pela crise financeira mundial e

⁴ EIA: Instituição governamental norte americana que coleta, analisa e divulga informações sobre energia e sua interação com a economia e o meio ambiente.

⁵ VRG Linhas Aéreas: Empresa que atua no mercado de aviação comercial brasileira. Ela possui a maior frota dos modelos Boeing 737NG da América do Sul.

⁶ QAV: Sigla brasileira que significa querosene de aviação. Combustível utilizado nos motores das aeronaves equipadas com motores a reação (Jatos comerciais e executivos)

pela elevação no preço dos combustíveis. Nota-se também que as companhias consideram a administração da regularidade e pontualidade fatores importantes nas suas operações. Como mencionado pelo presidente da VRG (2013), estes são instrumentos para fidelizar o cliente e manter a sustentabilidade. Melhorias nos processos de manutenção e na disponibilidade de materiais, segundo relatório da TAP, são meios de aumentar a disponibilidade dos aviões para voo, elevando a eficiência operacional da frota.

1.1 Justificativa

Ghoobar (2003) ressalta que a demanda pelo transporte aéreo é sazonal, o que ocasiona picos operacionais diários, semanais e anuais. Segundo ele, o competitivo mercado da aviação mundial tem feito com que a maioria dos operadores de aeronaves e linhas aéreas concentre suas atividades comerciais, na tentativa de satisfazer esses picos de demanda. Nesse contexto, os atrasos devem ser minimizados, de forma que a disponibilidade da aeronave para voo seja maximizada. Dentre os principais fatores que contribuem para a elevação dos índices de atrasos nas linhas aéreas, tem-se: problemas internos nas empresas no que diz respeito à liberação das aeronaves dentro do tempo hábil, problemas causados pela infraestrutura aeroportuária, mau tempo e segurança de voo.

Dados do *Bureau of Transportation Statistics* (BTS) apontaram que, entre outubro de 2012 e janeiro de 2013, houveram 2.006.997 operações de pousos e decolagens nos aeroportos norte-americanos, contabilizando 18.733.089 minutos em atrasos. Destes, 32,26% foram causados por problemas ligados às empresas aéreas (manutenção, tripulação, abastecimento ou carregamento de bagagens), 41,15% por atrasos na decolagem do voo anterior ocasionando atraso na chegada ao aeroporto de destino, 3,58% por mau tempo, 22,88% por problemas no sistema aeroportuário e 0,14% por questões de segurança.

Dentre os atrasos ligados às empresas aéreas, ressaltam-se aqueles causados pela manutenção. Segundo informações da VRG Linhas Aéreas (março de 2013), eles podem ser ocasionados pelo planejamento deficiente dos serviços de manutenção, pelas falhas encontradas ao longo das inspeções e que requerem peças de reposição que não se encontram em estoque, pelas falhas inesperadas que ocorrem no momento ou próximo ao momento de liberação das aeronaves para voo ou pela estrutura deficiente da infraestrutura aeroportuária.

Este último fator é considerado grave, principalmente no que diz respeito à logística de entrega dos materiais. O país possui as maiores frotas de aeronaves na América Latina. Porém, não possui fabricantes e reparadores de peças de reposição suficientes para atender a demanda das aeronaves brasileiras. Assim, grande parte desses materiais é importada dos Estados Unidos e Europa, chegando ao país pelo meio aéreo. O estudo dirigido por Tadeu, Tasso *et al* (2011) sugere que há fortes evidências quantitativas de que mudanças na gestão aeroportuária favorecerá a solução de problemas de infraestrutura e melhorará o atendimento das demandas consumidoras no país.

As peças de reposição, assim como itens de baixo giro, representam uma classe de materiais que caracterizam um padrão de demanda conhecido como variável. Seu consumo geralmente segue as frequências de ocorrências de falhas das aeronaves, e estas, por sua vez, possuem um padrão não regular. As falhas podem ocorrer por desgaste normal ou anormal dos materiais utilizados na fabricação de peça e componentes, sendo que o fator desgaste anormal pode estar ligado a operação do equipamento em ambientes severos e problemas de projeto. O desgaste anormal, que geralmente culminam em falhas prematuras de peças e componentes, ocasionam picos de consumo e sua ocorrência pode vir a causar distorções que não são interessantes dentro de um processo de previsão.

Ghobbar & Friend (2003), afirmam que a dificuldade na previsão de demanda de peças de reposição aeronáuticas é um problema que atinge a indústria aeroespacial mundial. Reduzir o grau de incerteza da previsão destas peças talvez seja, segundo os autores, o maior desafio entre os planejadores dentro das empresas ligadas à aviação civil e militar. A grande dificuldade em prever demandas variáveis reside na alta variabilidade do consumo, caracterizada pelo tamanho da demanda (quantidade de itens consumidos a cada demanda) e pelo intervalo de tempo entre as demandas que também é conhecido como intervalo interd demanda. Autores como Croston (1972); Willians (1984); Willemain *et al* (1994); Johnston & Boylan (1996); Botter & Fortuin (2000); Syntetos & Boylan (2003) têm ressaltado a importância de estudos e métodos para prevê-la.

Os autores ainda levantaram dados sobre utilização ou não de métodos para a previsão de demandas por empresas do campo da aviação. Os resultados mostraram que um pequeno grupo utilizava sistemas de previsão para a compra de peças de reposição. Nesse grupo, 9% ainda tinha dificuldades para prever a demanda futura e alguns procuravam por um melhor modelo de previsão. Sendo assim, o estudo da demanda variável pode revelar instrumentos úteis para a análise de compras de peças de reposição aeronáuticas, reduzindo a

incerteza da previsão e permitindo que as empresas elaborem um melhor planejamento logístico para a reposição de estoques. Como consequência, espera-se a redução da indisponibilidade das aeronaves por manutenção e o aumento operacional da frota.

Bredley (2011) estudou o programa de reposição de peças para a aeronave militar F18 Super Hornet e verificou que simulações permitem aos planejadores testar suas hipóteses e escolher os melhores procedimentos para a compra de materiais. Em seu artigo, publicado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), ele ressalta que demandas variáveis são tradicionalmente modeladas pela Distribuição de Poisson. Este modelo também é utilizado para determinar o número de substituições de peças que apresentaram falhas dentro de um determinado período de tempo. Ainda segundo o autor, os métodos mais comuns utilizados para a previsão de demandas variáveis no campo da aviação são o Método de Croston (1972) e o *Single Exponential Smoothing* (Willemain, 1994). Este último utilizado pela fabricante do 737NG, a Boeing (Bredley, 2011, p.8).

Assim, dando prosseguimento ao trabalho iniciado por Ghobbar & Friend (2003) e levando em consideração a relevância do tema abordado, propõe-se o seguinte estudo: criar simulações utilizando os métodos de previsão de demandas conhecidos como: Croston, Winters, *Weight Moving Average*, *Single Exponential Smooth* e a Distribuição de Poisson, a partir de uma base de dados real, composta por peças de reposição comuns na chamada demanda variável e utilizadas na aeronave Boeing 737NG. O cenário brasileiro atual e os padrões de operação da empresa estudada proverão as limitações para o estudo.

Espera-se, com este trabalho, divulgar a existência dos métodos de previsão de demanda; incentivar o estudo da demanda variável no Brasil; apresentar ferramentas que proporcionem aos planejadores reduzir a incerteza nas previsões com consequente redução na indisponibilidade das aeronaves por falta de peças de reposição e, finalmente, responder a seguinte pergunta:

Tomando como base uma série histórica real, composta por peças de reposição da aeronave 737NG, qual das metodologias utilizadas nas simulações apresentou melhor ajustamento para as previsões de demanda?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral:

Avaliar a aplicação de métodos e conceitos adotados para a previsão de demandas variáveis na reposição de estoques de peças para a frota de aeronaves 737NG brasileira.

1.2.2 Objetivos específicos

Busca-se como objetivos específicos:

- a) verificar qual dos métodos apresenta melhor ajustamento para a previsão de demanda da série histórica selecionada.
- b) verificar se a frequência na ocorrência de falhas das aeronaves pode causar picos de consumo distorcendo as previsões.
- c) Comparar os resultados e conclusões obtidos no estudo com o trabalho de Ghobbar & Friend (2003).

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos de peças de reposição e sua vida-limite além das ferramentas utilizadas para monitorar a ocorrência de falhas nas aeronaves da frota. Os principais conceitos sobre políticas de estoques e o processo de canibalização de materiais serão apresentados, como também as etapas do sistema de previsão, que são: a classificação de materiais, a classificação de demanda, os métodos de previsão e as ferramentas para verificar a acurácia dos resultados. Por fim, busca-se com esta revisão apresentar o arcabouço teórico que permita explicar os resultados obtidos no estudo.

2.1 As Peças de Reposição

Um dos maiores problemas associados à previsão e controle de estoque de peças de reposição é a falta de registros passados para determinar estimativas confiáveis de consumo histórico (MITCHELL, RAPPOLD, FAULKNER, 1983). Para Fortuin & Martin (1999), as empresas mantêm estoques de peças de reposição para atender a sua própria demanda, atender a demanda em instalações de clientes ou mesmo suprir as demandas do mercado. Eaves (2002) aborda a necessidade de as empresas manterem peças de reposição estocadas como forma de segurança. O objetivo principal é evitar paradas prolongadas de equipamentos devido à indisponibilidade de algum item.

Há um consenso, entre estudiosos da área, de que não se devem aplicar métodos tradicionais utilizados em previsão de demanda regular na gestão de peças de reposição, já que as condições de regularidade no consumo não são satisfeitas. Esta regularidade, reside na pequena oscilação da ocorrência de demandas, assim como, no número de itens consumidos a cada uma delas. O padrão de intermitência é introduzido a partir do momento em que a demanda começa a oscilar entre períodos de valores de consumo nulos e não nulos o que tende a acompanhar o padrão de ocorrências de falhas das aeronaves. Elas, como quaisquer outras máquinas, apresentam falhas de maneira irregular e randômica, estando suscetíveis às paradas bruscas por quebras ou danos causados pelo desgaste em seus componentes.

Ao se fazer a relação entre peças de reposição e a operação da aeronave, verifica-se que a disponibilidade das peças em estoque, no momento em que ocorre a demanda, está diretamente ligada ao tempo em que a aeronave fica em manutenção e esta por sua vez a sua liberação para retorno ao serviço. Em outras palavras, a falta de peças de reposição nos estoques é considerado um dos fatores causadores de atraso operacionais que afeta diretamente os índices de pontualidade das empresas. O grande dilema está no receio de manter quantidades desnecessárias de materiais em estoque com grandes riscos financeiros devido à obsolescência das peças, uma vez que elas sofrem esporadicamente modificações pelo fabricante, ou pela falta destas no momento em que são necessárias (GHOBBAR & FRIEND, 2003).

2.2 A Vida Limite das Peças de Reposição

Como já foi abordado na seção anterior, observa-se que a gestão de peças de reposição, sobretudo no que diz respeito aos materiais de demanda variável, não está limitada à previsão estatística. Ela sofre influência de outros fatores como a frequência na ocorrência de falhas dos aviões e estas, por sua vez, estão ligadas à vida limite das peças que compõem os sistemas das aeronaves. Campbell (1963) estudou dados de demanda de peças de reposição na força aérea americana (USAF) e descobriu que há uma estreita relação entre a variação da demanda e a severidade da operação das máquinas. Para ele, as taxas de utilização, ou o número de horas e ciclos ⁷ que uma aeronave adquire em um intervalo de tempo determinado, tem relação direta com a probabilidade de ocorrências de falhas causadas por desgaste das peças.

Um exemplo desta relação é o rodízio de frota que é feito no Brasil. O país possui as maiores dimensões da América do Sul e sua malha aérea contempla voos que duram em média cinquenta e cinco minutos na ponte aérea ⁸ e duas horas e trinta minutos nos trechos mais longos. As empresas aéreas brasileiras procuram operar trechos curtos com aeronaves que possuem baixos ciclos e colocam em operação, nos trechos mais longos, aquelas

⁷ Ciclos são medidas que interpretam o tempo de uso de componentes e peças das aeronaves. É considerado um ciclo: um pouso e uma decolagem.

⁸ Ponte aérea são trechos de voo que contemplam as seguintes cidades brasileiras: Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte.

aeronaves com maior número de ciclos. Esse rodizio possibilita o equilíbrio do desgaste da frota, reduzindo os picos de consumo causados pela redução da vida-limite de peças e componentes.

A vida-limite das peças esta intimamente ligada à teoria de fadiga dos materiais. Segundo Findlay & Harrison (2002), fadiga é um processo de desgaste de um material até seu rompimento, que ocorre em condições de estresse cíclico ⁹. As peças que compõem as aeronaves são fabricadas por determinados tipos de materiais, e estes, por sua vez, sofrem cargas mecânicas durante sua operação. A intensidade dessas cargas e a frequência com que são aplicadas causam o desgaste da peça e determinam o tempo de sua vida útil.

A Figura 1 apresenta o diagrama Frequência de Aplicação da Carga x Número de Ciclos para o aço carbono e o alumínio, cujo componente Carga pode ser entendida como a tensão mecânica ¹⁰ aplicada à peça. Analisando a curva do alumínio, material atualmente utilizado na fabricação da maioria das peças aeronáuticas, verifica-se que, à medida que se aumenta a frequência de aplicação de carga na peça, ocorre a redução no número de ciclos de sua operação.

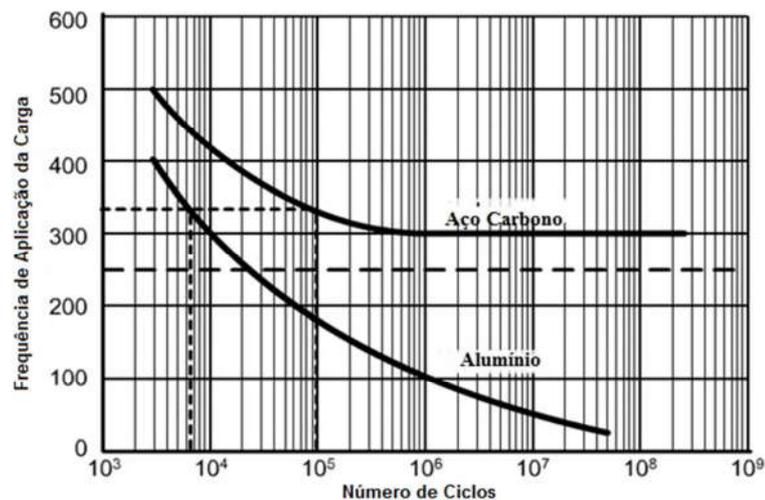


Figura 1: Gráfico: Frequência de Aplicação da Carga x Número de Ciclos para o alumínio e o aço carbono

Fonte: Adaptado de *European Space Agency* (2012).

⁹ Estresse cíclico é definido pelo dicionário técnico da *American Material Engineering* (ASM) como o menor segmento de uma função estresse-tempo repetido periodicamente.

¹⁰ Tensão mecânica é uma medida da intensidade das forças internas agindo entre as partículas de uma seção transversal imaginária de um corpo de material deformável.

Fazendo uma analogia com o caso brasileiro, é como se as aeronaves operando constantemente na ponte aérea tivessem suas peças trabalhando entre as casas de 10^3 e 10^4 ciclos e aeronaves operando em trechos mais longos estivessem entre 10^5 e 10^7 ciclos. Esse fenômeno tem relação direta com a frequência dos eventos de pousos, decolagens, partidas nos motores, subida e descida, que ocorrem durante a operação dos aviões.

Um estudo dirigido pela *United Airlines* utilizou conceitos de construção da curva de mortalidade infantil humana para tentar prever quando as peças de reposição de uma determinada amostra falhariam. Eles concluíram que apenas 11% dos componentes analisados puderam ter sua falha prevista, contra 89% que não permitiam tal precisão. Isso demonstra a dificuldade de tal tarefa. Atualmente, operadores e fabricantes de aeronaves trabalham com padrões para rastreamento e monitoramento de falhas, com o objetivo de identificarem as peças mais problemáticas, reduzindo a incerteza da previsão para a reposição de estoque.

2.3 O Monitoramento de Falhas e a Manutenção Operacional da Frota

Em geral, as empresas da aviação comercial utilizam índices para o monitoramento de falhas para verificarem a operação das aeronaves. Os mundialmente conhecidos são: o Tempo Médio entre Remoções (MTBR), o Tempo Médio entre Remoções Não Programadas (MTBUR), o Tempo Médio para Remoções não Programadas (MTTUR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF), o Tempo Médio de Remoção por Falha (MTTF) e o Nenhuma Falha Encontrada (NFF). Sua utilização conjunta permite estabelecer os índices de confiabilidade das peças e componentes.

Outra ferramenta que tem sido aplicada recentemente na manutenção operacional da frota chama-se *Reliability-Centered Maintenance* (RCM). Segundo Smith (1993), na metodologia de utilização dessa ferramenta, considera-se que as distribuições das densidades de falha são desenvolvidas a partir de um histórico de problemas apresentados pelos componentes e que as falhas súbitas ocorrem em função do tempo. Ainda segundo o autor, a indústria aeronáutica mais recente tem feito da RCM sua ferramenta principal para o monitoramento dos problemas técnicos apresentados pelas aeronaves. Trata-se de uma metodologia efetiva, pois busca na análise das falhas a solução para os problemas encontrados. Na metodologia de utilização dessa ferramenta, considera-se que as peças são

classificadas como *Hard Time*, *On Condition* e *Condition Monitoring*, dependendo do seu nível de importância para a operação da máquina. Essa classificação é adotada pela *United Kingdom Civil Aviation Authority* (UKCAA).

Hard-Time (HT) é um processo de prevenção de falhas que contempla a remoção de um componente de uma máquina ou equipamento, para que este sofra recondição total, parcial ou até descarte, antes que seja excedido o tempo especificado como limite de vida útil. Em outras palavras, o componente será removido para reparo ainda em condições operacionais, reduzindo drasticamente a possibilidade de falhar em serviço. Os intervalos de substituições são pré-definidos pelo fabricante de cada aeronave e são baseados na vida útil média de cada um.

On-Condition (OC) é um processo em que peças e componentes são inspecionados de forma periódica, de modo que seu desgaste determine sua permanência ou não em serviço. O intervalo entre cada inspeção é determinado pelo fabricante da aeronave. Este se baseia em testes, destrutivos e não destrutivos, e na experiência de operação da peça no equipamento. A coleta de dados para acompanhamento do desgaste também são ações adotadas nesse processo. Vários operadores de aeronaves utilizam o processo OC para controlar as revisões de motores, coletando periodicamente amostras de óleo para análise. O resultado dessas análises pode, por exemplo, indicar a remoção do motor para reparo antes que uma falha o tire de operação.

O processo *Condition-Monitoring* (CM) é aplicado a componentes ou sistemas que não possuem uma vida-limite definida, não cabendo, portanto, às qualificações HT e OC. Esse processo envolve o monitoramento da margem de falhas, medida pelo número de remoções de componentes individuais. Não há, nessa categoria, ações de manutenção antes da ocorrência de falhas, uma vez que os componentes operam até falhar. A organização *Air Transport Association of America* (ATA)¹¹ criou pré-requisitos para que um componente ou peça seja considerada CM. São eles:

1. Os itens CM não podem afetar diretamente a segurança.
2. As funções de funcionamento dos componentes considerados CM devem estar visíveis ao operador de forma que falhas possam ser vistas por ele.

¹¹ A *Air Transport Association of America* (ATA) é uma associação norte-americana formada por empresas de aviação comercial.

3. Os itens CM devem ter seus números de falhas e remoções monitorados de forma a gerar dados estatísticos.

A classificação HT, dentre as apresentadas acima, é a única que gera uma demanda regular. Nela, os componentes são removidos de forma programada, com base em suas horas ou ciclos de operação. O contrário ocorre com o OC e, sobretudo, com o CM: eles tendem a gerar demandas variáveis, uma vez que não são removidos dentro de períodos pré-estabelecidos, permanecendo em serviço até o limite de seu desgaste ou até falharem.

2.4 As Políticas de Estoque

Outro fator que exerce influência sobre a disponibilidade das peças de reposição são as políticas de estoques. Segundo Bredley (2011), elas fazem parte da análise geral do sistema de reposição de estoques e são consideradas como fatores importantes para a definição da compra dos materiais. Normalmente, são definidas pelas empresas como forma de controlar o ressurgimento de materiais, buscando manter o equilíbrio entre o custo e a sua disponibilidade em estoque.

Para Silver, Pyke e Peterson (1998), o controle de ressurgimento tem como principais objetivos: definir com qual frequência a situação ou quantidade de materiais em estoque deve ser determinado, em que momento um pedido deve ser colocado e quanto do material deve ser pedido. Existem dois modos para a revisão de estoque: a revisão contínua e a revisão periódica. O modo contínuo é baseado na verificação contínua do estoque, mantendo, assim, o *status* atualizado. Na prática, são utilizados *softwares* de controle (ERP) que fazem a atualização da quantidade de material no momento em que as unidades são requisitadas. O mesmo *software* pode ser programado para disparar uma ordem de compra para ressurgimento no momento em que a quantidade de determinado material atinge um estoque mínimo estabelecido.

No caso da revisão periódica, o estoque é conferido somente em datas pré-determinadas, havendo revisões periódicas nos valores de estoque. Há casos em que esse procedimento é mais viável do que o modo contínuo. Os autores afirmam que a definição do momento em que se deve colocar o pedido de compra depende da política de estoque adotada

pela companhia. Podem-se considerar duas políticas principais: a política S-Q (ponto de pedido-quantidade de pedido) e a política S-S (ponto de pedido-estoque máximo).

A política S-Q é um sistema de revisão contínua que considera a quantidade estabelecida Q como ponto de ressuprimento. Assim, uma ordem de compra será disparada quando a quantidade de material atingir o valor pré-estabelecido. As principais vantagens deste sistema são: simplicidade na operação e no entendimento, previsibilidade nos requerimentos entre o consumidor e fornecedor e reduzido número de erros. A principal desvantagem é a incapacidade de cobrir demandas individuais muito grandes.

A política S-S também é um sistema de revisão contínua muito parecida com a política S-Q. A diferença é que no caso do S-Q o valor do pedido é fixo e no caso do S-S o valor do pedido é variável. Assim, a quantidade do pedido é o suficiente para elevar a condição do estoque a um nível máximo S.

Vale ressaltar que, na prática, há momentos em que as políticas de estoque estabelecidas pela empresa sobrepõem as previsões apontadas pelos *softwares* e indicadores de previsão, principalmente no que diz respeito aos componentes e peças de maior valor agregado. Esse fato ocorre, sobretudo, em função de manobras estratégicas feitas pela organização, que substituem o investimento em compra de peças por investimentos prioritários na companhia. A canibalização de componentes geralmente é utilizada como alternativa pelas linhas aéreas para contornar o problema da falta do material.

2.5 A Canibalização de Peças de Reposição

Ghobbar e Oliveira (2010) afirmam que a canibalização consiste em intercambiar peças entre aeronaves como forma alternativa para solucionar o problema da falta de peças em estoque, reduzindo o atraso da aeronave em manutenção. Em outras palavras, canibalização é a ação de remover uma peça em condições de uso de uma aeronave que não esteja em serviço para substituir uma peça idêntica não funcional em uma aeronave que esteja em serviço. Deve se ressaltar que este método é utilizado sempre que não há disponibilidade de peças em estoque ou se o tempo para adquiri-la do fabricante não é compatível com a liberação da aeronave para voo.

Curtin (2001) argumenta que há fatores encorajadores e desencorajadores para a aplicação deste método. Dentre eles pode-se considerar positivo:

- a. A rápida resposta ao problema da falta de peças em estoque. A remoção de peças de uma aeronave para atender outra é uma ação mais rápida do que os processos de compra e logística de transporte, principalmente em países que possuem uma estrutura alfandegária pobre.
- b. A redução do tempo de atraso das aeronaves por manutenção. Aeronaves que apresetam falhas que demandem a substituição de peça não disponíveis em estoque podem ser solucionados por intermédio da canibalização.
- c. Maximização da operação da frota. A redução dos atrasos por manutenção maximiza a operação da frota que conseqüentemente eleva a pontualidade operacional.
- d. Manutenção de frotas antigas de aeronaves. A possibilidade de mater frotas de aeronaves mais antigas em operação uma vez que peças de reposição são difíceis de encontrar.

Como fatores negativos destacam-se:

- a. Elevado consumo de mão de obra na solução dos problemas de manutenção. O autor ressalta que ações de canibalização consomem mais tempo de trabalho do que a remoção e instalação de peças solicitadas de estoque. Salman *et al* (2006) citam um recente estudo que documentou 850.000 ações de canibalização de peças na Marinha e Força Aérea Norte Americana. Após cinco anos de pesquisa, eles identificaram que foram consumidos em torno de 5.5 milhões de Homem-horas de manutenção somente nestas ações.
- b. Potencial efeito no moral das equipes de manutenção. Este processo não é bem visto pelas equipes de manutenção. Segundo eles, trata-se de um processo trabalhoso, que possui processos e padrões de rígidos e não tem horário certo para ocorrer. A remoção de peças pode ser solicitada durante o dia, tarde e noite necessitando que os técnicos estejam presentes do início ao fim do processo sem ganhar nada mais por isso.
- c. Ativos ociosos. Máquinas e equipamentos que sofrem canibalização ficam ociosos aguardando por peças de reposição. Isso faz com que os custos de operação daquele equipamento se eleve, se analisado isoladamente.
- d. Elevação do risco de elevação do custo com manutenção. Ao se remover peças de uma aeronave que não esteja em funcionamento há quase sempre a necessidade de abertura de acessos ou remoção de componentes periféricos. Há diversos casos que problemas

são criados durante estes processos. Como exemplo podemos citar a necessidade da troca de selos de vedação de um determinado componente que foi removido para a retirada de outro.

A canibalização, apesar de onerosa, é uma alternativa atualmente muito utilizada por empresas da aviação comercial como meio de suprir materiais que não estão disponíveis em estoque no momento em que ocorrem as demandas. Ela é uma alternativa cara aos problemas de previsão de demanda enfrentados pelas companhias aéreas mundiais.

3. ETAPAS DO SISTEMA DE PREVISÃO

3.1 A Classificação dos Materiais

A grande vantagem em se classificar os materiais é a possibilidade de aplicar a cada um deles a metodologia de previsão adequada. Assim, os esforços podem ser direcionados no sentido de aprimorar processos e reduzir custos operacionais com logística e armazenamento. Huiskonen (2001) e Boylan, Syntetos & Karakostas (2008) consideram que a classificação dos itens de estoque são importantes para determinar o nível de gestão que deverá ser dado à cada item, assim como, permitir a escolha do método de previsão e controle de estoque mais adequado. A definição de diferentes metas de desempenho nos níveis de serviço e giro de materiais entre as categorias classificadas também são alcançadas por meio desta classificação. A seguir, serão apresentados os principais modelos utilizados para a classificação de materiais. Alguns deles são vastamente utilizados nos campos da indústria e serviços e são abordados por diversos autores, Silver, Pyke e Peterson (1998), Silva *et al* (2004), Syntetos & Boylan (2007) entre outros, como metodologias importantes no auxílio do planejamento e controle de materiais.

3.1.1 A Classificação segundo o consumo e o valor unitário do material

Uma ferramenta muito utilizada neste tipo de classificação é a curva ABC ou gráfico de Pareto. Utilizada para o controle de compra e reposição de materiais é uma ferramenta que utiliza como critério de valor o uso anual, ou seja, quantidade utilizada por ano *versus* o valor unitário. Neste método são considerados que de 15 a 20% dos materiais que se encontram em estoque respondem por 80% do custo deste estoque o que torna seu tratamento diferenciado em relação aos demais. Esta diferença reside no controle dos níveis de reposição e programação de compras mais ajustados. Silva *et al* (2004) descrevem a classificação ABC da seguinte forma:

- a. Itens classificados como A são aqueles que respondem pelos 20% de alto valor agregado e que representam em torno de 80% do custo total do estoque. Não é interessante para as empresas manter uma grande quantidade destes itens estocados

devido á imobilização de capital. Assim, torna-se necessário a aplicação de uma análise mais precisa no que diz respeito aos pontos de reposição de estoque.

- b. Itens classe B são aqueles que respondem pelo custo intermediário, entre os itens de baixo e alto valor agregado. São considerados 30% dos materiais que representam cerca de 10% do custo total. O controle desta classe não precisa ser tão rígido como na classe A, porém deve se ter mais acurácia do que na classe C.
- c. Itens classe C são os considerados de baixo valor agregado e compreendem em torno de 50% do total de itens que compõem o estoque, porém representam apenas 10% do valor total do custo de estoque. Estes materiais não exige um controle muito acurado devido ao seu baixo valor financeiro.

A curva ABC funciona a contento em apenas alguns casos específicos. Williams (1984) adverte que a grande desvantagem da utilização desse método é a necessidade de classificar materiais de mesma categoria, ou seja, não são considerados a importância em que o material ou peça de reposição possui no funcionamento da máquina o que conseqüentemente não leva em conta a sua importância dentro do processo produtivo. Já para Silver, Pyke e Peterson (1998), ela pode ser utilizada de forma eficiente em determinados processos de previsão de demanda uma vez que os padrões de classificação dos materiais é satisfeita. Para Syntetos & Boylan (2007) algumas organizações têm utilizado uma sofisticada variação da curva ABC na classificação de materiais. Neste modelo os itens de estoque são categorizados por meio desta metodologia levando em conta o seu custo e volume de consumo. Este novo formato apresenta uma grande flexibilidade nos ajustes dos níveis de serviço.

3.1.2 Classificações segundo a condição de reutilização

Botter e Fortuin (1998) classificam os materiais a partir da sua condição de reutilização. Para eles, peças de reposição podem ser consumíveis ou reparáveis (*rotables*). As peças reparáveis são aquelas que podem ser reparadas de forma que este processo seja economicamente viável. Elas são substituídas por outra peça idêntica, por meio da retirada de estoque ou pelo processo de canibalização, enquanto permanece em reparo. Grande parte dos componentes instalados nas aeronaves são *rotables*, o que reduz o custo operacional da frota com a compra de componentes novos a cada substituição.

Reparar componentes e peças aeronáuticas são economicamente viáveis uma vez que são pagos apenas materiais utilizados no reparo do subsistema danificado. Deve se ressaltar que para efeitos de controle de estoque, os materiais em reparo devem ser deduzidos das quantidades previstas para compra. Também deve ser levado em conta o tempo que o reparo levará, os tramites para o transporte de envio e retorno da peça e os processos alfandegários. Este último sendo um problema no Brasil devido a estrutura alfandegária pobre. Dentro desta classe encontram-se os computadores de bordo, os computadores dos sistemas e rádio e navegação, as fontes para os sistemas de iluminação, motores e unidades auxiliares de partida.

Na classe de materiais consumíveis estão aqueles que não apresentam possibilidade de reparo ou repará-los eleva o custo operacional da frota. Nestes casos eles são descartados e substituídos por novos. São materiais geralmente de valor agregado mais baixo do que os materiais reparáveis sendo compradas em quantidades maiores. Parafusos, anéis de vedação, rebites e fixadores estruturais, selos de vedação, porcas e terminais elétricos compõem esta classe.

Vale ressaltar que a importância funcional destes itens se equipara muitas vezes aos componentes reparáveis, principalmente quando eles fazem parte do mesmo subsistema. Como exemplo pode-se citar uma válvula pneumática do motor, classificada como material reparável, na qual seu valor unitário gira em torno de dez mil dólares. Para seu funcionamento pleno ela necessita da instalação de anéis de vedação que custam dois dólares cada um. Isso demonstra que os gestores de estoque não devem levar em conta somente o valor unitário dos materiais, considerando principalmente a sua importância no funcionamento do sistema

3.1.3 Classificações segundo Processo Hierárquico Analítico (PHA)

Outro método que pode ser utilizado como ferramenta de classificação é o Processo Hierárquico Analítico (PHA). Ele é abordado por autores como Ernst (1988); Guvenir e Erel (1998); Hautaniemi e Pirttilä (1999); Huiskonem *et al.* (2003) como um método de fácil utilização que incorpora critérios quantitativos e qualitativos em sua análise.

Proposto por Saaty (1977), a arquitetura do PHA permite o escalonamento do problema em uma estrutura hierárquica matricial que mostra as relações criadas entre os critérios de decisão e as alternativas existentes, assim como, a comparação entre alternativas que estejam posicionadas em um mesmo nível hierárquico ou superior. O cálculo de autovetores e autovalores assim como de indicadores de desempenho permite a análise das matrizes de comparação. Trata-se de uma ferramenta de apoio á tomada de decisão do tipo multicritério que tem sua aplicação em problemas envolvendo avaliações subjetivas. Nas áreas de aplicação incluem-se as engenharias, educação, indústria e setores governamentais.

Segundo Dutra & Flogliatto (2007) a coleta de dados para o PHA é baseada no preenchimento de matrizes de comparação pareadas e estas por sua vez apresentam os resultados das comparações de elementos de um mesmo nível hierárquico. Isso caracteriza o problema da análise de decisão relacionado a um elemento de nível hierárquico adjacente ou superior. A quantidade de níveis hierárquicos e de elementos define a complexibilidade da matriz. Maior número de níveis e elementos produzem matrizes mais complexa de serem analisadas.

As limitações do PHA são ressaltadas por autores como Schoner & Wedley (1989), Dyer (1990) e Barzilai (1998). Segundo eles o método possui uma restrição matemática que gera dependência entre a importância relativa dos critérios e as importâncias das alternativas. Uma discussão sobre as principais críticas ao PHA também pode ser encontrada em Belton & Steward (2002) e Smith & von Winterfeldt (2004).

Dutra & Flogliatto (2007) ainda ressaltam que os autores Belton & Gear (1982), Schoner & Wedley (1989) e Dyer (1990) apontaram a principal limitação do PHA. Conhecida como reversão de *ranking*, ela esta relacionada com a mudança da posição relativa de alguns elementos de análise no momento da introdução de novas opções no problema. A reversão de *ranking* continuou a ser discutida após sua proposição original, como mostra os trabalhos de Schenkermann (1991, 1994), Forman (1993), Barzilai & Golany (1994), Barzilai (1999, 2000, 2001), Forman & Gass (2001) e Wang & Elhag (2006).

3.1.4 Classificação por segmento ou tipo de serviço

Segundo Syntetos e Boylan (2003), uma das formas de classificar materiais é a partir da sua necessidade por segmentos ou tipo de serviço. Nesse caso, é analisado o nível de importância que cada material possui para a execução de determinada tarefa ou funcionamento de um determinado sistema. Os autores abordam, ainda, a classificação por meio de métodos formais como Modo de Falhas ou Análise de Efeito e Criticidade (FMECA) que é mais conhecido atualmente como a norma *Military Standard MIL-STD-1629A*. Esta metodologia foi aplicada na indústria automobilística norte americana a partir de 1970 pelas empresas *Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation* desenvolveram a QS 9000¹² em um esforço para padronizar o sistema de qualidade fornecedor.

Esse método é definido como o procedimento no qual cada falha é relacionada com sua severidade e probabilidade de ocorrer. Não há uma padronização nos formulários de análise uma vez que cada empresa adapta a metodologia ao seu produto ou processo produtivo. Estes formulários contemplam informações que permitem avaliar a probabilidade de ocorrência e detecção das falhas assim como o impacto destas falhas no processo produtivo, no meio ambiente ou nas normas governamentais. A classificação se dá por meio da análise dos materiais envolvidos nos processos de manutenção, considerando seu devido peso nesses processos.

A decomposição da máquina, em sistemas, subsistemas e componentes, deve ser feita como forma de identificar a função de cada um na operação do equipamento. Siqueira (2009) argumenta que o método para decomposição da máquina pode ser feito por meio de diagramas, esquemáticos e descrição textual. A etapa seguinte é classificação dos subsistemas e componentes de acordo com seus níveis críticos de operação. Smith e Hinchcliffe (2004) abordam a utilização do gráfico de Pareto e da classificação ABC como ferramenta para fazer esta identificação.

A classificação ABC é utilizada em conjunto com dados numéricos dos critérios estabelecidos para análise em que o resultado é apresentado em um gráfico de Pareto. Os

¹² QS9000: São normas que criadas pelas empresas *Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation* que visam garantir a qualidade dos produtos produzidos por seus fornecedores.

resultados obtidos permitem identificar os subsistemas mais críticos na operação do equipamento em sua parada por falhas causará impacto no processo produtivo.

3.2 Características e Classificação dos Padrões de Demandas Variáveis

Segundo Silva (2009), a demanda por peças de reposição tem características bastante peculiares e muito diferentes da encontrada normalmente nos produtos, matérias-primas e insumos para linhas de produção. Enquanto os insumos apresentam um padrão de demanda de alto giro, regular e previsível, as peças de reposição podem apresentar padrões de demanda com características variável no tamanho da demanda, nos períodos de ocorrência ou em ambos. A demanda variável possui algumas variações que são conhecidas como: a) Intermitente; b) *Slow Moving*; c) *Smooth*; d) Errática; d) *Lumpy*; e) Irregular;

A demanda intermitente, em seu turno, é definida por Silver, Ho, e Deemer (1971) como uma demanda aleatória com uma grande proporção de valores nulos. Silver, Pyke e Peterson (1998) consideram como intermitente a demanda que possui o tempo médio entre ocorrências consecutivas maiores do que o intervalo de tempo da atualização.

A Figura 2 apresenta o perfil de demanda intermitente para um determinado material. Nota-se que o espectro relevante são os intervalos entre as demandas, caracterizados pelos valores nulos e a considerável variação na quantidade de itens consumidos por demanda.

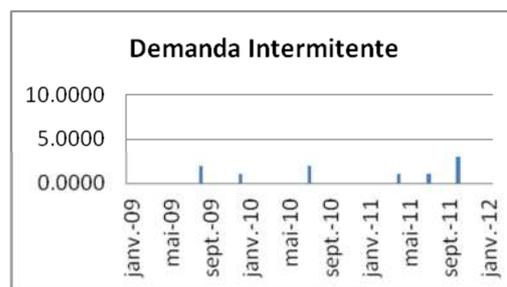


Figura 2: Perfil de demanda intermitente

Fonte: Dados coletados em campo.

Santos e Rodrigues (2006) definem a demanda *slow moving* como aquela que possui vários períodos em que não há registro de seu consumo. Silva (2009) afirma que ela

apresenta um tamanho de demanda baixo e pouco variável, com ocorrências não frequentes. Estas características podem ser observadas na Figura 3. Observa-se que o consumo de peças permaneceu inalterado em cinco ocorrências de demanda das seis registradas.

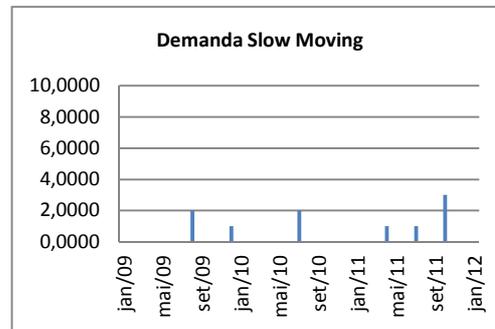


Figura 3: Perfil de demanda *slow moving*
Fonte: Dados coletados em campo.

Já os itens erráticos são definidos por Silver (1970) como itens que apresentam, em sua maioria, ocorrências que oscilam o tamanho da demanda, sendo que as grandes demandas apresentam transações ocasionais dentro do intervalo medido. Além disso, a pequena variação no tamanho da demanda caracteriza a diferença entre os itens *slow moving* e os erráticos (EAVES, 2002). Tais características podem ser vistas claramente na Figura 4.

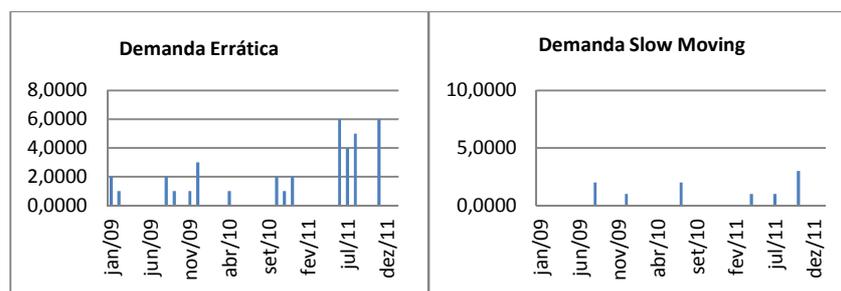


Figura 4: Diferenças entre as demandas *slow moving* e erráticas
Fonte: Dados coletados em campo.

Segundo Willians (1980), a demanda *smooth* como aquela que possui baixa variabilidade no número de transações, no tamanho da demanda e no *lead time*¹³. Esta baixa variabilidade deve ser considerada dentro do período sazonal como mostrado na Figura 5. Verifica-se que há períodos em que o consumo do material oscila entre intervalos de tempo que apresentam tamanho de demandas muito próximos. Isso caracteriza a baixa variabilidade dentro do intervalo de tempo avaliado.

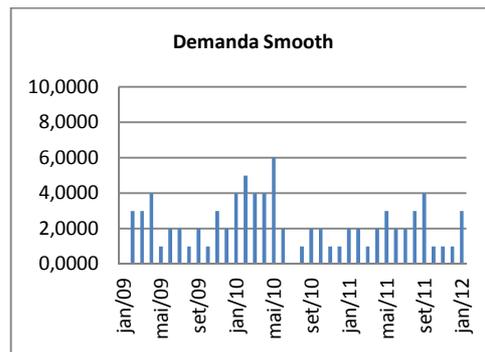


Figura 5: Padrão de demanda tipo *smooth*
Fonte: Dados coletados em campo.

Por fim, a demanda é considerada como *lumpy* se ela possui ambas as características: intermitente e errática (SYNTETOS & BOYLAND, 2008). Lembrando que a demanda intermitente possui uma demanda aleatória com uma grande proporção de valores nulos e a errática e caracterizada pela ascilação do tamanho da demanda. Por meio da Figura 6 é possível observar estas características.

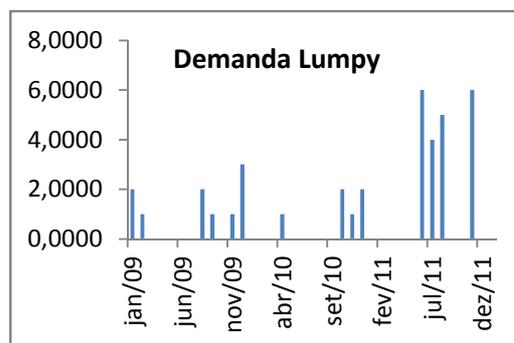


Figura 6: Padrão de demanda *lumpy*
Fonte: Dados coletados em campo.

¹³ *Lead time*: Intervalo de tempo entre o início e o fim das observações dos dados.

Verifica-se que há uma grande quantidade de valores nulos dentro do intervalo de tempo medido assim como a ocorrência de oscilação no consumo de itens durante a ocorrência das demandas.

3.2.1 Metodologia para a classificação da demanda variável

Bartezghi *et al.* (1999) criaram uma matriz que permite classificar a demanda variável como: intermitente, errática ou *lumpy*, segundo quatro fatores, que são mostrados na Figura 7. São eles: o número de potenciais consumidores, a frequência de requisições feitas pelos consumidores, a heterogeneidade dos consumidores, a variedade de requisições dos consumidores (medido por meio do coeficiente de variação (CV) da demanda de um único consumidor). A correlação destes fatores, segundo os autores, produzem resultados diferentes que são responsáveis por gerar os padrões de demanda intermitente, errático e *lumpy*.

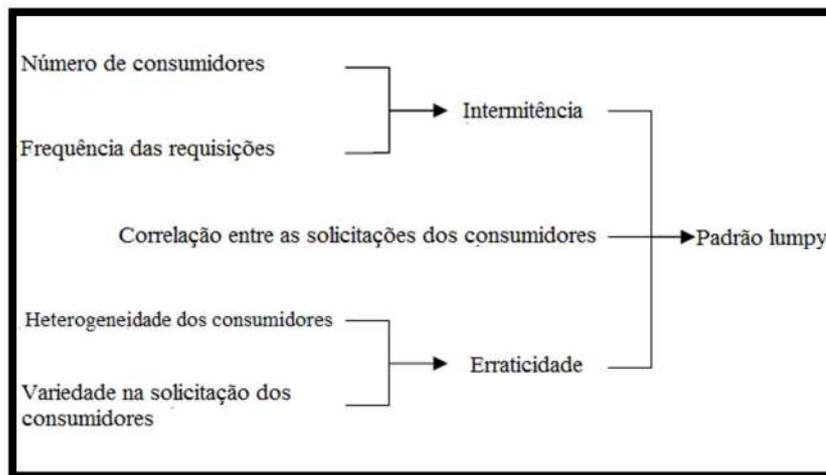


Figura 7: Esquema de classificação de Bartezghi
Fonte: Adaptado por Syntetos e Boylan (2005).

O esquema mostra que a intermitência na demanda é fruto da variação na frequência das requisições e na variabilidade do número de consumidores. Já o número de consumidores heterogêneos aliado a variedade das solicitações gera erraticidade na demanda. A correlação de todos estes fatores leva a ocorrência da demanda *lumpy*. Desta forma, pode-se afirmar que

com base no modelo Bartezghi, que a demanda *lumpy* possui tanto características intermitente quanto errática.

Um outro autor que desenvolveu um método analítico para a classificação da demanda em smooth, slow moving e errática foi Williams (1980). Ele decompos a variância da demanda e do *lead time* (LTD) entre suas partes constituintes utilizando-as na diferenciação dos padrões de consumos de materiais e peças de reposição. Esse método foi utilizado por vários autores: Silver, Pyke e Peterson (1998); Bartezghi *et al.* (1999); Syntetos (2001); Ghobbar e Friend (2003); Eaves e Kingsman (2004) que propuseram alterações e correções ao longo do tempo. Também conhecido como partição da variância, o método de Williams têm como premissas os seguintes critérios:

- a). O número de transações por unidade de tempo é independente, identicamente distribuídos em variáveis randômicas aleatórias (β) com média \bar{n} e variância var_n .
- b). O tamanho da demanda é β com média \bar{z} e variância var_z .
- c). Os *lead times* são β com média \bar{L} e variância var_L .
- d). Os três conjuntos de variáveis randômicas aleatórias também são independentes uns dos outros. A equação de partição de variância subjacente para o caso de *lead time* variável é dada como:

$$\text{var}_{LTD} = \bar{z}^2 \bar{L} \text{var}_z + \bar{n} \bar{L} \text{var}_n + \bar{n}^2 \bar{z}^2 \text{var}_L \quad (1)$$

A equação (1) torna-se adimensional por meio de:

$$C_{LTD}^2 = \frac{C_n^2}{\bar{n}} + \frac{C_z^2}{\bar{n} \bar{L}} + C_L^2 \quad (2)$$

Onde C^2 é o coeficiente de variação do tamanho da demanda.

Avaliando-se as três partes constitutivas da equação (2), traduzida como a variabilidade do número de transações, variabilidade no tamanho da demanda e variabilidade do *lead time* alcança-se a classificação da LTD para os *lead times* não constantes apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação da demanda conforme decomposição da variância do LTD

<i>Componente da Demanda Durante o Lead Time</i>			<i>Tipo de Padrão da Demanda</i>
<i>Variabilidade nas transações</i>	<i>Variabilidade no tamanho da demanda</i>	<i>Variabilidade no lead time</i>	
<i>Baixa</i>	-	-	<i>Smooth</i>
<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>	-	<i>Slow moving</i>
<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>	<i>Errático</i>
<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Errático com lead time altamente variável</i>

Fonte: Adaptado de Willians (1980).

Observa-se que o padrão *smooth* apresenta uma baixa variabilidade nas transações o que o difere da demanda *slow moving* e errática que apresentam uma alta variabilidade nesta variável. Verifica-se também que a principal diferença entre o padrão *slow moving* e o padrão errático é a variabilidade no tamanho da demanda. Os limites entre as regiões que definem estes padrões (*breakpoints*) são definidos com base em simulações e de acordo com a política de estoque da companhia. Vale ressaltar que um item terá sua categoria modificada se os valores provenientes dos cálculos de sua variância ultrapassarem os valores de *breakpoint*.

Uma revisão do modelo de Williams (1980) foi apresentado por Eaves (2002). Neste trabalho, que contemplou uma série histórica composta por peças de reposição para as aeronaves da frota da Royal Air Force (RAF), concluiu-se que o modelo apresentado por Williams não caracterizava de forma plena o padrão de demanda *smooth*. Segundo Eaves, dentro do universo classificado por Williams como *smooth*, havia itens que apresentavam uma baixa variabilidade nas transações o que permitiria uma a criação de uma nova categoria, a irregular. Lembrando que as fronteiras entre *smooth* e irregular respeitam os limites de variabilidade no tamanho da demanda de cada material.

No modelo proposto por Eaves (2002), a variabilidade do *lead time* é tomada como referência para distinguir os itens erráticos dos altamente erráticos. Os valores de *breakpoint* foram calculados com base em simulações definindo as fronteiras de cada demanda em particular. A Figura 8 apresenta a matriz de classificação adaptada de Eaves (2002). Considera-se a categoria A como *smooth*, a categoria C – irregular, categoria B – *slow*

moving, categoria D – errática, categoria D1 – altamente errática. Os cálculos da variabilidade seguem as equações (3) e (4):

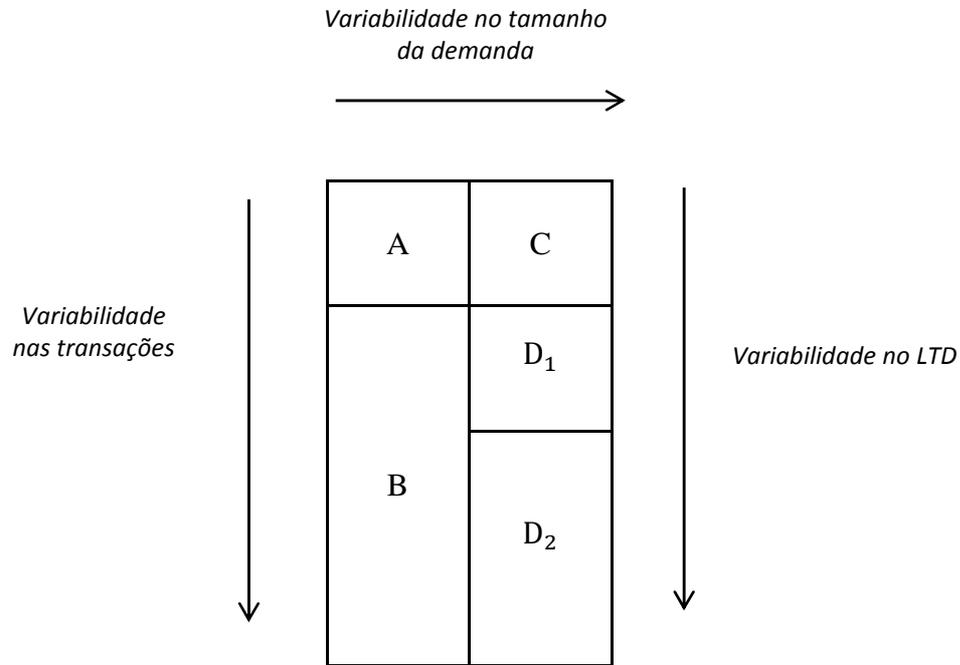


Figura 8: Esquema de classificação de demanda
Fonte: Adaptado de Eaves (2002)

Os cálculos da variabilidade seguem as equações (3) e (4):

$$L_y = \frac{CV_{(x)}^2}{L(\lambda)}, \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{\lambda L} \quad (4)$$

Onde:

CV - pode ser definido como o percentual de variação de uma amostra em relação à sua média, ou seja, é o desvio padrão dividido pela média.

$CV_{(x)}^2$ – o *Square coeficiente of variation* corresponde ao coeficiente de variação do tamanho da demanda e pode ser definido matematicamente como:

$$cv^2 = \sqrt{\frac{\bar{\sigma}}{\mu}} \quad (5)$$

Onde:

$\bar{\sigma}$ – é o desvio padrão do tamanho da demanda no período.

μ – é o valor médio do tamanho da demanda no período.

\bar{L} - o valor médio do lead time entre as partes constituintes da demanda.

L_y - indica o quanto lumpy a demanda é. Lembrando que a intensidade do fator lumpy é definido pela intensidade da intermitência e pelo tamanho da demanda quando ela ocorre.

I – indica o número de lead times entre demandas sucessivas, em outras palavras, este fator mostra qual a frequência de ocorrência da demanda ou quanto intermitente ela é.

Ghobbar e Friend (2003) trabalharam com os fatores *Seasonal Period Length (SPL)*, *Primary Maintenance Process*¹⁴ (*PMP*), além do *Square Coeficiente of Variation (CV²)* e o *Average Inter-Demand Interval (ADI)*, de forma a customizar o modelo para o uso em empresas da aviação comercial. Estes fatores serão descritos a seguir:

SPL: significa o número de períodos em que é feita a previsão de demanda, em outras palavras trata-se do horizonte de previsão. O período mais popular entre as empresas aéreas é de um a três meses, porém pode chegar até o período semanal. Deve-se ressaltar que de acordo com os autores a acurácia da previsão é inversamente proporcional ao SPL. Em outras palavras, a acurácia da previsão reduz com o aumento do período que se deseja prever.

PMP: Este parâmetro indica o padrão de consumo da peça em função do programa de manutenção da aeronave. Por exemplo: uma peça que seja classificada como HT tem seu intervalo de troca definido pelo programa de manutenção, assim pode-se prever com maior segurança quando uma ou mais peças desta categoria serão substituídas. Esta característica contribui para a redução da variabilidade da demanda. Já um componente classificado como

¹⁴ *Primary Maintenance Process* - é uma metodologia reconhecida pela *United Kingdom Civil Aviation Authority* como padrão de classificação de materiais e processos de manutenção. Eles são divididos em *hard-time* (HT), *on-condition* (OC) e *condition-monitoring* (CM).

CM será substituído quando falhar. Este perfil de operação gera variabilidade na demanda acarretando incerteza na previsão.

CV^2 : coeficiente de variação da demanda.

ADI (ρ): *Average inter-demand interval* corresponde ao intervalo médio interdemaanda definido como:

$$\rho = \frac{\sum D_t}{\mu_t} \quad (6)$$

Onde:

ρ – Intervalo entre demandas consecutivas.

μ_t – Valor médio dentro do intervalo medido.

Este fatores foram utilizados pelos autores para ensaiar, por meio de uma base de dados composta por trinta e cinco peças de reposição de diversos modelos de aeronaves da frota da KLM-uk¹⁵, treze métodos conhecidos como mais adequados para a previsão de demandas variáveis na literatura. São eles:

1. *Additive Winter (AW) e Multiplicative Winter (MW)*, também conhecidos como Winters,
2. *Seasonal Regression Model (SRM)*,
3. *Component Service Life (CSL)*,
4. *Weighted Calculation of Demand Rates (WCDR)*,
5. *Weighted Regression Demand Forecasters (WRDF)*,
6. *Croston (CR)*, o *Single Exponential Smoothing (SES)*,
7. *Weighted Moving Average (WMA)*,
8. *Trend Adjusted Exponential Smoothing (TAES) e*
9. *Adaptive-Response-Rate Single Exponential Smoothing (ARRSES)*.

O método de Eaves foi utilizado neste trabalho para a classificação das demandas, porém com o acréscimo dos fatores SPL e PMP. Os autores geraram a matriz de classificação que é apresentada na Figura 9. Ela foi subdividida nas categorias: demanda errática com pequeno nível de intermitência, demanda *lumpy*, demanda *smooth* e demanda intermitente com

¹⁵ KLM-uk – empresa britânica que atua na aviação comercial britânica e internacional.

pequeno grau de arraticidade. Os *breakpoint* também foram definidos por meio de simulações numéricas que permitiram definir as regiões de fronteiras. Por meio dela, os autores classificaram as demandas para as respectivas peças de reposição que fizeram parte série histórica utilizada no estudo.

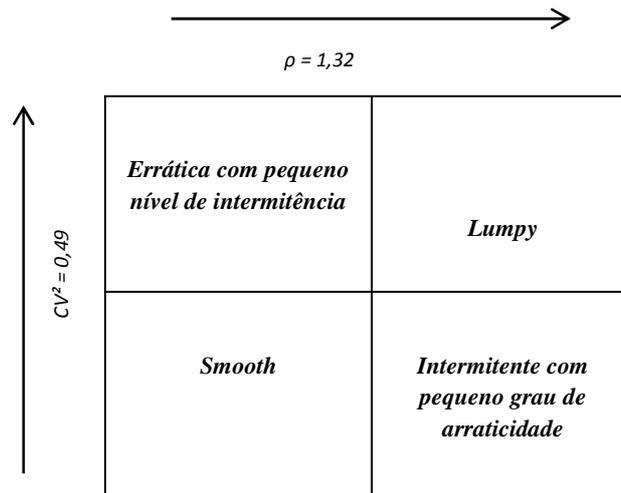


Figura 9: Matriz de classificação de demanda
Fonte: Adaptado de Ghobbar e Friend (2003)

Foram comparados, por meio de uma base de dados composta por trinta e cinco peças de reposição de diversos modelos de aeronaves da frota da KLM-uk¹⁶, treze métodos conhecidos como mais adequados para a previsão de demandas variáveis na literatura. São eles: o *Additive Winter (AW)* e *Multiplicative Winter (MW)*, também conhecidos como Winters, o *Seasonal Regression Model (SRM)*, o *Component Service Life (CSL)*, o *Weighted Calculation of Demand Rates (WCDR)*, o *Weighted Regression Demand Forecasters (WRDF)*, o *Croston (CR)*, o *Single Exponential Smoothing (SES)*, o *Weighted Moving Average (WMA)*, o *Trend Adjusted Exponential Smoothing (TAES)* e o *Adaptive-Response-Rate Single Exponential Smoothing (ARRSES)*. Eles fizeram uso do método de Eaves para a classificação das demandas, porém com o acréscimo dos fatores SPL e PMP.

Para Syntetos, Boylan e Croston (2005), a classificação dos padrões de demanda facilitam a seleção do método mais adequado àquela determinada demanda sendo essencial para o uso de diversos softwares de previsão de demanda. Apesar de sua importância, este

¹⁶ KLM-uk – empresa britânica que atua na aviação comercial britânica e internacional.

assunto não tem recebido a devida importância. Segundo os autores, não há muitos trabalhos na literatura acadêmica o que dificulta a divulgação do assunto.

3.2.2 Metodologias para a Previsão de Demanda Variável

Segundo Bartezzaghi e *et al* (1999), métodos para a redução ou controle da incerteza têm sido aplicados na previsão de demandas, com o objetivo de aumentar sua acurácia e reduzir o impacto na programação de execução de serviços. Os primeiros modelos surgiram durante a segunda grande guerra contribuindo para a melhoria nos processos logístico da época. Entre eles se destacam os métodos baseados no Amortecimento Exponencial.

O Amortecimento Exponencial ou *Exponential Smoothing* surgiu à partir do trabalho de Robert G. Brown (1944). Ele era responsável pelo cálculo de velocidade e do ângulo de tiro dos canhões instalados em *destroyers*¹⁷ da marinha americana. Brown aprimorou o método, durante a década de 50, aplicando a ele fatores que permitiam correções de tendência. Em 1956, ele aplicou a metodologia em previsão de demanda de peças de reposição para os navios da marinha americana. Holt (1950), trabalhou paralelamente a Brown em um método parecido. Ele o publicou em 1957 e foi considerado pela academia como um trabalho que se tratava de uma extensão do trabalho de Brown. Sua proposta baseava-se em adicionar aos cálculos de Brown novas variáveis que representassem tendências possíveis de ocorrer durante as previsões. Winters (1960) testou o trabalho de Holt em uma série histórica composta de dados empíricos acrescentando a sazonalidade aos cálculos. O autor escreveu uma série de equações que contempla além da tendência também a sazonalidade sendo conhecida como método de Winters.

Hydman *et al* (2002) descreve de forma clara as variações do método *Exponential Smoothing*. Nas notações, cada método é denotado por uma ou duas letras que caracterizam a existência ou não dos fatores de tendência e sazonalidade. É importante ressaltar que a letra N significa “não”, ou seja, ela indica que o método não possui um determinado fator. De forma

¹⁷ *Destroyer* é um tipo de navio de guerra, rápido e manobrável, com uma pequena autonomia, concebido para escoltar navios maiores numa esquadra naval ou comboio de navios e defendê-los contra agressores menores, mas perigosos (LYON, 1997)

geral a metodologia de amortecimento exponencial pode ser subdividida em métodos que consideram somente a tendência nos cálculos e aqueles que consideram tendência e sazonalidade.

O método A-N, por exemplo, contempla a adição do cálculo de tendência desconsiderando a sazonalidade, é também conhecido como método de Holt (1957). O método N-N denota a não inclusão de tendência e sazonalidade nos cálculos. Ele é comumente conhecido como *Simple Exponential Smoothing* (Brown, 1959). Pegel (1969) publicou o método M-N que contempla a variável da tendência multiplicativa. Mac Kenzie (1985) apresentou o DA-N que acrescenta o cálculo de amortecimento da tendência a equação base deixando de fora a sazonalidade e por fim Taylor (2003) apresenta o DM-N ou tendência multiplicativa amortecida. Todos os métodos que contemplam além da tendência a sazonalidade foram escritos por Winters (1960). Todas as equações são apresentadas na Figura 10.

Adaptada de Everrete e Gardner (2005), ela mostra uma tabela que contempla as variações da metodologia de amortecimento exponencial. Os quadros estão divididos em métodos que não possuem amortecimento de tendência e sazonalidade, os que possuem amortecimento de tendência somente e aqueles que contemplam o amortecimento de tendência e sazonalidade. Dentro de cada quadro encontram-se as equações para cada variação.

Vale ressaltar que os fatores de amortecimento (*Damped*) são representados pela letra D, os métodos multiplicativos (*Multiplicative*) pela letra M e os métodos aditivos (*Additive*) pela letra A. Assim, se forem tomadas como exemplo a primeira coluna e a primeira linha da tabela, pode-se verificar que as equações correspondem ao método N-N ou simple exponential smoothing. Já verificando a primeira coluna e a segunda linha da tabela verifica-se as equações para o método A-N e assim por diante.

Tendência	Sazonalidade		
	N	A	M
N	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t / I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t / S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t$	$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t I_{t-p+m}$
A	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t / I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t / S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = (S_t + mT_t)I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t$	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = (S_t + mT_t)I_{t-p+m}$
DA	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + \phi T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi T_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + \phi T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t / I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + \phi T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t / S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = (S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t)I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} + \phi T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = \phi T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t$	$S_t = S_{t-1} + \phi T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = \phi T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} + \phi T_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $T_t = \phi T_{t-1} + \alpha \gamma e_t / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = (S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t)I_{t-p+m}$
M	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} R_{t-1})$ $R_t = \gamma(S_t / S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1} R_{t-1}$ $R_t = \gamma(S_t / S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t / I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1} R_{t-1}$ $R_t = \gamma(S_t / S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t / S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = (S_t R_t^m)I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} R_{t-1} + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1} + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1} + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1} + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $R_t = R_{t-1} + (\alpha \gamma e_t / S_{t-1}) / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = (S_t R_t^m)I_{t-p+m}$
DM	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} R_{t-1}^\phi)$ $R_t = \gamma(S_t / S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}^\phi$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^{\sum_{i=1}^m \phi^i}$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1} R_{t-1}^\phi$ $R_t = \gamma(S_t / S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}^\phi$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^{\sum_{i=1}^m \phi^i} + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t / I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} R_{t-1}^\phi)$ $R_t = \gamma(S_t / S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}^\phi$ $I_t = \delta(X_t / S_t) + (1 - \delta)I_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = (S_t R_t^{\sum_{i=1}^m \phi^i})I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} R_{t-1}^\phi + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1}^\phi + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^{\sum_{i=1}^m \phi^i}$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1}^\phi + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1}^\phi + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^{\sum_{i=1}^m \phi^i} + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1}^\phi + \alpha e_t / I_{t-p}$ $R_t = R_{t-1}^\phi + (\alpha \gamma e_t / S_{t-1}) / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = (S_t R_t^{\sum_{i=1}^m \phi^i})I_{t-p+m}$

Figura 10: Equações da metodologia de amortecimento exponencial

Fonte: Adaptado de Everrete e Gardner (2005)

A Figura 11 apresenta a descrição de cada variável envolvida nas equações apresentadas na Figura 10. Ela auxiliará o leitor esclarecendo as variáveis matemáticas existentes nas equações.

<i>Simbolo</i>	<i>Definição</i>
α	<i>Parâmetro de suavização do nível das série.</i>
γ	<i>Parâmetro de suavização de tendência.</i>
δ	<i>Parâmetro de suavização do índice sazonal.</i>
ϕ	<i>Parâmetro auto regressivo ou de suavização.</i>
β	<i>Fator de desconto.</i>
S_t	<i>Nível de suavidade da série histórica.</i>
T_t	<i>Tendência aditiva suavizada ao final do período t.</i>
R_t	<i>Tendência multiplicativa suavizada ao final do período t.</i>
I_t	<i>Índice de amortecimento sazonal ao final do período t. Pode ser aditivo ou multiplicativo.</i>
X_t	<i>Valores observados na série no período t.</i>
m	<i>Número de períodos da previsão.</i>
p	<i>Número de período do ciclo sazonal.</i>
$\hat{X}_t(m)$	<i>Previsão para m períodos a frente da origem t.</i>
e_t	<i>Erro de previsão de um período à frente.</i>
C_t	<i>Fator de renormalização acumulativa para índices sazonais.</i>
V_t	<i>variável de transição do amortecimento exponencial.l</i>
D_t	<i>Valores observados de demandas diferentes de zero no método de Croston.</i>
Q_t	<i>Valores aobservados do período entre demandas.</i>
Z_t	<i>Amortecimento das demandas diferentes de zero no método de Croston.</i>
P_t	<i>Intervalo entre demandas amortecido no método de Croston.</i>
Y_t	<i>Demandas estimadas por unidades de tempo no método de Croston.</i>

Figura 11: Descrição das variáveis que compõem as equações da Figura 10.

Fonte: Adaptado de Everrete e Gardner (2005)

As diversas variações do amortecimento exponencial são amplamente utilizadas em diversas áreas da indústria e serviços. O Quadro 2 mostra as pesquisas empíricas que já foram publicadas sobre esta metodologia nestas áreas e a variação do método que foram utilizados. Observa-se que o método N-N ou *Simple Exponential Smoothing* foi testado diversas vezes por autores como Croston, Syntetos e Boylan e Snyder no campo da gestão de peças automotivas, motivo pelo qual será testado neste trabalho, agora, na gestão de peças aeronáuticas.

Quadro 2: Utilização do método Exponential Smoothing nas áreas da indústria e serviços.

Base de Dados	Método	Referência
<i>Passageiros de linhas aéreas</i>	DA-A	<i>Grubb e Mason (2001)</i>
<i>Demanda de chamadas de ambulâncias</i>	A-M	<i>Baker e Fitzpatrick (1986)</i>
<i>Margem de vitórias de time de futebol</i>	N-N	<i>Clarke (1993)</i>
<i>Peças para automóvel</i>	N-N	<i>Gardner e Diaz (2000)</i>
<i>Peças para automóvel</i>	N-N	<i>Croston Snyder (2002)</i>
<i>Peças para automóvel</i>	N-N	<i>Croston Syntetos/ Boylan (2005)</i>
<i>Peça para automóveis</i>	N-N	<i>Croston Syntetos et al. (2005)</i>
<i>Volume de chamadas em telemarketing</i>	A-A/A-M	<i>Bianchi et al. (1998)</i>
<i>Produtos químicos</i>	N-N	<i>Croston, Garcia-Flores et al. (2003)</i>
<i>Serviços de redes de computadores</i>	N-N	<i>Masuda e Whang (1999)</i>
<i>Peças para computadores</i>	DA-N	<i>Gardner (1993)</i>
<i>Reparadoras de peças</i>	N-N	<i>Croston Strijbosch et al. (2000)</i>
<i>Venda de produtos</i>	N-N, A-N/DA-N	<i>Schnaars (1986)</i>
<i>Consumo de alimentos</i>	N-N	<i>Koehler (1985)</i>
<i>Margem de crimes</i>	N-N, A-N	<i>Gorr et al. (2003)</i>
<i>Dados da economia</i>	N-N, A-N	<i>Geringer e Ord (1991)</i>
<i>Dados do ambiente econômico</i>	A-N	<i>Wright (1986b)</i>
<i>Consumo elétrico</i>	A-N	<i>Huss (1985a)</i>
<i>Exportações</i>	N-N	<i>Mahmoud et al. (1990)</i>
<i>Vendas de produtos da IBM</i>	A-M	<i>Wu et al. (1991)</i>
<i>Demanda de peças veiculares</i>	N-N	<i>Croston, Sani e Kingsman (1997)</i>

Fonte: Adaptado de Everrete & Gardner (2005)

Outra metodologia muito conhecida é a Média Móvel ou *Moving Average*. Apesar de ser antiga, ela tem sido amplamente utilizada na análise de indicadores e em previsões de séries temporais (DASH, 2012). Trata-se de uma técnica simples, fácil de compreender e que se resume a uma média aritmética. Ela possui variações que levam em consideração a influência ou não de cada observação nos resultados. Elas são conhecidas como Média Móvel Simples ou *Simple Moving Average* (SMA), média móvel ponderada - *Weighted Moving Average* (WMA) e a Média Móvel Ponderada Amortecida Exponencialmente ou *Exponential Moving Average* (EMA).

Com a evolução dos softwares de previsão, verifica-se atualmente uma variedade de fórmulas e expressões matemáticas que descrevem esta metodologia, porém todas elas utilizam como base de dados uma série histórica e os valores atuais.

Existem dois parâmetros que são normalmente utilizados no cálculo da Média Móvel, o número de barras que corresponde a cada ocorrência inclusa na série de dados e o valor de cada barra que correspondente ao valor de cada ocorrência respectivamente. A dinâmica matemática do método pode considerar a variação dos pesos, ou influência que o valor da barra tem no resultado final. No primeiro caso, o método passa a ser conhecido como WMA e os pesos sofrem alteração na medida em que as barras são criadas. Em outras palavras, terá maior influência ou maior peso nos resultados aquela barra que foi incluída mais recentemente na série. Tomando como exemplo uma série histórica que apresenta a ocorrência de demandas nos três últimos dias de um período analisado, o valor de demanda do último dia terá um peso maior nos resultados do que os demais.

Esta característica não ocorre no caso do SMA. Nele, não há variação dos pesos em função das ocorrências permanecendo sua influência igual para todas as barras. Já no caso do EMA é adicionado ao cálculo da média móvel o cálculo exponencial de amortecimento de tendência. Isso suaviza e melhora o ajustamento dos resultados. É importante ressaltar que para que o EMA produza saídas satisfatórias torna-se necessário trabalhar com uma série histórica composta de um grande número de barras. Callegaro (2010), argumenta que a metodologia na média móvel, em especial a do método WMA é vastamente utilizado em previsão de séries temporais, assim como em gráficos de controle estatístico de processos sugerindo sua utilização na gestão e peças de reposição.

Já o Método de Poisson, que é utilizado geralmente para prever eventos de natureza randômica e ocorrências raras pode simular uma distribuição binominal sendo muito fácil de calcular, se comparado a outros métodos utilizados para este fim. Ele possui uma relação estreita com a metodologia binominal¹⁸, hipergeométrica¹⁹ e distribuição

¹⁸ Distribuição Binominal - é a distribuição de probabilidade discreta do número de sucessos numa sequência de n tentativas tais que as tentativas são independentes

¹⁹ Distribuição hipergeométrica - é uma distribuição de probabilidade discreta que descreve a probabilidade de se retirar x elementos do tipo A numa sequência de n extrações de uma população finita de tamanho N, com K elementos do tipo A e N-K elementos do tipo B, sem reposição.

exponencial²⁰. O método pode ser aplicado quando: (1) o evento é algo que pode ser contado em números inteiros, (2) as ocorrências são independentes, de modo que uma ocorrência não diminui nem aumenta a chance de um outro, (3) a frequência média de ocorrência de o período de tempo em questão é conhecido.

Manzini *et al.* (2007) e Bredley (2011), afirmam que a Distribuição de Poisson também tem sido estudada no campo da previsão de peças de reposição sendo utilizada em setores da indústria e serviços como metodologia de previsão de eventos não regulares. Contudo, Hill *et al.* (1996), afirma que métodos estatísticos tradicionais baseados em séries temporais podem apresentar problemas de inflexibilidade de variáveis dependentes e não dependentes durante a construção do processo de previsão o que possibilita a elevação do erro de previsão.

Observa-se que há uma variedade de metodologias que podem ser aplicadas na previsão de eventos de natureza variável ou irregular. Observando tal fato, Syntetos, Boylan e Croston (2005) verificaram que as empresas que utilizam softwares de previsão de demanda classificam primeiramente os padrões de demanda para em seguida escolher o método de previsão mais adequado. Por meio de pesquisas eles notaram que a escolha do método se dava muitas vezes de forma arbitrária baseado em indicações da literatura acadêmica. Assim, propuseram um modelo de aproximação com base no resultado do erro quadrático médio – Main Square Error (MSE) que permite a escolha mais ajustada da metodologia disponível na literatura.

Para comprovar a eficácia de seu método, os autores compararam os modelos de previsão de Croston (1972), *Exponencial Weighted Moving Average (EWMA)* e o método de Syntetos e Boylan (SBA). Utilizaram para isso uma série histórica simulada composta de 3.000 itens e concluíram que o uso do MSE pode indicar os pontos de superioridade de um método sobre o outro facilitando a escolha da metodologia mais adequada pelo planejador de estoque. As equações que contemplam esta metodologia são apresentadas à seguir:

$$MSE_{EWMA} = L \left\{ L \frac{\alpha}{2-\alpha} \left[\frac{\rho-1}{\rho^2} \mu^2 + \frac{\sigma^2}{\rho} \right] + \left[\frac{\rho-1}{\rho^2} \mu^2 + \frac{\sigma^2}{\rho} \right] \right\} \quad (7)$$

$$MSE_{CROSTON} = L \left\{ L \frac{\alpha}{2-\alpha} \left[\frac{\rho(\rho-1)}{\rho^4} \left(\mu^2 + \frac{\alpha}{2-\alpha} \sigma^2 \right) + \frac{\sigma^2}{\rho^2} \right] + \left[\frac{\rho-1}{\rho^2} \mu^2 + \frac{\sigma^2}{\rho} \right] \right\} \quad (8)$$

²⁰Distribuição exponencial- é um tipo de distribuição contínua de probabilidade, representada por um parâmetro λ .

$$MSE_{SB} \approx L \left\{ L \frac{\alpha(2-\alpha)}{4} \left[\frac{(\rho-1)}{\rho^3} x \left(\mu^2 + \frac{\alpha}{2-\alpha} \sigma^2 \right) + \frac{\sigma^2}{\rho^2} \right] + L \left[\frac{\alpha}{2} \frac{\mu}{\rho^2} \right] \left[\frac{\rho-1}{\rho^2} \mu^2 + \frac{\sigma^2}{\rho} \right] \right\} \quad (9)$$

Onde:

ρ – é o intervalo entre demandas (ADI).

α – coeficiente de amortecimento utilizada para os intervalos.

μ – variância

σ^2 - média

L – lead time

O trabalho de Ghobbar e Friend (2003) também produziu conclusões interessantes no que diz respeito ao ajustamento de métodos de previsão para demandas variáveis em séries históricas específicas. Eles identificaram que dos treze métodos testados na série histórica de trinta e cinco peças de reposição aeronáuticas quatro tiveram destaque. São eles: o método de Croston, o método de Winters, Weighted Moving Average e o Single Exponential Smoothing. Para a avaliação da acurácia dos resultados e determinar os softwares de melhor ajustamento foi utilizado o método da média dos erros percentuais - *Mean Average Percentage Error* (MAPE).

3.3 Acurácia na Previsão

Wallström (2009) argumenta que a utilização de metodologia adequada para medir os erros na previsão são necessários em métodos que utilizam parâmetros de suavização, amortecimento ou os dois. Contudo, deve-se levar em conta que não há uma metodologia específica para executar esta tarefa. Diferentes medições, utilizando métodos de acurácia variados devem ser feitas e posteriormente discutidas. Gardner (2006) comparou cinco estudos sobre o método de Croston e suas variantes.

Ele concluiu que a performance do método de previsão pode variar de acordo com os valores de erros encontrados no trabalho de acurácia dos resultados e pelo tipo de série histórica que é utilizada para a previsão. Teunter e Duncan (2009) argumentam que conflitos nos resultados podem ser fruto de um inapropriado trabalho de acurácia nos resultados. Assim, deve-se levar em conta que há diferentes tipos de métodos para medição de erros na

previsão e que suas diferentes formas de fazê-lo podem reduzir a perda de informações. Por trás de cada medição há um método mais adequado que possibilita complementar as informações.

Matematicamente o erro de previsão é definido como a diferença entre o valor atual e o valor previsto para o mesmo período. Makridakis e outros (1998) afirmam que, se Y_t é a observação atual para o período t e F_t é a previsão para o mesmo período, o erro da previsão é definido pela Equação (10).

$$e_t = X_t - \widehat{X}_t \quad (10)$$

Onde:

e_t : Erro na previsão;

X_t : Observação atual para o período t ;

\widehat{X}_t : Previsão para o período t ;

A acurácia de uma previsão pode ser entendida como a diferença entre a demanda atual e a demanda prevista. Previsões de baixa acurácia podem causar desbalanceamento do processo de ressuprimento e impacto direto no fornecimento de materiais. A seguir serão apresentadas as metodologias utilizadas neste estudo para a análise da acurácia dos resultados. São elas: o Erro Quadrático Médio (MSE), do Erro Absoluto Médio (MAE) e do Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE).

3.3.1 O Erro Quadrático Médio (MSE)

Uma forma comum de medir o erro e sua variância na previsão é por meio do erro quadrático médio ou MSE. Para Lewis (1997), esta medida de erro é utilizado para determinar o modelo de previsão de melhor ajustamento, sendo escolhido aquele que possui o menor valor de erro quadrático médio. Lehmann e Casella (1998) afirmam que o MSE é uma das ferramentas utilizadas para quantificar a diferença entre os valores reais e os valores previstos. Ele é definido como a média do quadrado do desvio entre os valores obtidos e os valores reais e pode ser expresso pela Equação (11). É considerada uma medida de referência

para a escolha do modelo de previsão, pois penaliza mais os maiores desvios, dando pouca importância aos erros de menor valor.

Na equação (12) assume-se que o erro de previsão médio deriva de zero e o erro médio presente pode ser comparado ao desvio padrão. Se for assumido que o valor do erro médio é igual a zero o termo que indica o erro de previsão médio é removido da expressão, assim a equação (9) toma a forma da equação (10).

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (e_t - \bar{e}_t)^2 \quad (11)$$

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (e_t)^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (X_t - \widehat{X}_t)^2 \quad (12)$$

Onde:

T – é o número de períodos observados.

\bar{e}_t – erro de previsão médio.

3.3.2 O Erro Absoluto Médio (MAE)

O Erro Absoluto Médio pode ser definido como a média dos erros absolutos e supera o cancelamento dos erros positivos e negativos presentes no erro médio. A Equação (13) descreve matematicamente este método.

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \text{abs}(e_t - \bar{e}_t) \quad (13)$$

3.3.3 O Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE)

Para a definição do MAPE, torna-se necessário entender primeiramente o que é erro percentual. Segundo Makridakis *et al* (1998), a escala utilizada nos dados da amostra pode influenciar na medida dos erros anteriores, acarretando problemas ou resultados

inexpressivos, sobretudo quando essa escala é utilizada como parâmetro em diferentes intervalos de séries temporais. Assim, faz-se uso do erro percentual para comparar dados que possuam medidas diferentes. O erro percentual pode ser expresso por meio da equação (14).

$$Pe_t = (X_t - X_{t+1} / X_t) \times 100 \quad (14)$$

Onde:

Pe_t : Valor do erro percentual para o período t ;

X_t : Observação atual para o período t ;

X_{t+1} : Previsão para o período $t+1$;

Definido o erro percentual, passa-se, então, à definição do erro percentual absoluto médio. O MAPE é definido como a média de todos os erros absolutos, expressa em porcentagem e pode ser calculado pela Equação (15).

$$MAPE = \left(\frac{\sum_{t=1}^T |e_t|}{\sum_{t=1}^T |X_t|} \right) \times 100 \quad (15)$$

Onde:

e_t : Erros ocorridos dentro do período t ;

X_t : Número de intervalos dentro do período t ;

T : o número de ocorrências;

t : o período de tempo das observações;

Segundo Lewis (1997), o MAPE é considerado uma das medidas de erro mais utilizadas para avaliar a performance de métodos de previsão. Ele é comumente citado por autores como: Ahlburg (1995); Campbell (2002); Hyndman e Koehler (2006); Isserman (1977); Miller (2001); Murdock et al. (1984); Rayer (2007); Sink (1997); Smith (1987); Smith e Sincich (1990), (1992); Smith, Tayman e Swanson (2001); Tayman, Schaffer e Carter (1998) e Wilson (2007).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a estratégia de pesquisa adotada neste trabalho, assim como: as fontes de informação pesquisadas, os métodos e os instrumentos utilizados para a coleta de dados, os elementos de mensuração dos construtos e as ferramentas aplicadas para a análise e validação dos dados e informações obtidos na pesquisa de campo.

4.1 Conceituações Básicas

A pesquisa realizada neste estudo pode ser caracterizada como um método descritivo quanto aos fins, como confirmatória quanto ao propósito e, quanto aos meios de investigação, ela pode ser vista como pesquisa bibliográfica, observação simples, documental, estudo de caso e *ex post facto*, conforme taxonomia descrita em Vergara (2000). Ela ainda pode ser caracterizada como quantitativa e tem um delineamento do tipo explicativo com estudo de caso.

Segundo Stake (1995), estudos de caso combinam métodos de coleta de dados, tais como: revisão documental e de arquivos, entrevistas, questionários, observações, sendo que as evidências podem ser qualitativas, quantitativas ou ambas. O autor afirma, ainda, que há dois critérios para selecionar o caso: maximizar o que queremos aprender e definir os objetivos, considerando as limitações de acesso para o trabalho de campo e escolhendo casos que permitam fácil acesso ao local de estudo havendo receptividade por parte dos envolvidos. Voss, Tsiriktsis e Frohlich (2002) ressaltam que o estudo de caso é uma ferramenta poderosa que tem sido muito utilizada na produção, desenvolvimento, teste e refinamento de novas teorias. Fachin (2005) reforça tal afirmação, dizendo que o estudo de caso é uma descrição analítica de um evento ou situação para a compreensão do assunto investigado.

A série histórica e os dados bibliográficos do estudo de campo foram gentilmente cedidos pela VRG Linhas Aéreas S/A. Seguindo as afirmações de Stake (1995), o estudo de caso foi escolhido como técnica de pesquisa devido às suas particularidades. A boa receptividade obtida na empresa estudada proporcionou a coleta de dados técnicos, revisão documental e a discussão de problemas ligados à previsão de demanda de peças de reposição

para a frota do modelo 737 da Boeing. Tal fato possibilitou maximizar o aprendizado sobre demandas variáveis de peças de reposição aeronáuticas dentro do contexto organizacional pesquisado.

O acesso a dados bibliográficos e amostrais em empresas da aviação brasileira é muitas vezes restrito, o que dificulta o estudo de múltiplos casos e limita as conclusões a um âmbito geral. Porém, deve se ressaltar que a empresa tomada para o estudo de caso possui a única frota de aeronaves do modelo 737NG no território brasileiro e a maior da América do Sul. Assim, pode-se considerar que grande parte dos resultados obtidos neste estudo pode ser aplicada à gestão de peças de reposição dessas aeronaves no cenário brasileiro.

4.1.1 Tipificação da pesquisa

O ponto de partida para o trabalho foi a definição do tema a ser estudado. Andrade (2001) ressalta que, para a escolha do tema, o pesquisador deve levar em conta a atualidade e relevância, seu conhecimento a respeito do assunto, sua preferência e a aptidão pessoal para lidar com ele.

O autor deste estudo iniciou sua carreira na área da manutenção aeronáutica em 1996 e tem trabalhado com o modelo 737 desde 1999. Ele tem convivido com o problema da demanda variável por peças de reposição desde então, tendo presenciado inúmeros atrasos e cancelamentos de voo causados pela falta de peças em estoque no momento em que ocorrem as demandas. Esse problema é considerado pelas equipes de manutenção um dos maiores entraves para o cumprimento das inspeções e serviços dentro dos prazos pré-determinados. Além disso, a constatação, por meio da revisão da literatura, da dificuldade em se prever demandas variáveis de peças de reposição em nível nacional e internacional, assim como o desconhecimento de várias empresas sobre as metodologias disponíveis para tratá-lo foram fatores que contribuíram para o estudo desse assunto.

Definido o tema, partiu-se para revisão da literatura sobre os principais aspectos relacionados ao objeto de estudo. Foram levantados dados sobre: a gestão de peças de reposição na indústria da aviação, os métodos existentes para a previsão de peças de reposição, os processos de manutenção e planejamento de serviços em empresas de aviação comercial, os modelos matemáticos e os *softwares* para a gestão de estoques, os métodos para

classificação de materiais e demandas e, finalmente, a gestão de materiais que possuem demanda variável.

A revisão da literatura permitiu contextualizar o objeto de estudo, de forma a definir suas fronteiras, obtendo as variáveis a serem consideradas no levantamento de dados. Também foram definidos nessa etapa, após a revisão da teoria, o objetivo geral, os específicos e o problema de pesquisa.

4.1.2 Instrumentos de pesquisa, coleta e tratamento de dados

A principal ferramenta utilizada para o levantamento de dados e informações necessários à criação da revisão da literatura foi o *survey*. Essa busca contemplou bibliotecas, banco de teses e dissertações, artigos, entre outros materiais bibliográficos nacionais e internacionais. Todo o material foi catalogado para a utilização no trabalho. Os textos foram analisados e as citações foram retiradas para utilização na revisão da literatura.

Após obter a autorização da empresa em que se deu o estudo de caso, iniciou-se o levantamento, em campo, de dados e informações relacionadas à demanda por peças de reposição. Nesta etapa, também foi utilizado o *survey* como ferramenta principal.

O material bibliográfico, os gráficos e os dados estatísticos foram catalogados e analisados. Por meio da observação diária, foram tomadas notas de eventos ligados aos processos de manutenção e reposição de estoques.

As entrevistas informais com as equipes das áreas de planejamento, suprimento, manutenção e coordenação permitiram a coleta de informações importantes sobre os processos de monitoramento de falhas, compra de materiais e políticas de estoques.

Para a análise dos dados, foram utilizados *softwares* de previsão WESSA versão 1.1.23-r7, disponíveis no site <https://wessa.net>. Patrick Wessa é professor de estatística e gestão de negócios na universidade de Leuven na Bélgica e disponibiliza em seu site uma série de *softwares* para a utilização sem fins comerciais. Também foram utilizados *softwares* do pacote SPSS versão 20.0.0. Para o cálculo do MAPE, MAE e MSE foi utilizado o *Microsoft Excel* do pacote *Office* 2010.

4.1.3 Seleção da série histórica e dos métodos de previsão

Neste estudo serão utilizados os quatro métodos que foram indicados nas conclusões de Ghobbar e Friend (2003) além do Método de Poisson. Este último foi incluído por ser indicado na literatura, Manzini *et al.* (2007) e Bredley (2011), como um método utilizado na gestão de peças de reposição. A série histórica é composta por cinquenta e três peças de reposição da aeronave 737NG. Os dados são reais e foram coletados diretamente do sistema de controle de estoque da empresa estudada. Ela foi escolhida com base nos critérios abordados por Syntetos e Boylan (2003) e de acordo com a sua limitação no *Minimum Equipment List* (MEL). Por meio deles, foi possível selecionar peças que são relevantes para a operação da aeronave e impactam diretamente a sua disponibilidade para voo.

Como metodologia para verificar o ajustamento dos resultados serão utilizados os métodos do erro quadrático médio - *Mean Square Error* (MSE), erro absoluto médio - *Mean Absolut Error* (MAE) e o erro percentual médio - *Mean Average Percentage Error* (MAPE). Para Lewis (1997), o MSE é utilizado para determinar o modelo de previsão de melhor ajustamento, sendo escolhido aquele que possui o menor valor de erro quadrático médio. Desta forma, seus valores servirão de referência para definir o método de previsão mais adequado.

4.2 Modelamento Matemático dos Métodos de Previsão de Demanda

Neste tópico, serão apresentados os modelos matemáticos dos métodos que serão simulados. Também serão abordadas as ferramentas utilizadas para a coleta e análise de dados assim como informações relacionadas ao estudo de caso.

4.2.1 Modelamento do Método de Croston

O amortecimento exponencial simples - Single Exponential Smoothing (SES) historicamente tem sido utilizado como método de previsão de demandas em várias áreas da indústria e serviços (SANI e TEUNTER, 2006). No entanto, Croston (1972) demonstrou que tal metodologia pode conduzir a inadequados níveis de estoque. Desta forma, o autor propôs um método alternativo que leva em conta o tamanho da demanda e o intervalo. Assim, baseado no trabalho de Shestone e Hyndman (2005) e considerando que Y_t é a demanda ocorrida no intervalo de tempo t ; X_t a variável que indica o número de períodos em que a demanda possui valor diferente de zero; $X_t = 1$ quando a demanda ocorre no período t e $X_t = 0$ quando não há ocorrência de demanda; j_t é o número de demandas com valores diferente de zero durante o intervalo de tempo $[0, t]$; Y_t^* o tamanho do período em que ocorrem de mandas com valores diferentes de zero e Q_j o intervalo entre demandas dentro do intervalo Y_{t-1}^* e Y_t^* ; tem-se o desenvolvimento matemático a seguir:

$$Y_t = X_t Y_t^* \quad (16)$$

Considerando Z_j e P_j como as previsões para o tamanho da demanda e para o intervalo interdemaanda respectivamente tem-se as equações base para o método de Croston:

$$Z_j = (1 - \alpha)Z_{j-1} + \alpha Y_j^* \quad (17)$$

$$P_j = (1 - \alpha)P_{j-1} + \alpha Q_j \quad (18)$$

Mantendo a constante de amortecimento α entre 0 e 1 tem-se a previsão de demanda por período C_t :

$$C_t = \frac{Z_j}{P_j} \quad (19)$$

Para a utilização deste método, assumi-se que: (1) a distribuição das demandas que possuem valores diferentes de zero Y_j^* seja normal, (2) que o intervalo entre demandas Q_j

possua uma distribuição geométrica, (3) que o tamanho da demanda Y_j^* e o intervalo entre demandas Q_j seja mutualmente independentes.

O método de Croston tem sido avaliado por diversos autores desde 1972 e sua maioria chegou a conclusão que ele é o mais adequado para o tratamento da demanda intermitente se comparado aos métodos tradicionais, como o Single Exponential Smoothing. Contrariando estes resultados, Syntetos e Boylan (2001) observaram que o método apresentava uma tendência negativa que pode vir a extrapolar os valores previstos, assim propuseram as alterações a seguir:

$$E(C_t) = E\left[\frac{\widehat{Z}_j}{\widehat{P}_j}\right] \approx \frac{\mu}{P} \left(1 + \frac{\alpha}{2-\alpha} \frac{P-1}{P}\right) \quad (20)$$

Em particular para $\alpha = 1$ tem-se:

$$E(C_t) = E\left[\frac{\widehat{Z}_j}{\widehat{P}_j}\right] = E\left[\frac{Z_j}{P_j}\right] = \mu \left[-\frac{1}{P-1} \ln\left(\frac{1}{P}\right)\right] \quad (21)$$

Baseado em (20) e ignorando o termo $\frac{P-1}{P}$ Syntetos e Boylan propuseram uma nova estimativa que é apresentada na equação (22). Ela ficou conhecida como o método de Syntetos e Boylan ou método SB:

$$SB = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\widehat{Z}_j}{\widehat{P}_j} \quad (22)$$

Levén e Segerstedt (2004) testaram o método SB e verificaram que o problema da tendência dos resultados ainda existia, assim propuseram novas alterações que são apresentadas na equação (23). Segundo os autores, tais alterações eliminavam o problema de tendência em Croston, porém Teunter e Sani (2006) argumentam que ele ainda persiste.

$$E(LS_t) = \mu \left[-\frac{1}{P-1} \ln\left(\frac{1}{P}\right)\right] \quad (23)$$

Finalmente Teunter e Sani (2006) compararam todas estas variações do método de Croston com sua proposta de estimativa apresentada na equação (24). Em seus resultados eles

identificaram que esta última versão apresentava uma menor variação nos resultados se comparado as demais. Assim, os autores a sugerem como aproximação mais adequada para o usos em diversos casos em que o método de Croston é adequado sem a necessidade de classificação da demanda.

$$TS_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\widehat{Z}_J}{\widehat{P}_J - \frac{\alpha}{2}} \quad (24)$$

4.2.2 Modelamento do método Simple Exponential Smoothing (SES)

Como já foi apresentado, a Suavização Exponencial Simples não considera a suavização de tendência e sazonalidade em suas equações, tratando-se do método mais simples dentre os demais. A seguir será apresentado o desenvolvimento matemático para este método.

Considerando que S_t é a previsão para o período $t + 1$, α a constante de suavização, cujo valor encontra-se entre 0 e 1 e S_{t-1} o valor da previsão mais recente tem-se:

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1} \quad (25)$$

Expandindo a equação (25) substituindo $S_t, S_{t+1}, S_{t+2}, \dots$ por seus componentes chega-se a equação (26):

$$S_t = \alpha X_t + \alpha(1 - \alpha)S_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 S_{t-2} + \alpha(1 - \alpha)^3 S_{t-3} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^{t-1} S_t + (1 - \alpha)^t S_t \quad (26)$$

Desta forma obtém-se a média ponderada de todos os valores da série histórica em análise. Daí o nome suavização exponencial (MAKRIDAKIS *et al*, 1998). Neste método os pesos das observações mais recentes são acentuados pelos valores de α próximos de 1. Os valores de α próximos a zero acentuam a influência de mais distantes. Para Teixeira (2004) as respostas das previsões estão diretamente ligadas aos valores de α . Quanto menor for seu valor mais lenta será as reações das previsões. Valores mais altos da constante de amortecimento provocam respostas mais rápidas às variações das observações. Montgomery

et al (1998), argumenta que as constantes de amortecimento também são responsáveis pelas flutuações aleatórias do método, por vezes causando certa instabilidade. Segundo o autor ela t contribui de forma direta para o desempenho do modelo.

Uma outra forma de apresentar a expressão (26) é por meio da equação (27). Makridakis *et al*, 1998 argumenta que esta equação permite afirmar que o modelo de suavização exponencial simples prediz a o valor de uma série temporal ajustando-a por meio do valor do erro.

$$S_t = S_{t-1} + \alpha e \quad (27)$$

Onde,

$$e = (X_t - \hat{X}_{t-1}).$$

4.2.3 Modelamento do Método de Winters

O método de Winters pode ser dividido no modelo multiplicativo e no modelo aditivo. A principal diferença entre eles reside no campo de aplicação. Segundo Koehler *et al* (2001), o Winters multiplicativo apresenta melhor ajustamento em séries com tendência e sazonalidade multiplicativa, em outras palavras, trata-se de um método mais adequado ao uso em séries que há relação direta de elevação da amplitude da variação sazonal em relação a elevação do nível médio da série temporal. Os modelos matemáticos que descrevem este método são apresentados a seguir.

As expressões para sazonalidade e tendência são dados por:

$$S_t = \alpha(X_t/I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1}R_{t-1} \quad (28)$$

$$R_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1} \quad (29)$$

Onde:

$$I_t = \delta(X_t/S_t) + (1 - \delta)I_{t-p} \quad (30)$$

$$\widehat{X}_t(m) = (S_t R_t^m) I_{t-p+m} \quad (31)$$

$$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p} \quad (32)$$

$$T_t = R_{t-1} + \alpha \gamma e_t / S_{t-1} / I_{t-p} \quad (33)$$

$$I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha) e_t / S_t \quad (34)$$

Nestas expressões α e δ são constantes de suavização cujo valores se encontram entre 0 e 1, R_t o índice de suavização sazonal dentro do intervalo de tempo t , I_t o índice de amortecimento da tendência dentro do intervalo t . A sazonalidade, ou o número de subperíodos do intervalo, é representada por p .

Koehler *et al* (2001) ainda argumenta que o modelo Aditivo de Winters ajusta-se melhor as séries com tendência e sazonalidade aditiva. Elas apresentam um efeito sazonal que não é função do nível médio corrente da série temporal podendo ser simplesmente adicionado ou subtraído de uma previsão que dependa apenas de nível e tendência. A seguir será apresentado as expressões que compõem seu algoritmo. As expressões para sazonalidade e tendência são dados por:

$$S_t = \alpha(X_t / I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1}T_{t-1} \quad (35)$$

$$T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1} \quad (36)$$

Onde:

$$I_t = \delta(X_t / S_t) + (1 - \delta)I_{t-p} \quad (37)$$

$$\widehat{X}_t(m) = (S_t + mT_t)I_{t-p+m} \quad (38)$$

O ajuste por meio do erro e pode ser escrito da seguinte forma:

$$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p} \quad (39)$$

$$T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t / I_{t-p} \quad (40)$$

Onde:

$$I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha) e_t / S_t \quad (41)$$

A principal diferença entre os métodos multiplicativo e o aditivo é que no primeiro os índices sazonais são multiplicados ou divididos e no segundo modelo eles são somados ou subtraídos.

4.2.4 Modelamento do *Wheighted Moving Average (WMA)*

O método consiste na multiplicação de fatores de diferentes pesos pelos dados que fazem parte do histórico observado. Em um período n , o último período tem peso n , o período posterior tem $n-1$ e assim por diante, até chegar a zero.

$$S_{t+1} = \frac{n \cdot p_t + (n-1) \cdot p_{t-1} + \dots + 2 \cdot p_{(t-n)+2} + p_{(t-n)+1}}{n + (n-1) + \dots + 2 + 1} \quad (42)$$

Onde:

S_{t+1} – é a previsão para o período $t+1$.

n – coeficiente que interpreta o peso da observação.

p_t – observação no período de tempo t .

4.2.50 Modelamento da *Distribuição de Poisson*

O método pode ser expresso na forma da equação (27). Observa-se que ela possui apenas um parâmetro λ que é interpretado como a média das ocorrências no evento. Assim, a probabilidade de ocorrerem ε eventos dentro de um intervalo de tempo é dado por:

$$P(X = \varepsilon) = \frac{\lambda^\varepsilon e^{-\lambda}}{\varepsilon!} \quad (43)$$

Onde:

$e \approx 2,7183$

$\lambda > 0$

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentados detalhes sobre os departamentos ligados aos processos de engenharia e manutenção, planejamento, confiabilidade e compras da empresa estudada. Também serão apresentadas informações relevantes sobre os dados bibliográficos e amostrais coletados em campo.

5.1 Aspectos gerais da empresa

A empresa escolhida para a pesquisa foi fundada em 2000, iniciando suas operações em 2001. Atualmente possui ao todo uma frota de 106 aeronaves modelo Boeing 737NG, opera para 77 destinos, sendo 63 deles nacionais e 14 internacionais. Sua operação diária gira em torno de 900 decolagens durante a semana, detendo a marca de 160,5 milhões de passageiros e 444,3 mil toneladas de carga transportadas até novembro de 2012. Sua participação no mercado nacional de transporte de passageiros inclui 34,14% e no mercado internacional, 10,17%. A empresa em questão possui acordos firmados com outras operadoras internacionais, o que permite a expansão de suas operações.

A frota é composta por 50 aeronaves Boeing 737-800 SFP (*Short Field Performance*), 17 Boeing 737-800 e 39 Boeing 737-700. No total, são 18.686 nacionais, 458 colaboradores em bases internacionais. A empresa possui três sedes administrativas em São Paulo, uma em Minas Gerais, bases operacionais em todas as capitais do país e dois grandes estoques de materiais: um localizados em São Paulo e outro em Minas Gerais.

5.2 Aspectos operacionais da empresa

Uma empresa aérea é composta por diversos setores operacionais e estes, por sua vez, possuem um ou mais departamentos. Eles são responsáveis pelas atividades diárias da companhia. A engenharia e manutenção, planejamento, confiabilidade e compras estão

ligadas diretamente aos critérios: programação de paradas das aeronaves e análise da vida útil das peças que compõem a aeronave e, por isso, receberão atenção especial neste tópico.

5.2.1 Os departamentos de Engenharia e Manutenção

Segundo Kinnison (2004), a estrutura do departamento de engenharia e manutenção de uma empresa aérea varia em função do tamanho e tipo de organização, dependendo muito da filosofia de trabalho da companhia. Geralmente, as estruturas organizacionais são desenhadas com base na experiência dos profissionais contratados para tal tarefa e também com base na observação de outros modelos de sucesso existentes no mercado. A Figura 12 mostra o organograma básico para uma empresa de engenharia e manutenção do setor aeronáutico.

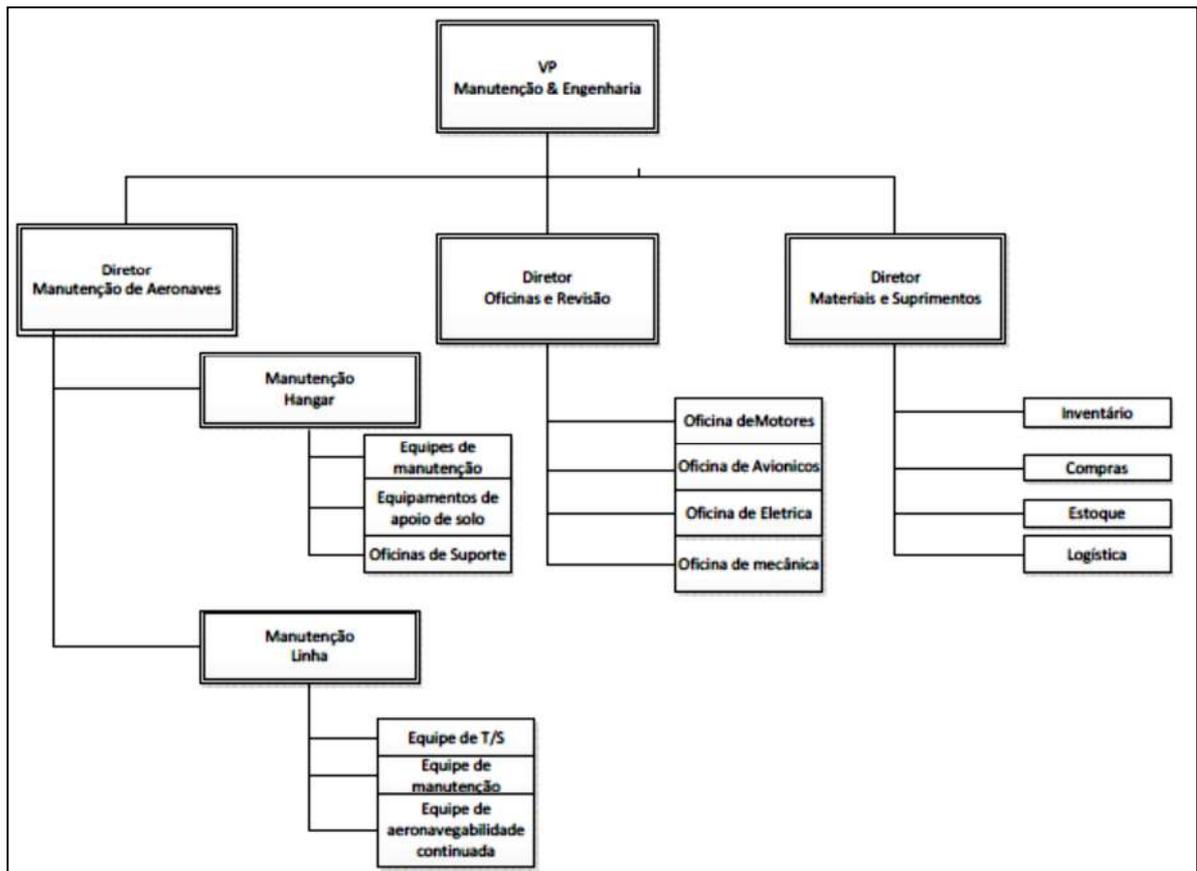


Figura 12: Organograma de uma empresa de Engenharia e Manutenção
Fonte: Adaptado de Kinnison (2004)

O organograma da empresa estudada pode ser visualizado na Figura 13. Ele apresenta algumas diferenças em relação à Figura 12. Essas diferenças podem ser consideradas como adaptações do modelo padrão ao contexto organizacional da VRG. Contudo, as características das funções possuem muita semelhança.

Analisando a área de manutenção, observa-se que a empresa possui uma diretoria e três gerências: as gerências de manutenção, planejamento e engenharia. Dentro dessas gerências, encontram-se os departamentos de manutenção de linha e manutenção de hangar, o de planejamento de manutenção e materiais e as subáreas da engenharia. Eles são responsáveis por manter as aeronaves operando por meio do cumprimento do programa de manutenção, monitoramento de falhas e controle de estoques.

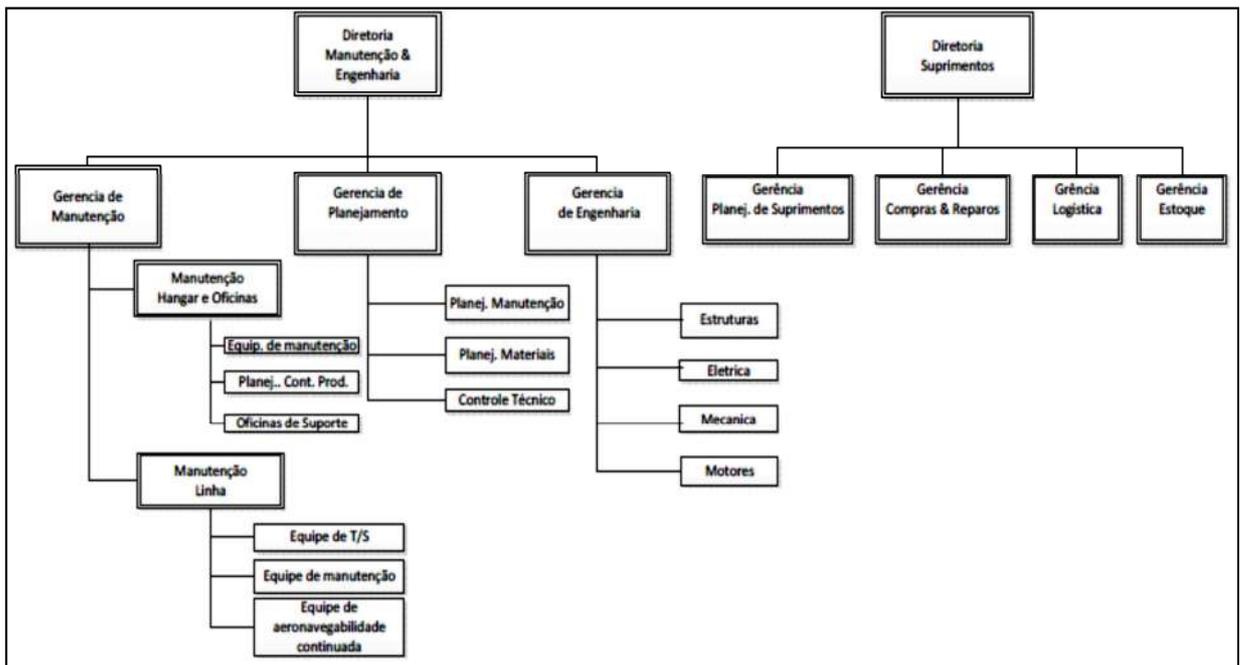


Figura 13: Organograma da empresa estudada – Áreas de Engenharia & Manutenção / Suprimentos

Fonte: Centro Eletrônico de Documentação da Empresa - CEDOC

Com relação ao programa de manutenção, a Boeing possibilita aos operadores de suas aeronaves modelo 737 trabalharem com o programa de manutenção em bloco ou por meio do MSG. Como é possível notar, a empresa em estudo adotou o modelo MSG. Assim, várias tarefas de manutenção são cumpridas gradativamente, reduzindo grandes períodos de indisponibilidade da aeronave para manutenção.

As bases de manutenção de linha ²¹ são as principais responsáveis por cuidar da manutenção diária de cada aeronave e do cumprimento diário do programa de manutenção. Os centros de manutenção ou hangares são responsáveis pelo cumprimento das tarefas mais complexas e que necessitem de local coberto para execução. A empresa conta com um centro de manutenção, composto por três hangares em Minas Gerais e um hangar de suporte em São Paulo. Existem ainda dois departamentos de engenharia localizados dentro dos hangares de cada estado. A localização da engenharia dentro dos hangares de manutenção é estratégica e permite aos engenheiros dar o suporte necessário às equipes de manutenção de hangar e de linha simultaneamente.

O controle de qualidade de manutenção, no que diz respeito às frequências de falha dos componentes e peças durante sua operação é feito pela equipe de confiabilidade da frota. Ela é responsável por analisar a falha apresentada por determinada peça da aeronave durante sua operação, coletar dados amostrais e analisá-los, verificar a frequência de saída de peças de reposição do estoque de forma a avaliarem o consumo de cada uma delas. Estes dados são compartilhados com a Boeing e ela por sua vez os inclui em uma base de dados maior, que contempla toda a frota mundial. Estes dados servem, como referência para o controle de consumo de peças de reposição, para os diversos operadores de 737 no mundo.

5.2.2 O departamento de planejamento

O planejamento da empresa estudada é dividido em planejamento de manutenção e planejamento de suprimentos. O planejamento de manutenção é responsável por verificar o programa de manutenção, de cada aeronave da frota, e preparar os pacotes de tarefas que serão cumpridos. Ele é suportado pelo planejamento de suprimentos que é responsável por verificar em estoque a existência do material necessário para tal. O planejamento de suprimentos é responsável por planejar a compra de todo material necessário de forma que não falem componentes e peças de reposição para o cumprimento do programa de manutenção.

²¹ Manutenção de linha é o termo utilizado para designar a manutenção de aeronaves feita no pátio do aeroporto onde ela opera. As tarefas geralmente não são muito complexas sendo rápidas de executar (TECHNICAL MANUAL SECTION, 2007).

Este setor também classifica os materiais em estoque, executa as previsões de demanda, estabelece o estoque mínimo e o ponto de ressuprimento de acordo com a política estabelecida pela empresa.

5.2.3 O departamento de confiabilidade

Dentro do departamento de qualidade existe um setor chamado de Confiabilidade. Ele é responsável por realizar estudos com o intuito de verificar se algum componente / sistema das aeronaves da frota está cumprindo o seu papel, e caso não esteja quais motivos são responsáveis por isso. Para isso eles utilizam dados que são obtidos no sistema AMOS. Estas informações são coletadas em ordens de serviço, de dados inseridos pela engenharia no ERP da empresa, horas e ciclos de componentes, horas voadas da aeronave, descrição de falhas e frequência de recebimento de materiais. A tela do ERP que é acessada pela equipe pode ser visualizada na Figura 14.

AMOS Productive Environment V9.60-38 / for VRG Linhas Aéreas S.A.

File Applications Recent Modules Recent Documents Favorite Documents Windows Help Search / APN: 401

Part Reliability (APN:401)

Monthly Key Figures:

Use all aircraft
 Use an A/C Group combination
 Use selected aircraft
 Use Partnumber, separated by A/C Groups

Target month: Dec 2011
 Aggregation time of data: Last 3 months before target month
 Also show comparable values for the displayed parts, values are aggregated over last 12 months

Select the limit type: UCL last 12 months rolling
 Standard Deviation Factor: 1.00
 Alarm Count: 154

Basic Data Removal Data Control Limits

Match in all Columns: p:ec

PN	Description	ATA	A/C Group	Unit Hours	U/S Rem.	Rate U/S Rem.	Failures	Rate Fail.	No Fault	MTBUR	MTTUR	MTBF	NFF Rate
2341178-1	PRECOOLER-AIR CONDITIONING	36-12	ALL AIRCRAFT	21552	0	0.00	0	0.00	0				
2341178-2	PRECOOLER-AIR CONDITIONING	36-12	ALL AIRCRAFT	193401	0	0.00	0	0.00	0				
792930-5	PRECOOLER	36-11	ALL AIRCRAFT	16	0	0.00	0	0.00	0				
AESHA2	CONJUNTO DE PRECAUCAO UNI...	25-60	ALL AIRCRAFT	237289	59	0.25	0	0.00	0	4'022	2'382		
3289562-6	PRECOOLER CTRL VLV	36-12	ALL AIRCRAFT	111869	29	0.26	18	0.16	0	3'858	1'245	6'215	0.00
3289562-5	PRECOOLER CTRL VLV	36-12	ALL AIRCRAFT	111203	23	0.21	15	0.13	0	4'835	5'072	7'414	0.00
129666-2	PRECOOLER VLV SENSOR 390	36-12	ALL AIRCRAFT	48245	3	0.06	3	0.06	0	16'082	14'408	16'082	0.00
129666-3	PRECOOLER VLV SENSOR 390	36-12	ALL AIRCRAFT	182841	1	0.01	1	0.01	0	182'841	2'233	182'841	0.00
3289562-4	PRECOOLER CTRL VLV	36-12	ALL AIRCRAFT	8972	6	0.67	3	0.33	1	1'495	1'283	2'991	0.25

Figura 14: Tela do AMOS que mostra dados de remoção de componentes

Fonte: Arquivo da VRG

Com base nestas informações eles conseguem prever, de forma aproximada quanto tempo em média um componente demora para falhar, até ser removido de forma programada ou não programada.

5.2.4 A política de estoques da empresa

A empresa divide os itens estocados em regulares e não regulares, utilizando o método da curva ABC para classificação dos materiais. São utilizadas políticas do tipo S-S e S-Q, dependendo do material em questão. Os materiais são classificados seguindo os seguintes critérios:

1. Identificam-se os materiais como consumíveis e reparáveis seguindo a o método proposto por Botter e Fortuin (1998).
2. Identifica-se, por meio da classificação por segmento ou tipo de serviço (SYNTETOS; BOYLAN, 2003) e com base na experiência de operação da frota, os materiais de maior impacto para a operação da aeronave, dando tratamento diferenciado a este grupo de materiais.
3. Utiliza-se a metodologia da curva ABC para dar prioridade aos itens.

As demandas dos materiais ao estoque da empresa são classificadas como: *slow moving*, irregulares e regulares. São caracterizados como *slow moving* aqueles materiais que permanecem sem movimentação por tempo superior a 12 meses. Os irregulares são materiais sujeitos as condições de sazonalidade, ou seja, possuem períodos de altas e baixas demandas. E os regulares são aqueles que abrangem os materiais de consumo normal e, conseqüentemente, possuem uma demanda menos variável e mais previsível.

O tempo de vida útil das peças de reposição, analisado pelo setor de confiabilidade, é levado em conta na previsão de compra de materiais que são monitorados por meio da frequência de falhas. Nesses casos, esse tempo de vida faz com que o ponto de ressurgimento ou o número de peças em estoque sofra alterações. O número de paradas para manutenção também é monitorado pelos departamentos de planejamento de suprimentos e compras, somando informações para a previsão de demanda. Porém, há uma sobreposição do

histórico de consumo sobre os demais. Não são utilizados *softwares* específicos para a previsão de demanda e o ERP responsável pela gestão de estoques, o AMOS, não possui plataforma adequada para tratar demandas variáveis.

5.2.5 O departamento de compras

O departamento de compras é o responsável por fazer as cotações e concluir a compra de materiais para os estoques. Ele segue rigorosamente a política estabelecida pela empresa para este fim. As compras são processadas por outro ERP, o *Oracle*. As ordens de compra são abertas no *Oracle* e, então, o departamento faz obrigatoriamente três cotações antes de concluí-la. Aproximadamente 90% dos materiais são importados, tornando o processo muito burocrático e lento, devido, sobretudo, aos tramites alfandegários.

5.3 O Tratamento da Base de Dados

Neste tópico serão abordadas as formas como foram tratados os dados coletados em campo. Elas podem ser divididas em duas etapas: o tratamento da base de dados histórica e o tratamento dos dados bibliográficos. No primeiro, foram utilizados softwares de previsão e planilhas para os cálculos. No segundo, o *survey* foi utilizado para a coleta e tratamento dos dados, as informações foram analisadas em conjunto com profissionais experientes em seus respectivos departamentos da empresa.

5.3.1 O tratamento da série histórica

A amostra de peças é composta por cinquenta e três itens e cada uma delas possui um histórico de demanda de trinta e seis meses (Janeiro de 2009 à Janeiro de 2012). Ela foi retirada diretamente do sistema de controle de estoque da empresa que é gerenciado pelo

ERP-AMOS²². Vale ressaltar que o AMOS entrou em operação no segundo semestre de 2008 iniciando a gestão dos estoques da companhia em Janeiro de 2009. Desta forma, não foi possível resgatar dados de consumo das peças selecionadas anterior a este período, limitando a série histórica à três anos. O horizonte de previsão utilizado foi o mensal contemplando os meses de Fevereiro à Dezembro de 2012.

Uma vez retirada do sistema de controle de estoques, os materiais foram classificados seguindo os processos primários de manutenção (PMP) e por meio do M.E.L.²³. Ambos permitiram diferenciar as peças de acordo com sua importância para a operação da aeronave assim como o impacto causado por sua falta em estoque. Como exemplo podemos citar o Sensor de Ângulo de Ataque (*AOA Sensor*), ele é um componente classificado como *Condition Monitoring* (CM) conforme os processos primários de manutenção e classificado como “Não seguir” (*No Go*) pelo M.E.L.. Em outras palavras, trata-se de um componente que irá operar até falhar devido suas características CM e quando falhar postergará a decolagem da aeronave até sua troca. Nestas condições, atrasos operacionais serão acarretados caso a empresa não possua este sensor em estoque.

A classificação da demanda de cada peça de reposição foi definida com base no cálculo do coeficiente de variação quadrático (CV^2) e no intervalo interdema (p). A matriz apresentada por Ghobbar e Friend (2003) serviu de referência para a classificação das regiões errática, *lumpy*, intermitente e *smooth*. Os brakepoints foram calculado com base em Eaves (2002). Vale lembrar que o coeficiente de variação quadrático mostra a variabilidade na quantidade de itens que são consumidos a cada demanda e o intervalo entre demandas apresenta a variabilidade no número de transações em um determinado período de tempo. Para os cálculos do CV^2 e p foram utilizados as equações (3) e (4).

²² AMOS – É um sistema criado pela empresa Swiss-AS para a gestão de programas de engenharia e manutenção de aeronaves. Trata-se de um sistema utilizados em grandes empresas da aviação comercial como a brasileira VRG Linhas Aereas S/A e a alemã Lufthansa. Fonte: Swiss Aviation software < <http://www.swiss-as.com/main.do>>

²³ *Minimum Equipment List (MEL)* – Lista de equipamentos mínimos – Documento aprovado pela autoridade civil aeronáutica que regula o despacho de aeronaves com um determinado tipo que componente ou equipamento inoperante. Fonte: Cooperative Development of Operational Safety and Continuing Airworthiness - COSCAP - South Asia / ICAO.

A matriz apresentada na Figura 15 foi utilizada para classificar a demanda de cada peça que compõem a base histórica.

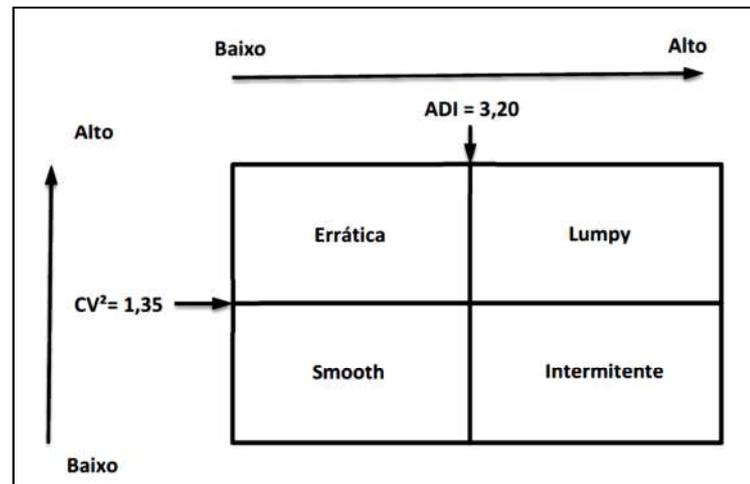


Figura 15: Matriz de classificação de demanda
Fonte: Dados da pesquisa

Os métodos de previsão ensaiados foram: Croston, SES, WMA, Winters e Distribuição de Poisson. O software utilizado nas simulações foi o WESSA versão 1.1.23-r7 disponibilizado gratuitamente no site <https://wessa.net>. A acurácia dos resultados foram medidas por meio dos métodos: MSE, MAE e MAPE. O *software* utilizado foi o *Excel-Office 2010*. As previsões foram importadas para uma planilha *Excel* e nela foram feitos os cálculos de acurácia. Como indicado pela literatura, foram utilizados os valores do MSE para verificar quais dos métodos produziram os melhores ajustamentos.

Os valores utilizados nos coeficientes de amortecimento α , β e γ , permaneceram entre 0 e 1 e foram estabelecidos e introduzidos nos cálculos de forma automática pelo *software* de previsão. Segundo as instruções de utilização do Wessa os valores dos coeficiente são calculados com base no perfil dos dados de entrada buscando o amortecimento harmônico entre sazonalidade e tendência. Esta metodologia seguiu as etapas relacionadas na literatura para a previsão de materiais e peças de reposição que possuem variabilidade em seu consumo. Vale ressaltar que elas foram utilizadas por autores como Syntetos e Boylan (2001), Eaves (2002) e Ghobbar e Friend (2003).

5.3.2 O tratamento da base de dados bibliográfica

Os dados e informações não amostrais foram levantados na empresa por meio de um *survey*, que contemplou planilhas, gráficos, boletins de trabalho, instruções de trabalho e manuais de operações e procedimentos. Também foram verificados dados e informações no *site* do fabricante das aeronaves, que tratam do assunto de processos e programas de manutenção, controle e levantamento de falhas de componentes e fornecimento de materiais. Buscou-se nesta etapa, informações relacionadas ao consumo de peças de reposição da frota 737NG em nível mundial e nacional, prováveis picos no consumo que causaram transtornos como compras urgente para suprir as demandas inesperada, a relação custo benefício da canibalização de peças de reposição, a diferença de custo entre compras programadas e compras em caráter urgente, a relação entre as falhas das aeronaves e a variabilidade da demanda assim como seu impacto no planejamento de compra de peças de reposição, as principais dificuldades logísticas para a compra de peças no exterior.

Além destes estudos, foram feitas entrevistas informais com funcionários da empresa, no intuito de solucionar dúvidas sobre as questões levantadas no material bibliográfico e acrescentar novas informações práticas sobre o problema da demanda variável. A pesquisa foi limitada aos setores de planejamento, compras, manutenção e confiabilidade e visa a esclarecer os objetivos propostos neste estudo.

6 RESULTADOS

Como já fora abordado a previsão para as demandas da série histórica iniciaram-se com a classificação de cada peça de reposição. O Quadro 3 apresenta informações importantes sobre cada uma delas. Nele pode-se visualizar a quantidade de cada peça por aeronave, o número utilizado para sua compra nos fornecedores mundiais (*Part Number*), sua classificação PMP e sua classificação MEL. As equipes de suprimentos e compra de materiais as consideram informações importantes, pois elas os ajudam no planejamento da reposição de estoques.

Quadro 3 : Classificação das peças da base de dados conforme PMP e MEL.

Item	Descrição do componente	Part Number	Quantidade por aeronave	Processo de manutenção	Liberação MEL
1	ADF CTL PANEL	G7402-05	1	CM	3 DIAS
2	AIR MIX VALVE	398116-1-1	2	CM	NO GO
3	ALTERNATOR	85465-2	2	CM	NO GO
4	AOA SENSOR	0861FL1	2	CM	NO GO
5	APU ENG FIRE CTL MOD	69-37307-300	1	CM	NO GO
6	AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	2-7462-3	2	CM	NO GO
7	AUTO SLAT VALVE	65C26869-2	1	CM	NO GO
8	BRAKE METERING VALVE	2-7462-3	2	CM	NO GO
9	BRAKE METERING MODULE	71404-1	2	CM	NO GO
10	CABIN PRESS MODULE	7123-19973-03AB	1	CM	3 DIAS
11	EAU	7123-19973-01AA	1	CM	3 DIAS
12	EFIS CONTROL PANEL	285A1300-1	1	CM	3 DIAS
13	ELEVATOR FEEL COMPUTER	4082730-901	2	CM	10 DIAS
14	FIRST OFICER SEAT	162700-100	1	CM	10 DIAS
15	MARKER BEACON ANTENNA	3A296-0008-01-1	1	CM	10 DIAS
16	FUEL TEMP INDICATOR	441921-5	1	CM	3 DIAS
17	HMU	10037-0750	3	CM	3DIAS
18	HYDRAULIC MOTOR	162BL801	1	CM	3 DIAS
19	LE SLAT ACTUATOR	1853M56P09	2	CM	3 DIAS
20	MODE CONTROL PANEL	761574B	2	CM	3 DIAS

21	AURAL WARNING MODULE	382000-1001	6	CM	3 DIAS
22	NLG ASSY	822-1567-102	1	CM	NO GO
23	OUTFLOW VALVE	69-78214-3	1	CM	NO GO
24	PARKING BRAKE VALVE	162A1100-5	1	CM	NO GO
25	POWER DRIVE UNIT	12D1010	1	CM	NO GO
26	SCU 245	EM91-79-5	1	CM	10 DIAS
27	SELCAL PANEL	256A3515-3	1	CM	10 DIAS
28	SCU 250	3289562-5	2	CM	10 DIAS
29	STARTER POWER UNIT	G7165-01	1	CM	10 DIAS
30	UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	1152426-245	1	CM	NO GO
31	VALVE HPTCC	1152466-250	1	CM	NO GO
32	WINDOW # 4	1152464-265	1	CM	10 DIAS
33	WINDOW # 5	42-935-2	1	CM	10 DIAS
34	AIR CICLE MACHINE	2206400-2	2	CM	10 DIAS
35	BLEED VALVE	109486-6-1	2	CM	03 DIAS
36	APU FUEL VALVE	AV16E1209D	1	CM	10 DIAS
37	APU START GENERATOR	171256-100C	1	CM	10 DIAS
38	FAN BLADE	1338M51P01	2	CM	NO GO
39	CONTROL DISPLAY UNIT	166891-01-01	4	CM	10 DIAS
40	DRIVE WXR	2041444-0401	1	CM	10 DIAS
41	FLIGHT CONTROL COMPUTER	10-62038-8	2	CM	10 DIAS
42	FUEL CONTROL UNIT	441921	1	CM	10 DIAS
43	FIRE DETECTOR	8970-01	2	CM	3 DIAS
44	FMC COMPUTER	168925-07-01	2	CM	10 DIAS
45	FUEL FLOW TRANSMITER	1853M48P03	2	CM	NO GO
46	HI STAGE REGULATOR	107484-7	2	CM	3 DIAS
47	FUEL NOZZLE	3830416-1	36	CM	NO GO
48	OXYGEN MASK	174290-41	4	CM	NO GO
49	STARTER VALVE	3289630-3	2	CM	NO GO
50	TRANSIENT BLEED VALVE	1821M60P04	2	CM	10 DIAS
51	VALVE	14330-050	1	CM	10 DIAS
52	VBV ACTUATOR	1211342-005	2	CM	10 DIAS
53	WXR ANTENNA	930-4301-001	1	CM	10 DIAS

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 4 mostra de forma sintética a proporção entre as peças considerando sua importância para a operação da aeronave. Dentre elas, 35,85% impedem a aeronave de voar caso apresentem falhas, 24,53% devem ser substituídas em até três dias e 39,62% permitem que a aeronave voe até 10 dias. Assim, considerando a ocorrência de falhas e a falta da peça em estoque, 60,38% dos itens que compõem a série histórica produzem impacto direto na

operação da aeronave. Tal fato ressalta a importância das conclusões deste estudo visto que elas podem ser utilizadas pelas empresas como referência na gestão de peças de reposição críticas na operação do Boeing 737NG.

Quadro 4 : Classificação das peças conforme importância na operação da aeronave.

	Quantidade (Nº de peças)	Porcentagem (%)
PEÇAS QUE IMPEDEM A AERONAVE DE VOAR	19	35,85
PEÇAS QUE REQUEREM TROCA EM ATÉ 3 DIAS	13	24,53
PEÇAS QUE REQUEREM TROCA EM ATÉ 10 DIAS	21	39,62
Total	53	100,00

Fonte : Dados da pesquisa

No Brasil, o tempo mínimo para importação de peças das aeronaves 737NG, que não sofram restrições de embarque pelas autoridades afandegárias e que estejam disponíveis nas parteleiras do fornecedor no momento da compra, gira em torno de 10 dias. Desta forma, se considerarmos que 60,38% dos itens penalizam a operação da aeronave abaixo de 10 dias, conclui-se que a falta destes materiais em estoque causarão sérios transtornos ao operador. Assim, peças que estejam entre as categorias “*No Go*” e 3 dias devem receber atenção especial dos planejadores. Para os casos em que não isso não é possível, as empresas lançam mão do processo de canibalização. Deve-se levar em conta que a canibalização permitirá que a aeronave em falha retorne à operação em um intervalo de tempo mais curto do que a logística de compra e importação da peça, porém elevará os custos relativos à manutenção.

Dois fatores que são considerados importantes e mostram claramente a variabilidade de consumos destas peças são o coeficiente de variação quadráticos e o intervalo interdemandas. Os valores calculados para a série histórica em questão pode ser encontrada no Quadro 5. Nota-se que itens como o *Aural Warning Module* e a HMU apresentam altos valores de CV^2 e ρ , portanto produzindo alta variabilidade em seu consumo. O valor médio de CV^2 ficou em 0,9287 e o ρ médio de 0,9927, o que caracteriza uma série histórica composta por demandas de baixa variabilidade. Os *breakpoints* calculados para os valores de fronteira da matriz de classificação de demanda foram: 1,35 (CV^2) e 3,20 (ρ). Por meio dela grande

parte da base de dados foi classificada como *smooth* apresentando seis ocorrência de demanda errática e somente uma de demanda *lumpy*.

Quadro 5: Valores calculados de CV^2 e ρ para cada componente.

Item	Descrição do componente	Variabilidade no tamanho da demanda.	Variabilidade no número de transações.	Classificação da demanda
		CV^2	(ρ)	
1	ADF CTL PANEL	0,3687	1,0976	Smooth
2	AIR MIX VALVE	0,8369	1,9899	Lumpy
3	ALTERNATOR	0,5840	0,9987	Smooth
4	AOA SENSOR	0,2556	0,0765	Smooth
5	APU ENG FIRE CTL MOD	0,5976	1,2567	Smooth
6	AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	1,0848	1,9459	Smooth
7	AUTO SLAT VALVE	0,8949	1,8333	Smooth
8	BRAKE METERING VALVE	1,1070	0,9843	Smooth
9	BRAKE METERING MODULE	0,5434	1,1983	Smooth
10	CABIN PRESS MODULE	1,2474	1,4871	Smooth
11	EAU	0,7997	0,9953	Smooth
12	EFIS CONTROL PANEL	0,7594	0,9745	Smooth
13	ELEVATOR FEEL COMPUTER	0,6014	0,9832	Smooth
14	FIRST OFICER SEAT	0,9262	0,0562	Smooth
15	MARKER BEACON ANTENNA	0,8332	1,7489	Smooth
16	FUEL TEMP INDICATOR	0,8051	0,6898	Smooth
17	HMU	1,5898	2,9782	Errática
18	HYDRAULIC MOTOR	0,6575	1,6735	Smooth
19	LE SLAT ACTUATOR	0,5587	1,9867	Smooth
20	MODE CONTROL PANEL	0,7998	1,4876	Smooth
21	AURAL WARNING MODULE	2,1734	3,9678	Errática
22	NLG ASSY	2,9245	3,1276	Smooth
23	OUTFLOW VALVE	0,5567	1,3279	Smooth
24	PARKING BRAKE VALVE	0,3487	0,9768	Smooth
25	POWER DRIVE UNIT	0,6827	1,6593	Smooth
26	SCU 245	0,4057	0,4536	Smooth
27	SELCAL PANEL	0,7733	1,3872	Smooth
28	SCU 250	0,6575	0,9834	Smooth
29	STARTER POWER UNIT	1,0579	1,8833	Smooth
30	UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	0,2736	1,0034	Smooth
31	VALVE HPTCC	0,202	0,4237	Smooth
32	WINDOW # 4	1,0690	1,2502	Smooth
33	WINDOW # 5	1,7606	2,1111	Errática
34	AIR CICLE MACHINE	0,8893	0,1388	Smooth

35	BLEED VALVE	0,1944	1,0768	Smooth
36	APU FUEL VALVE	0,2222	1,3401	Smooth
37	APU START GENERATOR	1,2554	0,1944	Smooth
38	FAN BLADE	1,6432	0,1388	Errática
39	CONTROL DISPLAY UNIT	1,0599	0,2777	Smooth
40	DRIVE WXR	0,9084	0,1110	Smooth
41	FLIGHT CONTROL COMPUTER	0,8134	0,1129	Smooth
42	FUEL CONTROL UNIT	0,8397	0,1113	Smooth
43	FIRE DETECTOR	1,0503	0,1388	Smooth
44	FMC COMPUTER	1,3788	0,2777	Errática
45	FUEL FLOW TRANSMITER	1,0215	0,0555	Smooth
46	HI STAGE REGULATOR	0,9716	0,1666	Smooth
47	FUEL NOZZLE	0,9643	0,3656	Smooth
48	OXYGEN MASK	1,3572	0,2500	Smooth
49	STARTER VALVE	1,0129	0,2777	Smooth
50	TRANSIENT BLEED VALVE	0,8289	0,0032	Smooth
51	VALVE	1,6765	0,1388	Errática
52	VBV ACTUATOR	1,4459	0,2500	Errática
53	WXR ANTENNA	0,9537	0,1944	Smooth

Fonte: Dados da pesquisa

De forma sintética pode-se afirmar que 86,79% da base de dados foi classificada como *smooth*, 11,32% foi classificada como errática e somente 1,89% como *lumpy*. Este valores podem ser visualizados no Quadro 6.

Quadro 6: Demanda classificada para cada componente

	Quantidade (Nº de peças)	Porcentagem (%)
Nº DEMANDA SMOOTH	46	86,79
Nº DEMANDA ERRÁTICA	6	11,32
Nº DE DEMANDA LUMPY	1	1,89
Total	53	100,00

Fonte: Dados da pesquisa

Com relação à previsão de consumo, vale ressaltar que o intervalo previsto contempla o período entre fevereiro de 2012 a dezembro de 2012. Não foram observados grandes discrepâncias durante a aplicação dos *softwares*, todos os dados apresentaram um bom ajustamento à plataforma utilizada, não havendo mensagens de erros ou falhas que contribuíssem para erros na previsão. O Quadro 7 apresenta a saída do software Wessa para a

peça chamada Alternador (*Alternator*). As tabelas que contemplam os valores para todas as peças podem ser encontradas no Anexo C.

Quadro 7 : Previsão de demanda para o alternador (*Alternator*)

Previsão (unidades) - <i>Alternator</i>					
Mês	Winters	Poisson	SES	WMA	Croston
fev/12	11,1383	6,3783	7,2306	6,5097	7,474603
mar/12	10,7097	6,3784	7,1671	7,5097	7,224503
abr/12	10,7043	6,3785	7,1036	7,0097	8,442603
mai/12	10,0133	6,3786	7,0401	6,5097	6,122893
jun/12	5,0113	6,3787	6,9766	6,4497	7,672753
jul/12	8,3488	6,3788	6,9130	7,5097	6,865603
ago/12	3,9147	6,3789	6,8495	6,3297	7,964703
set/12	5,5500	6,3790	6,7860	7,3467	7,647653
out/12	8,3488	6,3791	6,7225	6,5097	7,489073
nov/12	3,9147	6,3792	6,6590	6,2237	6,443693
dez/12	5,5500	6,3793	6,5955	7,4367	7,442603

Fonte: <https://wessa.net>

Durante a avaliação dos dados, antes da entrada nos *softwares*, foram verificados que alguns materiais apresentavam picos de consumo em determinados meses do período de observação, apontando efeitos de sazonalidade e tendência na demanda. Informações provenientes de conversas com planejadores da VRG e de busca de informações nos históricos dos departamentos de planejamento de manutenção, mostraram que esses fenômenos foram causados principalmente pela:

1. Redução do tempo de vida útil das peças devido a problemas de projeto ou intemperes operacionais.
2. Esta redução do tempo de útil das peças acarretaram mudanças no programa de manutenção das aeronaves que demandaram maior número de paradas das aeronaves para manutenção.
3. Consequentemente houveram a necessidade de substituição de peças consideradas obsoletas pelas autoridades civis ou fabricantes.

4. A compra de um maior número de peças para estoque foi necessária devido ao elevado *lead time* de retorno de peças enviadas para reparo.

Detalhando os itens relacionados acima tem-se que o item 1 têm ligação direta com o a vida limite das peças de reposição o que corrobora com os estudos apresentados no tópico 2.2 deste trabalho. A severidade da operação da aeronave pode acarretar problemas nos conjuntos e partes que compõem as aeronaves levando-os a falhar prematuramente. O item 3 também tem ligação com este fator e também com o monitoramento de falhas nas aeronaves. As peças são consideradas obsoletas pelas autoridades civis e pelos fabricantes a partir do momento em que é provado que sua probabilidade de falhar prematuramente é grande. Esta análise passa pelo acompanhamento diário das frotas sendo apontadas pelos indicadores descritos no tópico 2.3.

As mudanças no programa de manutenção, item 2, tem relação estreita com o planejamento de compra de materiais e peças para reposição de estoques. Os planejamentos para manutenção da frota são feitos com três ou quatro meses de antecedência de forma a permitir a compra e importação das peças e materiais necessários para a execução das tarefas dentro de um tempo hábil. Mudanças no planejamento de paradas das aeronaves podem acarretar picos de consumo, caso estes não sejam contemplados nas previsões de demandas, elevando o custo para aquisição de estoques. As empresas geralmente procuram mudar o programa de manutenção no sentido de reduzir a frequência de parada das aeronaves. Esta ação, que foi tomada pelo grupo TAP, reduz o custo operacional e maximiza a utilização da frota.

A necessidade de compra de peças para repor a falta de componentes em reparo tem relação direta com o processo logístico da empresa e o tempo para a liberação da peça pelo reparador no exterior. Segundo a equipe de planejamento de materiais da VRG o tempo gasto entre a liberação do material pelo reparador para envio ao Brasil e sua chegada nos estoques da companhia gira em torno de 20 dias. Deve-se ressaltar que este tempo não contempla o reparo do componente que pode variar de acordo com a flaha encontrada pelo repador. Para eles, o maior problema esta na falta reparadores nacionais que proporcionariam a redução do *lead time* logístico²⁴ ou no altos preços praticados para esta modalidade no mercado nacional. Assim, torna-se necessário a criação de um estoque de segurança para suprir a demanda da frota evitando o impacto operacional na por falta de componentes.

²⁴ *Lead time* logístico: é o tempo gasto entre a requisição do material e sua chegada nos estoques da companhia.

Os picos de demanda podem causar surpresas, pois não são contemplados nas previsões. O Quadro 5 traz os componentes da série histórica que apresentaram tais discrepâncias.

Quadro 8: Componentes que apresentaram picos de consumo durante o período de observação

Material	Período	Motivo
Antiskid Auto Brake	Ago-10 /Abr-11/Nov-11	Problemas com reparo
Brake Metering Valve	Out-10/ Nov-10	Modificação da peça
First Officer Seat	Mai-11/ Set-11	Desgaste do componente
NLG Assy	Jan-09 a Jul-09	Desgaste do componente
HPTCC	Mai-09/ Out-09	Modificação da peça
EFIS Control Panel	Fev-10/ Set-11	Desgaste do componente

Fonte: Dados da pesquisa

Na avaliação dos métodos de previsão, foram considerados como os de melhor ajustamento aqueles que apresentaram os menores valores de erro quadrático médio (MSE). Ao todo foram feitas 155 simulações durante a realização dos processos de previsão de demanda. O Quadro 8 apresenta a classificação dos métodos tomando como base a quantidade de simulações que produziram os menores erros quadráticos. O método *Weighted Moving Average* (WMA) apresentou ao todo 44 simulações com os menores valores de MSE seguido muito de perto pelo Método de Poisson que apresentou 43 simulações. Este resultado corrobora com os resultados de Ghobbar e Friend (2003) que também identificaram em seus estudos o WMA como método de melhor ajustamento para uma base de dados que possuía em sua maioria demandas tipo *lumpy*.

Outros autores também reforçam os resultados desta pesquisa, Manzini *et al* (2007) e Bredley (2011) ressaltam que o Método de Poisson, que foi classificado como segundo método de melhor ajustamento, é utilizado na previsão de demanda de peças de reposição. É importante ressaltar que Poisson não fez parte dos métodos utilizados no estudo de Ghobbar e Friend (2003). Croston ficou com a terceira colocação, mantendo sua fama como método indicado pela literatura para o tratamento de demandas variáveis. Winters apresentou o pior ajustamento, classificado em último lugar dentre os demais. Este resultado também corrobora com Ghobbar e Friend (2003). A superioridade do método de Croston sobre o SES também foi verificada segundo estudos de Croston (1972).

Quadro 9: Classificação global dos métodos de previsão de demanda

CLASSIFICAÇÃO GLOBAL DOS MÉTODOS QUE APRESENTARAM MENOR MSE		
MÉTODO	Nº DE SIMULAÇÕES	CLASSIFICAÇÃO
CROSTON	34	3º
WINTERS	9	5º
POISSON	43	2º
SES	25	4º
WMA	44	1º

Fonte: dados da pesquisa

A constatação destas afirmações podem ser visualizada por meio do Quadro 10. Nele, pode se encontrar todos os valores do erro quadrático médio que foram calculados para cada peça de reposição. Em negrito estão os menores valores do erro que indicam o método que se ajustou melhor a sua série histórica.

Quadro 10: Valores de erros na previsão para os métodos de melhor ajustamento.

Item	MÉTODO		CROSTON	WINTERS	POISSON	SES	WMA
	Descrição da Peça	Classificação da Demanda	MSE	MSE	MSE	MSE	MSE
1	ADF CTL PANEL	Smooth	0,9907	2,1040	1,0051	9,4013	1,0033
2	AIR MIX VALVE	Lumpy	2,5475	4,4176	2,4393	2,7487	2,3987
3	ALTERNATOR	Smooth	12,7806	32,6559	15,5707	14,1254	12,6805
4	AOA SENSOR	Smooth	33,1619	37,3501	32,0239	32,8009	32,6171
5	APU ENG FIRE CTL MOD	Smooth	5,5364	10,9286	5,6881	5,6139	10,4917
6	AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	Smooth	5,1124	23,9286	6,2222	8,5649	6,4444
7	AUTO SLAT VALVE	Smooth	1,1784	2,4532	0,9877	1,0000	1,0000
8	BRAKE METERING VALVE	Smooth	2,6508	5,6638	2,3924	2,3211	2,3916
9	BRAKE METERING MODULE	Smooth	4,5213	16,7081	3,2539	3,1074	3,1074
10	CABIN PRESS MODULE	Smooth	1,4926	3,3094	1,3658	5,4488	1,4896
12	EAU	Smooth	4,2926	11,8943	5,2992	4,0281	4,0532
13	EFIS CONTROL PANEL	Smooth	6,4642	9,9007	6,1229	6,8348	6,0995
14	ELEVATOR FEEL COMPUTER	Smooth	1,2707	1,1651	1,1478	13,1163	1,1197
15	FIRST OFICER SEAT	Smooth	16,9526	12,3485	15,5162	7,6124	7,6124
16	MARKER BEACON ANTENNA	Smooth	1,8022	3,8758	1,5985	1,8159	1,8159
18	FUEL TEMP INDICATOR	Smooth	2,0784	3,7898	1,7288	13,8184	1,7451
19	HMU	Errática	13,2937	26,0225	2,6118	15,449	22,7697
20	HYDRAULIC MOTOR	Smooth	0,8137	1,7757	0,6674	0,6667	0,6667
21	LE SLAT ACTUATOR	Smooth	18,646	13,8631	10,327	23,1220	15,8541

22	MODE CONTROL PANEL	Smooth	1,7333	1,4700	2,1150	1,6949	1,6949
23	AURAL WARNING MODULE	Lumpy	7,5012	9,8795	8,8889	13,2187	7,6382
24	NLG ASSY	Smooth	1,3444	2,4272	0,7970	3,3881	0,7998
25	OUTFLOW VALVE	Smooth	1,0235	1,6906	1,0563	1,0037	0,9572
26	PARKING BRAKE VALVE	Smooth	6,6489	7,6552	7,0429	7,1351	12,8528
27	POWER DRIVE UNIT	Smooth	0,6677	1,3300	0,5441	0,5556	0,5555
28	SCU 245	Smooth	9,1881	6,8863	11,2571	37,0497	9,3463
29	SELCAL PANEL	Smooth	2,5270	6,2291	2,0550	2,0180	2,034
30	SCU 250	Smooth	1,6494	5,8550	1,7666	1,7028	4,9999
31	STARTER POWER UNIT	Smooth	1,5048	11,0272	1,3508	52,7873	3,372
32	UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	Smooth	10,3369	15,0143	14,9907	17,0981	10,9939
33	VALVE HPTCC	Smooth	6,1221	33,1328	7,5199	6,8827	6,1966
34	WINDOW # 4	Smooth	1,1566	1,6004	1,0624	10,836	1,0275
35	WINDOW # 5	Errática	1,9852	1,0188	0,6724	1,8940	0,4458
34	AIR CICLE MACHINE	Smooth	3,2456	6,3692	3,1639	2,8015	3,3792
35	BLEED VALVE	Smooth	2,5800	2,3025	2,2683	3,1437	2,5523
36	APU FUEL VALVE	Smooth	1,0599	5,399	1,0631	1,2802	1,1112
37	APU START GENERATOR	Smooth	19,8628	2,5150	1,8763	32,3628	2,9922
38	FAN BLADE	Errática	0,4056	0,4404	0,3944	0,4034	0,4355
39	CONTROL DISPLAY UNIT	Smooth	7,3920	7,7191	5,6789	5,8119	7,3824
40	DRIVE WXR	Smooth	9,1839	13,4715	8,2959	11,0242	8,9128
41	FLIGHT CONTROL COMPUTER	Smooth	7,9329	2,7438	4,3467	282,9312	4,9424
42	FUEL CONTROL UNIT	Smooth	11,6384	17,8467	8,7298	37,4485	9,6552
43	FIRE DETECTOR	Smooth	4,6118	0,8904	0,9075	1,4620	0,9832
44	FUEL FLOW TRANSMITER	Errática	5,1549	13,9825	6,4955	4,6834	5,7673
45	FMC COMPUTER	Smooth	1,8146	2,3600	1,8576	1,7876	1,8501
46	HI STAGE REGULATOR	Smooth	31,0817	37,5719	29,5818	72,23050	30,3942
48	OXYGEN MASK	Smooth	16,0265	16,5692	15,0948	17,8987	15,7576
49	STARTER VALVE	Smooth	16,5455	26,6865	17,7709	48,1593	18,8855
50	TRANSIENT BLEED VALVE	Smooth	18,7527	30,2325	13,2719	38,6387	16,034
51	VALVE	Errática	0,4448	0,5213	0,4362	0,8212	0,4701
52	VBV ACTUATOR	Errática	1,8518	2,0832	1,7176	1,7636	1,9113
53	WXR ANTENNA	Smooth	2,4797	4,1400	2,2296	2,1539	2,2966

Fonte: dados da pesquisa

Estudando os processos adotados pelo departamentos de Confiabilidade verificou-se que a empresa executa acompanhamento diários do comportamento e operação de algumas peças instaladas nas aeronaves, sobretudo aquelas que possuem um alto índice de remoções não programadas²⁵. A Figura 16 apresenta um dos gráficos utilizados pela empresa

²⁵ Remoções não programadas: são as substituições de peças ou componentes devido falha súbita.

para a visualização do número de troca de componentes. Neste caso, têm-se os dados de remoção da peça denominada *Precooler* no ano de 2011. Nota-se um elevado consumo mensal de unidades deste componente ao longo do ano de 2011 o que acarretou atrasos operacionais ocasionados por falhas em aeronaves que se encontravam em operação neste período. Tal fato fez com que a empresa reformulasse o seu planejamento de estoque para esta peça.

Outro fenômeno que pode ser observado na Figura 16 é o efeito da sazonalidade ou pico operacional da frota. Observa-se que o maior consumo de peças ocorreram entre os meses de Fevereiro, Junho, Julho, Agosto e Dezembro. Estes meses são considerados no Brasil como períodos de alta temporada, ou seja, períodos de férias escolares em que a maioria das famílias utilizam aeronaves para viajar longas distâncias. Nestes meses do ano as empresas buscam a maximização da operação das aeronaves de forma a cumprir de forma eficaz as rotas estabelecidas. Maximizar as operações implica em exigir mais dos equipamentos e conseqüentemente a elevação de horas e ciclos de utilização. Tais dados reforçam a afirmativa de Campbell (1963) que ressalta a relação estreita entre aumento da demanda por peças e a severidade na operação da máquina.

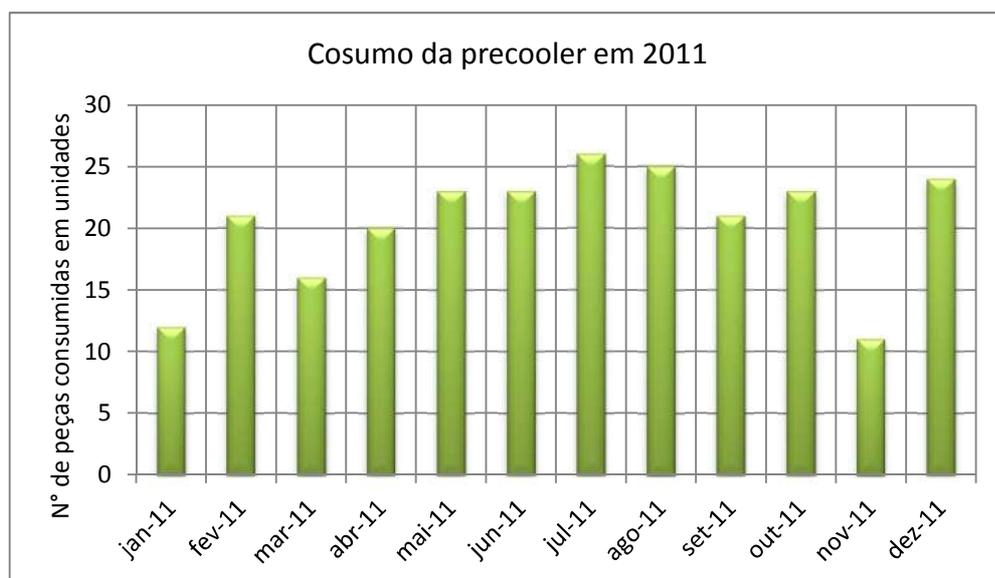


Figura 16: Controle de remoções anual de peças de reposição
Fonte: Arquivo da VRG (2012)

Dentre os índices de falhas calculados pela VRG, o mais utilizado é o Tempo Médio Entre Remoção Não Programada ou MTBUR. Ele pode ser definido como o intervalo médio de horas voadas da frota em que haverá uma remoção não programada de determinado componente. As falhas não esperadas são as mais preocupantes, pois geram demandas inesperadas, elevando a variabilidade do consumo do material. O grande desafio da empresa é buscar um padrão que permita visualizar ocorrências futuras. Para isso torna-se necessário estudar o problema raiz.

A Figura 17 mostra uma das formas utilizadas pelo departamento de confiabilidade para tal estudo. As informações provenientes do acompanhamento da operação da frota são plotadas em gráficos que permitem a visualização mais clara dos problemas encontrados. No caso em questão pode-se verificar que a fadiga dos materiais têm sido as principais causas de falhas nos componentes das aeronaves seguido pelas falhas de dimensionamento e aquelas causadas pelos processos de fabricação da peça. As falhas por fadigas estão relacionadas com a severidade de operação das aeronaves e as causadas por dimensionamento e fabricação estão relacionadas ao projeto e ao material de fabricação estabelecido pelo fabricante. O mapeamento de problemas como estes podem levar à alteração do programa de manutenção, do planejamento de paradas das aeronaves da frota e das políticas de estoque para ponto de ressuprimento.

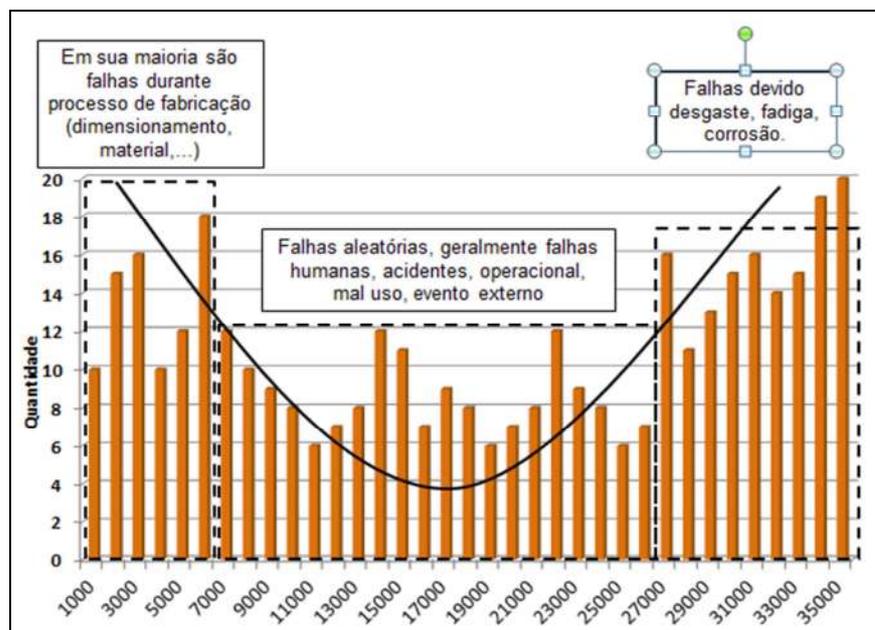


Figura 17: Monitoramento de falhas das aeronaves da frota

Fonte: Arquivo da VRG (2012)

Durante as entrevistas informais, um supervisor de manutenção lotado em um dos hangares da companhia fez a seguinte afirmação sobre mudanças no programa de manutenção: “todas as tarefas de manutenção têm um intervalo para cumprimento. Caso uma delas esteja com um intervalo muito longo ou curto, a análise pode ser feita com a ajuda da Confiabilidade. Caso uma pane²⁶ tenha uma frequência elevada de ocorrência e haja algum tipo de tarefa ou inspeção no programa de manutenção que possa detectá-la ou evitá-la antes que ela aconteça a Confiabilidade, pode ser de grande valia no ato de mensurar e definir o melhor intervalo para que ela seja cumprida” (VRG Linhas Aéreas S/A, 2013).

A Figura 18 apresenta o esquema padrão, utilizado para a programação de parada das aeronaves na empresa. A linha de 0% a 110% indica o tempo disponível para a aeronave voar até que a tarefa de manutenção seja executada. Nota-se que é ideal que essa programação seja feita dentro do trecho verde da linha. O setores de planejamento e compras seguem esse padrão para disponibilizar materiais e peças de reposição no tempo necessário.



Figura 18: Planejamento de parada das aeronaves para manutenção

Fonte: Arquivo da VRG

²⁶ Pane: termo usado no campo da aviação para falha de peças e equipamentos das aeronaves.

Funcionários do setor de planejamento ressaltaram que mudanças no programa de manutenção devem ser feitas de forma cuidadosa, pois a falta de harmonia nas operações entre os departamentos da empresa pode gerar impactos negativos, como atrasos na operação da frota: “A alteração do programa de manutenção deve ser feita em conjunto com as equipes de planejamento de materiais, manutenção e planejamento de voos. É necessário que haja sincronia entre as paradas para cumprimento das tarefas e a disponibilidade de peças de reposição em estoque, de forma a evitar atrasos na saída e chegada das aeronaves no hangar” afirmou um membro da equipe (VRG Linhas Aéreas S/A, 2013). “Essas mudanças costumam modificar a frequência de parada das aeronaves no hangar e o padrão de consumo de alguns componentes. Por isso, devemos estar atentos a elas. Temos de programar, com antecedência à execução das tarefas, a compra da quantidade necessária de materiais. Assim, atendemos a demanda, reduzindo a possibilidade de compras em caráter urgente.”, concluiu um funcionário da equipe de compras (VRG Linhas Aéreas S/A, 2013).

Quando perguntado sobre a dificuldade na previsão de itens não programados, obteve-se a seguinte resposta: “Esses são os piores itens para se comprar. As compras geralmente ocorrem durante o período de manutenção da aeronave ou ao final deste processo. A logística é cara, pois os trâmites de compra e a logística de importação devem ser acelerados. Tratam-se de itens de difícil previsão porque não têm um consumo regular. A Confiabilidade tem auxiliado muito nesse problema, pois acompanhando a frequência nas ocorrências de falhas das aeronaves conseguimos saber, de forma aproximada, quantos itens comprar.”

Também foi verificado que a empresa faz uso da canibalização de materiais para contornar o problema da falta de peças em estoque. “Quando temos uma falha em uma aeronave que está em operação diária, temos que tomar ações rápidas para solucionar o problema. Quando essa ação depende de peças que não temos em estoque, solicitamos que o item seja removido de uma aeronave que esteja no hangar.”, comenta um funcionário do departamento de manutenção da empresa (VRG Linhas Aéreas S/A, 2013).

O Quadro 11 apresenta dados que permitem comparar custos com a canibalização, atrasos e cancelamentos de voo. O custo para canibalizar um material gira em torno de US\$ 7,920. 00. Com o atraso da aeronave, tem-se um custo de US\$ 137,250. 00 e com o cancelamento do voo, de US\$ 50,000. 00. Avaliando de forma direta estes valores observa-se que o custo com a canibalização é o menor dentre os demais o que leva a crêr que trata-se de um procedimento de menor impacto financeiro na companhia. Porém, deve-se ressaltar que há

ocorrências em que o tempo de canibalização de uma peças não atende o tempo mínimo estabelecido pela autoridade civil (ANAC) para evitar o atraso de um voo. Tal fato leva a ocorrência do atraso operacional e conseqüentemente do cancelamento do voo. Nestes casos, o custo total chega a US\$ 195,170.00. Além do impacto na imagem da empresa que não foi aqui mensurado.

Quadro 11: Custos com canibalização, atrasos e cancelamentos de voos

Relação de custos: Canibalizações x Atrasos x Cancelamentos de voo

<u>Método</u>	<u>Custo</u>
Canibalização	USD 7,920.00 por peça removida
Atraso operacional	USD 137,250.00 por atraso
Cancelamento de voo	USD 50,000.00 por cancelamento
Valor Total	USD 195,170.00

Fonte: Arquivo da VRG

Como já fora abordado, a canibalização consiste em intercambiar peças entre aeronaves como forma alternativa para suprir a falta daquelas em estoque. Esse método mitiga atrasos. Porém, onera a empresa, se comparado com a substituição por peças retiradas de estoque.

Durante o estudo de caso, foi observado que a empresa, assim como outras pelo mundo, tem problemas com a previsão da demanda de materiais de consumo variável. Ela não utiliza pacote de *softwares* específicos para previsões de demandas variáveis, sendo que as compras futuras são feitas com base no histórico de consumo, no mapeamento de falhas que é feito pelo departamento de Confiabilidade e no planejamento de parada das aeronaves. Esses dois últimos critérios reforçam a afirmação de Ghoobar e Friend (2003) sobre a utilização dessas variáveis, por empresas aéreas, para a previsão de compra de materiais.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que o objetivo geral do trabalho foi alcançado, uma vez que os conceitos e métodos sobre demandas variáveis foram aplicados na série histórica coletada na VRG e os resultados corroboraram autores como Croston (1972), Ghobbar e Friend (2003) e Bredley (2011). As simulações apresentaram resultados satisfatórios e coerentes com a teoria apresentada na revisão da literatura, em especial com o trabalho de Ghobar e Friend (2003). Os métodos apontados por estes autores como de melhor ajustamento à sua série histórica, composta por trinta e cinco peças de reposição aeronáuticas, também apresentaram os melhores resultados na série histórica composta por cinquenta e três unidades.

Com relação à pergunta de pesquisa: “Qual dos métodos de previsão utilizados nas simulações é mais indicado para a gestão de peças de reposição da frota de 737NG brasileira?” Tem-se como resposta os métodos *Weight Moving Average* e o Método de Poisson.

Os métodos que obtiveram os melhores ajustamentos para a série histórica utilizada foram: o *Weight Moving Average* (WMA), o Método de Poisson e o Método de Croston. Além disso, considerando que os dados utilizados nas simulações são provenientes do consumo de peças da maior frota de aeronaves 737NG da América do Sul, sendo a única no Brasil e que a maior parte das demandas foi classificada como *smooth*, pode-se sugerir o WMA é o método de Poisson como os mais indicado para a gestão de peças críticas à operação do 737NG no Brasil.

As informações contidas no Quando 12 comparam os resultados obtidos neste estudo com o estudo Ghobbar e Friend (2003). Nele pode ser visto o bom ajustamento do WMA à demanda *smooth* e *lumpy*. Tal resultado também sugere que o WMA pode ser indicado para o tratamento de demandas de materiais aeronáuticos que possuam estes dois padrões de demanda. O método de Croston também ficou entre os melhores, confirmando sua utilização clássica para previsão de demandas no campo da aviação (BREDLEY, 2011). O *Simple Exponential Smoothing* (SES) aparece em quarto lugar, atrás do método de Croston o que confirma a superioridade desta metodologia sobre o SES. O método Winters apresentou o pior ajustamento, o que também corrobora as conclusões de Ghobar e Friend (2003).

Quadro 12: Comparação entre os trabalhos de Ghoobar e Friend (2003) e o presente estudo.

Fator de análise	Ghoobar e Friend (2003)	Estudo Atual
Base histórica	<i>35 peças de reposição consideraram diferentes</i>	<i>53 peças de reposição Considerou somente um</i>
Composição das peças com relação a modelos de diferentes aeronaves.	<i>Vários modelos de aeronaves</i>	<i>Somente um modelo de aeronave</i>
Padrão de demanda que contempla a maioria da base histórica	<i>Lumpy</i>	<i>Smooth</i>
Número de métodos ensaiados	<i>13 métodos</i>	<i>5 método, sendo que 2 deles obtiveram os melhores resultados no trabalho de Ghoobar e Friend (2003).</i>
Métodos de melhor ajustamento	<i>WMA, Holt e Croston</i>	<i>WMA, Poisson, Croston</i>
Método de pior ajustamento	<i>Winters</i>	<i>Winters</i>

Fonte: Dados da pesquisa

Também foi verificado que a elevação da frequência do número de falhas das aeronaves pode gerar incerteza nas previsões. As entrevistas do estudo de campo apontaram que alguns picos de demandas também foram gerados pela elevação no índice de falhas de determinados componentes. Assim como esse fator, foram identificados que a elevação no número de paradas das aeronaves para manutenção, as mudanças no programa de manutenção da frota que alteram o ponto de ressuprimentos dos estoques e o elevado tempo de envio e recebimento de peças que devem ser reparadas no exterior, podem contribuir para elevar a incerteza das previsões.

A vida-limite das peças de reposição também altera a variabilidade da demanda. Falhas prematuras causadas por problemas de projeto reduzem o tempo de vida útil de algumas peças. Tal fato provoca a troca de grande quantidade de componentes, muitas vezes de forma inesperada, ocasionando picos de consumo. Esse fator, juntamente com a frequência na parada de aeronaves para manutenção, são abordados por Ghoobar e Friend (2003) como variáveis utilizadas pelas empresas aéreas para auxiliar na previsão de demandas de materiais.

De acordo com as conclusões sugere-se trabalhar com horizontes de previsão abaixo do mensal para as peças mais críticas e que indisponibilizam a aeronave de voar, incorporar ao uso dos métodos de previsão a análise do número de aeronaves previstas para manutenção e as análises de falhas da frota. Horizontes de previsão mais curtos reduzem a possibilidade de interferência dos picos de consumo devido ao aumento da frequência de atualização da previsão. A avaliação da quantidade de aeronaves previstas para executar um mesmo pacote de tarefas e inspeções deve ser considerado juntamente com a série histórica a ser avaliada, principalmente se houve mudanças do programa de manutenção ou solicitação de troca de peças obsoletas pelos fabricantes. A análise de falhas apontam os componentes e peças mais problemáticos em operação nos aviões. Estas informações somadas a programação de parada e planejamento para manutenção da frota pode revelar um importante instrumentos ao auxílio às previsões. Elas podem apontar inspeções de manutenção em componentes que possuem grande probabilidade de serem substituídos e que deverão ser considerados na demanda do período em questão.

Como sugestão para estudos futuros, tem-se as simulações considerando o SPL como variável a ser incorporada aos resultados da previsão, a análise estatística sobre a relação existente entre a variabilidade da demanda, o número de paradas para manutenção e o tempo de vida útil das peças instaladas na aeronave, o ensaio do método Holt nesta série histórica e a comparação dos resultados com os resultados obtidos por Ghoobar e Friend (2003). Além disso, é necessário verificar o comportamento do método WMA para os outros padrões de demanda, a simulação dos métodos de previsão utilizados neste trabalho com diferentes coeficientes de amortecimento e o ensaio destes métodos utilizando dados de diferentes modelos de aeronaves que fazem parte da frota brasileira.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR-5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica RBHA 043. Manutenção, Manutenção Preventiva, Recondicionamento, Modificações, Reparos Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha043.pdf>> Acesso em: abril de 2012.

ANDERSON, R.T.; NERI, L. **Reliability centered maintenance**. London: Elsevier Applied Science, 1990.

ANDRADE, M. M. de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**: elaboração de trabalhos na graduação. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO 2011, INFRAERO. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/anuario/anuario_2011_2.pdf> Acesso em: abril de 2012.

AHLBURG, D. (1995). **Simple versus Complex Models**: Evaluation, Accuracy, and Combining. *Mathematical Population Studies* 5: 281-90.

BALLOU, R H; *Business Logistics Management*, 4a ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998

BALLOU, R H. **Business Logistics Management**: Planning and control. New Jersey: Prentice Hall, 1985

BRITO JR. I. Análise do Impacto Logístico de diferentes Regimes Aduaneiros no Abastecimento de Itens Aeronáuticos empregando Modelo de Transbordo Multiproduto com Custos Fixos. 133p. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004

BOTTER, R.; FORTUIN, L. Stocking strategy for service parts: a case study **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 6, p. 656-674, 2000.

BOYLAN, J. E.; SYNTETOS, A. A.; KARAKOSTAS, G. C. **Classification for forecasting and stock control: a case study**. *Journal of the Operational Research Society*, v. 59, p. 473-481, 2008.

BUFFA E. S.; MILLER, J.G. **Production-Inventory Systems**: Planning and Control: 3ª ed. Homewood: Richard D. Irwin INC, 1979.

BUREAU OF TRANSPORTATION STATISTICS. Disponível em: <<http://www.rita.dot.gov/bts/node/11792>> Acesso em: abril de 2012.

CAMPBELL, P. Evaluating Forecast Error in State Population Projections Using Census 2000 Counts. **Population Division Working Paper Series**. n. 57, 2002.

CALLEGARO A. Forecasting Methods for spare parts demand. Universita Degli Studi Di Padova - FACOLTA' DI INGEGNERIA DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE, 2010.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**: para uso dos estudantes universitários. 3. ed. São Paulo: MCCRAW-HILL do Brasil, 1983.

COLEMAN, C; SWANSON, D. On MAPE-R as Measure of Cross-sectional Estimation and Forecast accuracy. **Journal of Economic and Social Measurement**. p.82 , 2007.

CROSTON J.D. Forecasting and stock control for intermittent demands. **Operational Research Quarterly**. n.23, p.289-303, 1972.

DEMAND PLANNING. MAPE AND FORECAST BIAS. DEMAND PLANNING NET. Disponível em: <<http://www.demandplanning.net/MAPE.htm>> Acesso em: abril de 2012.

DEMO, Pedro. Metodologia do conhecimento científico. São Paulo: Atlas, 2000. 216 p.

DUTRA, C.C. , FOGLIATTO, F.S. Operacionalização do processo analítico hierárquico usando matrizes incompletas de comparações pareadas - XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa. 2007 - producao.ufrgs.br.

EAVES, A (2002) Forecasting for the ordering and stock-holding of consumable spare parts (PhD thesis). Lancaster University, Department of Management Science.

EUROPEAN SPACE AGENCY – Mechanical Properties. Disponível em: <http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Mechanical%20Properties/Question_Mechanical_Properties_19.html> Acesso em: junho de 2012.

FACHIN, O. , **Fundamentos de Metodologia** / Odília Fachin. 5. ed. [rev.]. São Paulo : Saraiva, 2006.

FRIEND, C. and GHOBBAR, A., Aircraft Maintenance and Inventory Control: Using the Material Requirements Planning System-Can It Reduce Costs and Increase Efficiency? **SAE Technical Paper**. v. 96, n. 1253, 1996.

GHOBBAR A.A., FRIEND C.H. Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model. **Computers and Operations Research**. n. 30, p. 2097-2114, 2003.

GUVENIR, H. A. EREL, E. Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm. **European Journal of Operational Research**, v. 105, p. 29-37, 1998.

GRUPO TAP, RELATÓRIO ANNUAL 2011. Disponível em:

<<http://new.flytap.com/prjdir/flytap/mediaRep/editors/Contentimages/INSTITUTIONAL/PD>

F/TAP/Relatorios/anual/2011/TAP_Relatorio_Anuar_2011_PT_v3.pdf> Acesso em: junho de 2012.

HAUTANIEMI, P.; PIRTTILÄ, T. The choice of replenishment policies in an MRP environment. **International Journal of Production Economics**, v. 59, p. 85-92, 1999.

HYNDMAN, R. and A KOEHLER Another Look at Measures of Forecast Accuracy. **International Journal of Forecasting**, n. 22, p. 679-688, 2006.

HUISKONEM, J. Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. **International journal of production economics**, 2001 - Elsevier

HUISKONEM, J.; NIEMI, P.; PIRTTILÄ, T An approach to link customer characteristics to inventory decision making. **International Journal of Production Economics**, v. 81-82, p. 255-264, 2003.

JOHNSTON F.R., BOYLAN J.E. Forecasting for items with intermittent demand. **Journal of the Operational Research Society**, n.47, p.113–121, 1996.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.

LAWRENCE, M. *et al* Judgmental forecasting: A review of progress over the last 25 years. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 3, p. 493-518, 2006.

LEHMANN, E. L. & CASELLA, G. **Theory of Point Estimation**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1998.

LEWIS, C. D. Demand Forecasting and Inventory Control. New York: Wiley, 1997.

MAKRIDAKIS, S. G.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting: methods and applications**. 3ª ed. New York: Wiley, 1998.

MILLER, E. R. (2001). Evaluation of the 1990 School District Level Population Estimates Based on the Synthetic Ratio Approach. **Population Division Working Paper**, n. 54. Washington D.C.: US Census Bureau, 2001.

MITCHELL, C. RAPPOLD, R., & FAULKNER, W. An analysis of Air Force EOQ data with an application to reorder point calculation. **Management Science**, n. 29, pp. 440-446, 1983

MURDOCK, S., L. LEISTRITZ, R. HAMM, S. HWANG, and B. PARPIA. An Assessment of the Accuracy of a Regional Economic-Demographic Projection Model. **Demography**, n. 21, p. 383-404, 1984

NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de metodologia científica: projetos de pesquisa, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002. 320 p.

PARTOVI, F. Y.; ANANDARAJAN, M. Classifying inventory using an artificial neural network approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 41, p. 389-404, 2002

PORTER, M E, **Competitive Advantage**. New York: The Free Press, 1985.

PEREIRA FILHO, O. R. Logistics Manager of Materials and Information Flow in Aeronautics Industrial Unit. 2002. Dissertation (Master Degree in Administration). University of Taubaté, Department of Economy, Accounting and Business Management. Taubaté- SP, Brazil.

RAO A.V. A comment on: Forecasting and stock control for intermittent demands. **Operational Research Quarterly**, n.24, p.639–640, 1973.

RAMSAY, J. Problems with empiricism and the philosophy of science: implications for purchasing research. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 4, n. 2/3, p. 163-173, 1998.

REVERSE LOGISTICS: Backwards Practices that Matter (Case Study). Raytheon Aircraft Company: Wichita, December 21, 2006. Disponível em: <<http://www.apqc.org/knowledge-base/documents/>>. Acesso em: junho de 2012.

RITA – RESEARCH AND INNOVATIVE TECHNOLOGY ADMINISTRATION
Disponível em:
<http://www.transtats.bts.gov/OT_Delay/ot_delaycause1.asp?display=data&pn=1>. Acesso em: junho de 2012.

ROMAN FILHO. M. - Análise de Estoques em uma cadeia de suprimentos da indústria aeronáutica utilizando um modelo de Dinâmica de Sistemas. 133p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROGERS, DALE S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards**: Reverse Logistics Trends and Practice. Nevada: Reverse Logistics Executive Council, 1998.

SANI B., KINGSMAN B.G. Selecting the best periodic inventory control and demand forecasting methods for low demand items. **Journal of the Operational Research Society**, n.48, p.700-713, 1997.

SANTOS, A.M., RODRIGUES I.A. Controle de Estoque de Materiais com Diferentes Padrões de Demanda: Estudo de Caso em uma Indústria Química. **GESTÃO & PRODUÇÃO**, v.13, n.2, p.223-231, mai.-ago. 2006.

SCAPIN, C. A. **Análise sistêmica de falhas**. Belo Horizonte: Editor de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. Segunda edição. São Paulo: Atlas, 2002.

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

SHERBROOKE, C.C. Metric: a multi-echelon technique for recoverable item control. **Operations Research**, Hanover, v. 16, p. 122-141, 1968.

STAPELBERG, R.F. **Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design**. London: Springer 2009.

SHERBROOKE, C.C. Metric: a Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control. **Operation Research**, n.16, p.122-141, 1968.

SILVA A.L., GANGA M.D.G. JUNQUEIRA R.P.: **Como determinar os sistemas de controle da produção a partir da lei de pareto**. XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de nov de 2004, p.41 -47.

SILVA, G. L. C. Modelo de estoque para peças de reposição sujeitas à demanda intermitente e lead-time estocástico. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais**, 2009. 75 p.

SILVER, E.A.. Some ideas related to the inventory control of items having erratic demand patterns. **Canadian Operational Research Society Journal 8**, 1970.

SILVER, E., HO, C.-M., & DEEMER, R. (1971). **Cost minimizing inventory control of items having a special type of erratic demand pattern**. **INFOR 9** , 198–219.

SILVER, E. A.; PYKE, D. F.; PETERSON, R. **Inventory Management and Production Planning and Scheduling**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SYNTETOS A.A., BOYLAN J.E., 2001, “On the bias of intermittent demand estimates” , **International journal production economics**, n.71, p. 457-466

SYNTETOS A.A., BOYLAN J.E. The accuracy of intermittent demand estimates. **International journal production economics**, n.21, p. 303-314, 2005.

SYNTETOS A.A., BOYLAN J.E., CROSTON, J.D. On the categorization of demand patterns. **Journal of the Operational Research Society**, n.56, p.495–503, 2005.

SYNTETOS A.A. A note on managing lumpy demand for aircraft spare parts. **Journal of air transport management**, n.13, p.166-167, 2007.

SMITH, A. M. & HINCHCLIFFE , G. R. *RCM – Gateway to Word Class*. 1ª. ed. **Burlington**: Elsevier Butterworth–Heinemann, 2004.

SNYDER R. Forecasting sales of slow and fast moving inventories. **European Journal of Operational Research**, n.140, p.684-699, 2002.

STOCK, J. R., **Development and Implementation of Reverse Logistics Programs**. Oak Brook: Council of Logistics Management, 1998.

TADEU, H. F. B, TASSO, J.; *et al.* **Logística aeroportuária**. São Paulo. Editora Cengage Learning. 2010.

TAVARES, L. A. **Administração moderna de manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 1999.

TAYMAN, J., D.A. SWANSON; BARR, C.F. In Search of the Ideal Measure of Accuracy for Subnational Demographic Forecasts. **Population Research and Policy Review**, n. 18, p. 387-409, 1999.

TEUNTER R.H., SANI B. On the bias of Croston's forecasting method. **European Journal of Operational Research**, n.194, p.177–183, 2009.

TEUNTER R.H., SYNTETOS A.A., BABAI M.Z. Determining order-up-to levels under periodic review for compound binomial (intermittent) demand. **European Journal of Operational Research**, vol.16, p.619-624, 2010.

UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Disponível em : <<http://www.eia.gov/forecasts/steo/report/prices.cfm>> Acesso em: abril de 2010.

VERGARA S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2000.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WANG M.; RAO S.S. Estimating reorder points and other management science applications by bootstrap procedure. **European Journal of Operational Research**, n. 56, p.332–342, 1992.

WILSON. T. The Forecast Accuracy of Australian Bureau of Statistics National Population Projections. **Journal of Population Research**, v. 24, n.1, p. 91-117, 2007.

WILLEMMAIN T.R.; SMART C.N., SCHWARTZ H.F. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. **International Journal of Forecasting**, n.20, p.375–387, 2004.

WILLIEMMAIN T.R. SMART C.N.; SHOCKOR J.H., DESAUTELS P.A. Forecasting intermittent demand in manufacturing: A comparative evaluation of Croston's method. **International Journal of Forecasting**, n.10, p.529–538, 1994.

WILLIAMS T.M. Stock control with sporadic and slow-moving demand. **Journal of the Operational Research Society**. v.35, n. 10, p. 939-948, 1984.

WU, H. *et al.* Methods to reduce direct maintenance cost for commercial aircraft. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, v.76, n.1, p. 15-18, 200

ANEXOS

ANEXO A: Significado dos nomes e siglas das peças de reposição que fazem parte da base de dados analisada.

Significado dos nomes das peças que compõem a base de dados

ADF CTL PANEL	<i>Painel de controle do sistema de rádio-navegação ADF</i>
AIR MIX VALVE	<i>Válvula de controle de temperatura do sistema de ar condicionado</i>
ALTERNATOR	<i>Gerador de energia do sistema de gerenciamento do motor</i>
AOA SENSOR	<i>Sensor do sistema que indica perda de sustentação da aeronave</i>
APU ENG FIRE CTL MOD	<i>Módulo de controle de prevenção de fogo do sistema da APU</i>
AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	<i>Válvula do sistema de freio que estabelece o funcionamento normal ou de emergência</i>
AUTO SLAT VALVE	<i>Válvula que estabelece o funcionamento alternado dos slats</i>
BRAKE METERING VALVE	<i>Válvula que controla o fluxo de fluido de freio para as rodas.</i>
BRAKE METERING MODULE	<i>Módulo que controla a brake metering valve.</i>
CABIN PRESS MODULE	<i>Módulo que controla o sistema de pressurização da cabine.</i>
EAU	<i>Unidade que gerencia a abertura dos reversores.</i>
EFIS CONTROL PANEL	<i>Painel de controle do sistema de EFIS</i>
ELEVATOR FEEL COMPUTER	<i>Computador que recebe injeções barométricas e hidráulicas para ajuste fino da posição do profundor</i>
FIRST OFFICER SEAT	<i>Assento do co-piloto</i>
MARKER BEACON ANTENNA	<i>Antena do sistema de Marker Beaco.</i>
FUEL TEMP INDICATOR	<i>Indicador de temperatura do combustível</i>
HMU	<i>Unidade de controle de combustível do motor da aeronave.</i>
HYDRAULIC MOTOR	<i>Motor hidráulico que comanda</i>
LE SLAT ACTUATOR	<i>Atuador que aciona cada superfície de cada slat.</i>
MODE CONTROL PANEL	<i>Painel de controle que comanda as funções do sistema de navegação da aeronave.</i>
AURAL WARNING MODULE	<i>Módulo que gerencia os alarmes sonoros na cabine de comando.</i>
NLG ASSY	<i>Conjunto do trem de pouso do nariz.</i>
OUTFLOW VALVE	<i>Válvula que controla o fluxo de ar dentro da aeronave permitindo a pressurização e despressurização.</i>
PARKING BRAKE VALVE	<i>Válvula que mantém a aeronave freada quando estacionada.</i>
POWER DRIVE UNIT	<i>Unidade que aciona o sistema de flap.</i>
SCU 245	<i>Unidade de controle de partida da APU - PN.XXXXX-245</i>
SELCAL PANEL	<i>Painel de controle do sistema de SELCA.</i>
SCU 250	<i>Unidade de controle de partida da APU - PN.XXXXX-250</i>
STARTER POWER UNIT	<i>Unidade de alimentação do sistema de partida da APU.</i>
UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	<i>Unidade de controle do sistema automático de frenagem da aeronave.</i>
VALVE HPTCC	<i>Válvula de controle de resfriamento das turbinas do motor da aeronave.</i>
WINDOW # 4	<i>Janela nº 4 da cabine de comando.</i>
WINDOW # 5	<i>Janela nº 5 da cabine de comando.</i>
AIR CICLE MACHINE	<i>Sistema turbina-compressor que compõem o equipamento de ar condicionado</i>
BLEED VALVE	<i>Válvula de sangria de ar dos motores</i>

APU FUEL VALVE	<i>Válvula de abertura e corte de combustível da APU</i>
APU START GENERATOR	<i>Unidade de partida e geração elétrica da APU</i>
FAN BLADE	<i>Pá do conjunto de Fan do motor</i>
CONTROL DISPLAY UNIT	<i>Unidade de controle dos telas da cabine</i>
DRIVE WXR	<i>Módulo eletrônico que auxilia no funcionamento da antena de radar</i>
FLIGHT CONTROL COMPUTER	<i>Computador de controle de voo -responsável pela operação do piloto automático</i>
FUEL CONTROL UNIT	<i>Unidade de controle de combustível da APU</i>
FIRE DETECTOR	<i>Sensor de detecção de fogo dos motores</i>
FUEL FLOW TRANSMITTER	<i>Unidade de transmissão de fluxo de combustível para os motores</i>
FMC COMPUTER	<i>Computador do diretor de voo</i>
HI STAGE REGULATOR	<i>Válvula reguladora de sangria do estágio de alta compressão do motor</i>
OXYGEN MASK	<i>Máscara de oxigênio da cabine de comando</i>
STARTER VALVE	<i>Válvula de partida do motore</i>
TRANSIENT BLEED VALVE	<i>Válvula de sangria transiente</i>
VALVE	<i>Valvula do sistema de vácuo dos toilets</i>
VBV ACTUATOR	<i>Atuador que controla o funcionamento da válvula de sangria variável</i>
WXR ANTENNA	<i>Antena do sistema de radar</i>

ANEXO B: Parâmetros calculados para a previsão e classificação de demanda por peça de reposição.

TABELA I - SÉRIE HISTÓRICA UTILIZADA NO PROCESSO DE PREVISÃO

PERÍODO	CONSUMO DAS PEÇAS EM UNIDADES/MÊS								
	ADF CTL PANEL	AIRMIX VALVE	ALTERNATOR	ANTISKID AUTOBRAKE	AOA SENSOR	APU FIRE CTL MODULE	AURAL WARNING	AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	AUTO SLAT VALVE
jan/09	0,0000	5,0000	0,0000	6,0000	6,0000	3,0000	2,0000	2,000	1,0000
fev/09	3,0000	1,0000	0,0000	4,0000	4,0000	0,0000	1,0000	2,000	1,0000
mar/09	3,0000	4,0000	0,0000	5,0000	5,0000	4,0000	0,0000	3,000	2,0000
abr/09	4,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	0,0000	2,000	1,0000
mai/09	1,0000	1,0000	4,0000	7,0000	7,0000	0,0000	0,0000	2,000	1,0000
jun/09	2,0000	1,0000	2,0000	8,0000	8,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,0000
jul/09	2,0000	0,0000	2,0000	4,0000	4,0000	5,0000	0,0000	2,000	1,0000
ago/09	1,0000	2,0000	3,0000	5,0000	5,0000	2,0000	2,0000	2,000	1,0000
set/09	2,0000	3,0000	2,0000	9,0000	9,0000	1,0000	1,0000	6,000	1,0000
out/09	1,0000	1,0000	0,0000	6,0000	6,0000	1,0000	0,0000	2,000	1,0000
nov/09	3,0000	2,0000	10,0000	4,0000	4,0000	7,0000	1,0000	6,000	3,0000
dez/09	2,0000	2,0000	13,0000	7,0000	7,0000	3,0000	3,0000	5,000	3,0000
jan/10	4,0000	1,0000	9,0000	4,0000	4,0000	4,0000	0,0000	0,000	1,0000
fev/10	5,0000	5,0000	18,0000	8,0000	8,0000	3,0000	0,0000	0,000	3,0000
mar/10	4,0000	2,0000	13,0000	4,0000	4,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,0000
abr/10	4,0000	1,0000	13,0000	2,0000	2,0000	6,0000	1,0000	0,000	0,0000
mai/10	6,0000	1,0000	6,0000	7,0000	7,0000	8,0000	0,0000	0,000	4,0000
jun/10	2,0000	0,0000	9,0000	7,0000	7,0000	8,0000	0,0000	0,000	2,0000
jul/10	0,0000	0,0000	6,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,000	0,0000
ago/10	1,0000	1,0000	6,0000	12,0000	12,0000	1,0000	0,0000	0,000	0,0000
set/10	2,0000	0,0000	6,0000	2,0000	2,0000	6,0000	0,0000	0,000	1,0000
out/10	2,0000	0,0000	10,0000	3,0000	3,0000	1,0000	2,0000	3,000	1,0000
nov/10	1,0000	1,0000	7,0000	4,0000	4,0000	4,0000	1,0000	3,000	1,0000
dez/10	1,0000	1,0000	5,0000	1,0000	1,0000	2,0000	2,0000	2,000	1,0000
jan/11	2,0000	1,0000	4,0000	8,0000	8,0000	2,0000	0,0000	1,000	0,0000
fev/11	2,0000	1,0000	4,0000	9,0000	9,0000	1,0000	0,0000	0,000	0,0000
mar/11	1,0000	1,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	0,0000	0,000	0,0000
abr/11	2,0000	2,0000	5,0000	11,0000	11,0000	7,0000	0,0000	5,000	1,0000
mai/11	3,0000	4,0000	10,0000	8,0000	8,0000	5,0000	0,0000	4,000	2,0000
jun/11	2,0000	0,0000	4,0000	8,0000	8,0000	1,0000	6,0000	0,000	0,0000
jul/11	2,0000	0,0000	12,0000	5,0000	5,0000	1,0000	4,0000	7,000	1,0000
ago/11	3,0000	3,0000	8,0000	14,0000	14,0000	5,0000	5,0000	4,000	2,0000
set/11	4,0000	2,0000	11,0000	9,0000	9,0000	6,0000	0,0000	4,000	3,0000
out/11	1,0000	0,0000	10,0000	4,0000	4,0000	5,0000	0,0000	2,000	1,0000
nov/11	1,0000	4,0000	2,0000	11,0000	11,0000	0,0000	6,0000	1,000	0,0000
dez/11	1,0000	1,0000	12,0000	8,0000	8,0000	4,0000	0,0000	0,000	0,0000
jan/12	3,0000	2,0000	6,0000	7,0000	7,0000	5,0000	0,0000	2,000	1,0000

TABELA II - SÉRIE HISTÓRICA UTILIZADA NO PROCESSO DE PREVISÃO

PERÍODO	CONSUMO DAS PEÇAS EM UNIDADES/MÊS								
	BRAKE METERING MODULE	EAU	EFIS CRL PANEL	ELEVATOR FEEL COMPUTER	FIRST OFFICER SEAT	FUEL TEMP INDICATOR	HMU	LE SLAT ACTUATOR	ANTENNA MARKER BEACON
jan/09	2,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
fev/09	2,0000	0,0000	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000
mar/09	2,0000	0,0000	0,0000	3,0000	0,0000	2,0000	2,0000	1,0000	2,0000
abr/09	2,0000	0,0000	0,0000	2,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
mai/09	2,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	2,0000	1,0000
jun/09	2,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
jul/09	2,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
ago/09	2,0000	8,0000	5,0000	2,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
set/09	6,0000	1,0000	3,0000	1,0000	0,0000	3,0000	3,0000	1,0000	1,0000
out/09	2,0000	1,0000	2,0000	4,0000	5,0000	2,0000	2,0000	1,0000	1,0000
nov/09	6,0000	4,0000	8,0000	4,0000	5,0000	3,0000	3,0000	3,0000	5,0000
dez/09	5,0000	3,0000	4,0000	8,0000	4,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
jan/10	2,0000	1,0000	4,0000	3,0000	3,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
fev/10	7,0000	3,0000	12,0000	3,0000	3,0000	4,0000	4,0000	3,0000	3,0000
mar/10	0,0000	5,0000	4,0000	2,0000	5,0000	0,0000	0,0000	0,0000	5,0000
abr/10	1,0000	5,0000	6,0000	5,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	3,0000
mai/10	3,0000	3,0000	6,0000	2,0000	4,0000	1,0000	1,0000	2,0000	5,0000
jun/10	2,0000	1,0000	7,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	3,0000
jul/10	0,0000	2,0000	6,0000	2,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
ago/10	0,0000	0,0000	6,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000
set/10	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	3,0000	1,0000	1,0000	2,0000	1,0000
out/10	3,0000	4,0000	3,0000	1,0000	1,0000	3,0000	3,0000	1,0000	1,0000
nov/10	3,0000	2,0000	3,0000	1,0000	3,0000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000
dez/10	2,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
jan/11	2,0000	0,0000	1,0000	3,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
fev/11	5,0000	1,0000	0,0000	0,0000	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
mar/11	0,0000	7,0000	0,0000	2,0000	2,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
abr/11	4,0000	3,0000	4,0000	1,0000	4,0000	0,0000	0,0000	1,0000	2,0000
mai/11	2,0000	4,0000	4,0000	2,0000	8,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
jun/11	0,0000	4,0000	4,0000	0,0000	7,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
jul/11	2,0000	7,0000	4,0000	2,0000	7,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000
ago/11	4,0000	5,0000	5,0000	2,0000	12,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
set/11	4,0000	2,0000	10,0000	2,0000	11,0000	2,0000	2,0000	2,0000	4,0000
out/11	2,0000	7,0000	3,0000	2,0000	5,0000	4,0000	4,0000	1,0000	1,0000
nov/11	1,0000	6,0000	0,0000	0,0000	5,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
dez/11	0,0000	1,0000	3,0000	1,0000	7,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
jan/12	2,0000	5,0000	7,0000	4,0000	6,0000	2,0000	2,0000	1,0000	1,0000

TABELA III - SÉRIE HISTÓRICA UTILIZADA NO PROCESSO DE PREVISÃO

PERÍODO	CONSUMO EM UNIDADES/MÊS								
	MODE CONTROL PANEL	HYDRAULIC MOTOR	NLG ASSY	ANTI SKID/AUTO BRAKE UNIT	OUT FLOW VALVE	PARKING BRAKE VALVE	POWER DRIVE UNIT	SCU 245	SCU 250
jan/09	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	1,0000
fev/09	0,0000	0,0000	0,0000	3,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	5,0000
mar/09	2,0000	6,0000	0,0000	3,0000	2,0000	4,0000	1,0000	1,0000	7,0000
abr/09	2,0000	0,0000	0,0000	2,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	3,0000
mai/09	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	1,0000
jun/09	1,0000	5,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	4,0000
jul/09	0,0000	4,0000	0,0000	1,0000	1,0000	4,0000	1,0000	1,0000	1,0000
ago/09	0,0000	6,0000	2,0000	2,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	2,0000
set/09	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	4,0000	1,0000	1,0000	7,0000
out/09	2,0000	0,0000	0,0000	4,0000	1,0000	2,0000	3,0000	3,0000	7,0000
nov/09	5,0000	0,0000	1,0000	4,0000	3,0000	3,0000	2,0000	2,0000	0,0000
dez/09	3,0000	0,0000	1,0000	8,0000	2,0000	2,0000	1,0000	1,0000	5,0000
jan/10	3,0000	0,0000	1,0000	3,0000	1,0000	1,0000	3,0000	3,0000	1,0000
fev/10	3,0000	2,0000	1,0000	3,0000	3,0000	4,0000	1,0000	1,0000	1,0000
mar/10	1,0000	0,0000	2,0000	2,0000	0,0000	4,0000	1,0000	1,0000	5,0000
abr/10	2,0000	2,0000	3,0000	5,0000	1,0000	6,0000	0,0000	0,0000	1,0000
mai/10	1,0000	0,0000	4,0000	2,0000	1,0000	3,0000	1,0000	1,0000	1,0000
jun/10	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	2,0000
jul/10	0,0000	0,0000	1,0000	2,0000	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ago/10	1,0000	0,0000	2,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	4,0000
set/10	1,0000	0,0000	1,0000	2,0000	3,0000	3,0000	1,0000	1,0000	0,0000
out/10	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	3,0000	3,0000	1,0000	1,0000	3,0000
nov/10	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	2,0000	3,0000	1,0000	1,0000	0,0000
dez/10	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	3,0000
jan/11	1,0000	0,0000	2,0000	3,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	2,0000
fev/11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,0000	4,0000	0,0000	0,0000	2,0000
mar/11	0,0000	0,0000	0,0000	2,0000	0,0000	4,0000	0,0000	0,0000	3,0000
abr/11	2,0000	0,0000	0,0000	1,0000	2,0000	6,0000	1,0000	1,0000	4,0000
mai/11	2,0000	1,0000	0,0000	2,0000	2,0000	8,0000	1,0000	1,0000	2,0000
jun/11	3,0000	2,0000	2,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	2,0000
jul/11	1,0000	0,0000	1,0000	2,0000	2,0000	3,0000	1,0000	1,0000	2,0000
ago/11	2,0000	0,0000	2,0000	2,0000	3,0000	4,0000	2,0000	2,0000	0,0000
set/11	1,0000	0,0000	0,0000	2,0000	2,0000	7,0000	2,0000	2,0000	4,0000
out/11	4,0000	0,0000	2,0000	2,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
nov/11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	2,0000
dez/11	4,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
jan/12	1,0000	0,0000	0,0000	4,0000	2,0000	4,0000	1,0000	1,0000	2,0000

TABELA IV - SÉRIE HISTÓRICA UTILIZADA NO PROCESSO DE PREVISÃO

PERÍODO	CONSUMO EM UNIDADES/MÊS					
	SELCAL CONTROL PANEL	SPU	HPTCC VALVE	WINDOW #4	WINDOW #5	CABIN PRESSURE MODULE
jan/09	1,0000	0,0000	6,0000	0,0000	2,0000	2,0000
fev/09	2,0000	1,0000	7,0000	1,0000	5,0000	2,0000
mar/09	1,0000	1,0000	11,0000	1,0000	2,0000	4,0000
abr/09	1,0000	1,0000	2,0000	0,0000	0,0000	2,0000
mai/09	1,0000	5,0000	10,0000	1,0000	0,0000	2,0000
jun/09	1,0000	0,0000	11,0000	0,0000	2,0000	1,0000
jul/09	1,0000	3,0000	12,0000	1,0000	0,0000	4,0000
ago/09	5,0000	1,0000	14,0000	0,0000	1,0000	2,0000
set/09	1,0000	1,0000	7,0000	1,0000	1,0000	4,0000
out/09	1,0000	2,0000	15,0000	0,0000	0,0000	2,0000
nov/09	3,0000	3,0000	6,0000	1,0000	2,0000	3,0000
dez/09	1,0000	2,0000	8,0000	0,0000	2,0000	2,0000
jan/10	1,0000	1,0000	6,0000	0,0000	0,0000	1,0000
fev/10	3,0000	3,0000	6,0000	2,0000	1,0000	4,0000
mar/10	2,0000	0,0000	6,0000	1,0000	2,0000	4,0000
abr/10	0,0000	0,0000	9,0000	0,0000	1,0000	6,0000
mai/10	3,0000	0,0000	10,0000	1,0000	1,0000	3,0000
jun/10	4,0000	2,0000	4,0000	0,0000	0,0000	2,0000
jul/10	4,0000	0,0000	6,0000	2,0000	1,0000	2,0000
ago/10	0,0000	0,0000	5,0000	1,0000	0,0000	0,0000
set/10	3,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	3,0000
out/10	1,0000	2,0000	6,0000	1,0000	1,0000	3,0000
nov/10	1,0000	1,0000	6,0000	2,0000	1,0000	3,0000
dez/10	0,0000	2,0000	6,0000	0,0000	2,0000	2,0000
jan/11	0,0000	0,0000	9,0000	1,0000	0,0000	1,0000
fev/11	1,0000	0,0000	10,0000	3,0000	0,0000	4,0000
mar/11	6,0000	0,0000	4,0000	1,0000	0,0000	4,0000
abr/11	4,0000	4,0000	6,0000	0,0000	0,0000	6,0000
mai/11	0,0000	2,0000	9,0000	2,0000	0,0000	8,0000
jun/11	0,0000	0,0000	10,0000	1,0000	0,0000	1,0000
jul/11	1,0000	1,0000	4,0000	1,0000	1,0000	3,0000
ago/11	3,0000	2,0000	6,0000	1,0000	0,0000	4,0000
set/11	3,0000	2,0000	5,0000	3,0000	0,0000	7,0000
out/11	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	0,0000	1,0000
nov/11	0,0000	2,0000	6,0000	0,0000	2,0000	3,0000
dez/11	2,0000	3,0000	6,0000	0,0000	0,0000	1,0000
jan/12	2,0000	7,0000	6,0000	0,0000	0,0000	4,0000

TABELA V - SÉRIE HISTÓRICA UTILIZADA NO PROCESSO DE PREVISÃO

PERÍODO	CONSUMO UNIDADES/MÊS								
	Mês	ACM	APU BLEED VALVE	APU FUEL VALVE	APU START GENERATOR	FAN BLADE	CDU FMC	DRIVE WXR	FCC
jan/09	3,0000	1,0000	1,0000	6,0000	1,0000	4,0000	2,0000	6,0000	5,0000
fev/09	2,0000	2,0000	0,0000	1,0000	0,0000	3,0000	1,0000	2,0000	2,0000
mar/09	4,0000	2,0000	0,0000	5,0000	0,0000	6,0000	2,0000	3,0000	6,0000
abr/09	2,0000	1,0000	1,0000	3,0000	0,0000	2,0000	2,0000	1,0000	9,0000
mai/09	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	7,0000	3,0000	8,0000	4,0000
jun/09	1,0000	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	2,0000	2,0000
jul/09	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,0000	4,0000	1,0000
ago/09	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,0000	3,0000	3,0000	1,0000
set/09	0,0000	1,0000	1,0000	2,0000	0,0000	0,0000	2,0000	5,0000	1,0000
out/09	1,0000	6,0000	1,0000	1,0000	2,0000	4,0000	4,0000	1,0000	1,0000
nov/09	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	4,0000	2,0000	4,0000
dez/09	3,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	6,0000	3,0000	3,0000	5,0000
jan/10	2,0000	2,0000	8,0000	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6,0000	9,0000
fev/10	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	2,0000	2,0000
mar/10	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	7,0000	7,0000	4,0000	4,0000
abr/10	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	3,0000	6,0000
mai/10	2,0000	0,0000	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	8,0000
jun/10	2,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
jul/10	0,0000	1,0000	3,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,0000	6,0000
ago/10	0,0000	0,0000	5,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	3,0000	6,0000
set/10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,0000	2,0000	7,0000	3,0000
out/10	3,0000	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	4,0000	6,0000	4,0000
nov/10	1,0000	0,0000	0,0000	4,0000	2,0000	2,0000	2,0000	3,0000	2,0000
dez/10	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	5,0000	7,0000	7,0000
jan/11	3,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	3,0000	6,0000	2,0000
fev/11	2,0000	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000
mar/11	0,0000	0,0000	1,0000	7,0000	0,0000	1,0000	1,0000	4,0000	1,0000
abr/11	4,0000	4,0000	0,0000	2,0000	0,0000	5,0000	2,0000	2,0000	5,0000
mai/11	0,0000	0,0000	0,0000	4,0000	0,0000	1,0000	4,0000	6,0000	0,0000
jun/11	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	10,0000	3,0000	0,0000
jul/11	3,0000	3,0000	1,0000	0,0000	0,0000	2,0000	4,0000	0,0000	0,0000
ago/11	2,0000	2,0000	3,0000	0,0000	0,0000	2,0000	4,0000	1,0000	4,0000
set/11	4,0000	0,0000	0,0000	2,0000	0,0000	3,0000	0,0000	5,0000	8,0000
out/11	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	1,0000	3,0000	1,0000
nov/11	2,0000	2,0000	1,0000	0,0000	2,0000	2,0000	2,0000	6,0000	6,0000
dez/11	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,0000	3,0000	6,0000
jan/12	2,0000	2,0000	1,0000	3,0000	0,0000	0,0000	2,0000	12,0000	6,0000

TABELA VI - SÉRIE HISTÓRICA UTILIZADA NO PROCESSO DE PREVISÃO

PERÍODO		CONSUMO UNIDADES/MÊS									
Mês	FIRE DETECTOR	FMC COMPUTER	FUEL FLOW TRANSMITER	HI STAGE REGULATOR	FUEL NOZZLE	OXYGEN MASK	STARTER VALVE	TBV	VALVE	VBV ACTUATOR	WXR DRIVE
jan/09	3,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	4,0000	10,0000	2,0000	0,0000	1,0000
fev/09	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	1,0000
mar/09	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6,0000	0,0000	0,0000	1,0000
abr/09	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	2,0000	0,0000	1,0000	2,0000
mai/09	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8,0000	0,0000	0,0000	1,0000
jun/09	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,0000	3,0000	4,0000	0,0000	0,0000	5,0000
jul/09	4,0000	5,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	9,0000	0,0000	0,0000	1,0000
ago/09	1,0000	0,0000	0,0000	6,0000	6,0000	4,0000	2,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
set/09	4,0000	3,0000	0,0000	10,0000	10,0000	0,0000	0,0000	5,0000	0,0000	3,0000	6,0000
out/09	2,0000	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	9,0000	15,0000	0,0000	0,0000	0,0000
nov/09	0,0000	0,0000	1,0000	8,0000	8,0000	2,0000	13,0000	18,0000	1,0000	1,0000	2,0000
dez/09	0,0000	1,0000	1,0000	5,0000	5,0000	0,0000	4,0000	12,0000	0,0000	0,0000	2,0000
jan/10	1,0000	0,0000	1,0000	8,0000	8,0000	0,0000	1,0000	10,0000	0,0000	0,0000	2,0000
fev/10	2,0000	0,0000	5,0000	15,0000	15,0000	1,0000	9,0000	6,0000	0,0000	0,0000	2,0000
mar/10	4,0000	4,0000	5,0000	14,0000	14,0000	0,0000	2,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
abr/10	3,0000	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,0000	0,0000	1,0000	3,0000
mai/10	0,0000	0,0000	1,0000	10,0000	10,0000	8,0000	8,0000	8,0000	0,0000	0,0000	1,0000
jun/10	0,0000	0,0000	2,0000	12,0000	12,0000	0,0000	0,0000	2,0000	3,0000	3,0000	3,0000
jul/10	0,0000	0,0000	3,0000	9,0000	9,0000	2,0000	1,0000	6,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ago/10	0,0000	3,0000	2,0000	18,0000	18,0000	4,0000	8,0000	3,0000	0,0000	0,0000	2,0000
set/10	0,0000	0,0000	1,0000	15,0000	15,0000	1,0000	5,0000	7,0000	0,0000	0,0000	0,0000
out/10	4,0000	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	12,0000	0,0000	0,0000	4,0000
nov/10	1,0000	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,0000	3,0000	0,0000	0,0000	6,0000
dez/10	2,0000	2,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	15,0000	0,0000	0,0000	0,0000
jan/11	1,0000	0,0000	1,0000	12,0000	12,0000	8,0000	5,0000	18,0000	0,0000	2,0000	2,0000
fev/11	0,0000	0,0000	2,0000	18,0000	18,0000	1,0000	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	1,0000
mar/11	0,0000	0,0000	1,0000	13,0000	13,0000	3,0000	7,0000	6,0000	0,0000	0,0000	1,0000
abr/11	0,0000	4,0000	2,0000	6,0000	6,0000	12,0000	12,0000	9,0000	0,0000	0,0000	2,0000
mai/11	0,0000	0,0000	2,0000	9,0000	9,0000	0,0000	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	3,0000
jun/11	0,0000	0,0000	3,0000	17,0000	17,0000	0,0000	0,0000	3,0000	0,0000	0,0000	1,0000
jul/11	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	5,0000	2,0000	0,0000	0,0000	2,0000
ago/11	2,0000	0,0000	5,0000	15,0000	15,0000	0,0000	0,0000	5,0000	0,0000	0,0000	0,0000
set/11	1,0000	0,0000	4,0000	10,0000	10,0000	1,0000	8,0000	13,0000	0,0000	0,0000	0,0000
out/11	2,0000	0,0000	1,0000	9,0000	9,0000	5,0000	5,0000	10,0000	0,0000	4,0000	2,0000
nov/11	2,0000	2,0000	1,0000	4,0000	4,0000	0,0000	3,0000	4,0000	0,0000	0,0000	5,0000
dez/11	1,0000	0,0000	8,0000	2,0000	2,0000	0,0000	9,0000	8,0000	2,0000	2,0000	2,0000
jan/12	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	4,0000	3,0000	0,0000	0,0000	1,0000

ANEXO C: Valores reais de consumo das peças para o intervalo previsto.

TABELA I - CONSUMO REAL DAS PEÇAS DENTRO DO PERÍODO PREVISTO									
PERÍODO	CONSUMO DAS PEÇAS EM UNIDADES/MÊS								
	ADF CTL PANEL	AIRMIX VALVE	ALTERNATOR	ANTISKID AUTOBRAKE	AOA SENSOR	APU FIRE CTL MODULE	AURAL WARNING	AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	AUTO SLAT VALVE
fev/12	1	7	7	2	1	2	0	0	0
mar/12	0	4	3	5	3	1	0	1	0
abr/12	1	0	10	3	2	0	0	2	0
mai/12	1	0	6	1	3	0	1	1	0
jun/12	0	2	7	4	3	4	0	0	1
jul/12	2	1	9	5	4	1	0	0	1
ago/12	0	3	9	4	1	1	0	2	2
set/12	0	1	6	7	2	5	0	0	1
out/12	0	3	14	2	2	0	2	3	1
nov/12	0	0	7	11	1	1	0	0	0
dez/12	0	0	13	12	1	4	0	1	2

TABELA II - CONSUMO REAL DAS PEÇAS DENTRO DO PERÍODO PREVISTO									
PERÍODO	CONSUMO DAS PEÇAS EM UNIDADES/MÊS								
	BRAKE METERING MODULE	EAU	EFIS CRL PANEL	ELEVATOR FEEL COMPUTER	FIRST OFFICER SEAT	FUEL TEMP INDICATOR	HMU	LE SLAT ACTUATOR	ANTENNA MARKER BEACON
fev/12	2	4	3	0	0	0	0	3	4
mar/12	3	1	1	1	2	3	3	1	9
abr/12	0	2	3	2	1	1	1	2	13
mai/12	0	1	0	0	0	2	2	1	9
jun/12	0	0	0	2	2	1	1	1	9
jul/12	0	0	0	4	4	1	1	0	7
ago/12	0	0	9	2	2	0	0	0	6
set/12	0	1	4	0	0	1	1	1	10
out/12	2	0	3	0	0	0	0	0	7
nov/12	0	0	2	0	0	0	0	0	2
dez/12	0	1	7	0	0	0	0	0	7

TABELA III - CONSUMO REAL DAS PEÇAS DENTRO DO PERÍODO PREVISTO

PERÍODO	CONSUMO EM UNIDADES/MÊS								
	MODE CONTROL PANEL	HYDRAULIC MOTOR	NLG ASSY	ANTI SKID/AUTO BRAKE UNIT	OUT FLOW VALVE	PARKING BRAKE VALVE	POWER DRIVE UNIT	SCU 245	SCU 250
fev/12	0	0	1	1	0	1	0	2	2
mar/12	0	3	0	2	0	2	0	5	4
abr/12	0	2	0	1	0	2	0	3	7
mai/12	1	1	2	1	1	0	0	1	1
jun/12	0	1	0	1	0	1	1	4	3
jul/12	0	1	1	1	0	1	1	5	4
ago/12	0	0	0	2	0	1	2	4	6
set/12	0	1	0	2	0	2	1	7	4
out/12	2	0	2	1	2	4	1	2	1
nov/12	0	0	0	0	0	0	0	11	9
dez/12	0	0	0	0	0	0	2	2	2

TABELA IV - CONSUMO REAL DAS PEÇAS DENTRO DO PERÍODO PREVISTO

PERÍODO	CONSUMO DAS PEÇAS EM UNIDADES/MÊS					
	SELCAL CONTROL PANEL	SPU	HPTCC VALVE	WINDOW #4	WINDOW #5	CABIN PRESSURE MODULE
fev/12	2	2	2	1	2	2
mar/12	0	0	5	2	1	2
abr/12	0	0	3	1	1	4
mai/12	0	0	1	1	2	2
jun/12	1	1	4	1	1	2
jul/12	0	0	5	1	2	1
ago/12	0	0	4	2	1	4
set/12	1	1	7	1	0	2
out/12	2	2	2	0	0	4
nov/12	0	0	11	0	0	2
dez/12	1	1	2	0	2	3

ANEXO D: Parâmetros calculados para os erros na previsão nas metodologias de Croston, Winters, Poisson, Simple Exponential Smoothing (SES) e Wheighed Moving Average (WMA).

Descrição	Padrão de Demanda	CROSTON		
		MSE	MAE	MAPE
ADF CTL PANEL	Smooth	0,9907	0,8331	2,5300
AIR MIX VALVE	Lumpy	2,5475	1,3894	18,010
ALTERNATOR	Smooth	12,7806	3,2969	-10,4800
AOA SENSOR	Smooth	33,1619	4,9717	-134,5512
APU ENG FIRE CTL MOD	Smooth	5,5364	2,0161	4,4012
AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	Smooth	5,1124	1,9960	1,1890
AUTO SLAT VALVE	Smooth	1,1784	0,9604	28,2182
BRAKE METERING VALVE	Smooth	2,6508	1,4507	21,3856
BRAKE METERING MODULE	Smooth	4,5213	1,662	30,3099
CABIN PRESS MODULE	Smooth	1,4926	1,0219	19,3210
EAU	Smooth	4,2926	1,7359	-14,2636
EFIS CONTROL PANEL	Smooth	6,4642	1,8420	12,8189
ELEVATOR FEEL COMPUTER	Smooth	1,2707	0,7772	36,8238
FIRST OFICER SEAT	Smooth	16,9526	3,262	-79,2246
MARKER BEACON ANTENNA	Smooth	1,8022	1,0922	27,1403
FUEL TEMP INDICATOR	Smooth	2,0784	1,2015	32,6154
HMU	Errática	13,2937	3,4008	73,5621
HYDRAULIC MOTOR	Smooth	0,8137	0,7945	27,7196
LE SLAT ACTUATOR	Smooth	18,646	4,2402	80,9168
MODE CONTROL PANEL	Smooth	1,7333	1,0567	-15,3613
AURAL WARNING MODULE	Lumpy	7,5012	2,6620	21,1152
NLG ASSY	Smooth	1,3444	0,9944	46,1214
OUTFLOW VALVE	Smooth	1,0235	0,8027	18,6687
PARKING BRAKE VALVE	Smooth	6,6489	2,1416	-15,3872
POWER DRIVE UNIT	Smooth	0,6677	0,6898	28,4136
SCU 245	Smooth	9,1881	2,9402	76,7860
SELCAL PANEL	Smooth	2,5270	1,4214	31,3003
SCU 250	Smooth	1,6494	1,0591	13,2810
STARTER POWER UNIT	Smooth	1,5048	1,0178	22,3319
UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	Smooth	10,3369	2,6161	-18,87
VALVE HPTCC	Smooth	6,1221	1,6897	2,5260
WINDOW # 4	Smooth	1,1566	0,9518	27,0062
WINDOW # 5	Errática	1,9852	1,3358	78,8306

Descrição	Padrão de Demanda	WINTERS		
		Erro		
		MSE	MAE	MAPE
ADF CTL PANEL	Smooth	2,1040	1,1756	-29,3100
AIR MIX VALVE	Lumpy	4,4176	1,6422	-6,7051
ALTERNATOR	Smooth	32,6559	5,0816	-45,2200
AOA SENSOR	Smooth	37,3501	5,3559	-201,8343
APU ENG FIRE CTL MOD	Smooth	10,9286	2,8549	8,1764
AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	Smooth	23,9286	4,2405	289,4186
AUTO SLAT VALVE	Smooth	2,4532	1,4220	-238,2269
BRAKE METERING VALVE	Smooth	5,6638	1,9186	1301,6981
BRAKE METERING MODULE	Smooth	16,7081	3,6278	48,6078
CABIN PRESS MODULE	Smooth	3,3094	1,6123	-161,239
EAU	Smooth	11,8943	2,9192	16,5215
EFIS CONTROL PANEL	Smooth	9,9007	2,0317	-7,5599
ELEVATOR FEEL COMPUTER	Smooth	1,1651	0,8455	-16,5136
FIRST OFFICER SEAT	Smooth	12,3485	3,0964	7,1888
MARKER BEACON ANTENNA	Smooth	3,8758	1,5838	31,5973
FUEL TEMP INDICATOR	Smooth	3,7898	1,7091	203,1219
HMU	Errática	26,0225	4,6150	77,3825
HYDRAULIC MOTOR	Smooth	1,7757	1,1971	-140,6737
LE SLAT ACTUATOR	Smooth	13,8631	3,0879	253,1616
MODE CONTROL PANEL	Smooth	1,4700	1,0545	-109,0038
AURAL WARNING MODULE	Lumpy	N/A	N/A	N/A
NLG ASSY	Smooth	2,4272	1,3257	52,679
OUTFLOW VALVE	Smooth	1,6906	1,1572	-89,1733
PARKING BRAKE VALVE	Smooth	7,6552	2,3694	14,6833
POWER DRIVE UNIT	Smooth	1,3300	0,9968	-8795,3456
SCU 245	Smooth	6,8863	1,9861	-13,9739
SELCAL PANEL	Smooth	6,2291	2,2064	3532,309
SCU 250	Smooth	5,8550	1,7425	3682,8408
STARTER POWER UNIT	Smooth	11,0272	3,0172	59,7905
UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	Smooth	15,0143	3,3365	7,1400
VALVE HPTCC	Smooth	33,1328	4,6092	593,9161
WINDOW # 4	Smooth	1,6004	1,0345	3,0346
WINDOW # 5	Errática	1,0188	0,7028	178,0166

Descrição	Padrão de Demanda	POISSON		
		MSE	MAE	MAPE
ADF CTL PANEL	Smooth	1,0051	0,8588	5,8900
AIR MIX VALVE	Lumpy	2,4393	1,3814	-13,4100
ALTERNATOR	Smooth	15,5707	3,6514	-28,9000
AOA SENSOR	Smooth	32,0239	4,8559	-127,4238
APU ENG FIRE CTL MOD	Smooth	5,6881	2,2162	-12,7257
AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	Smooth	6,2222	2,1291	-54,1703
AUTO SLAT VALVE	Smooth	0,9877	0,8138	-0,2717
BRAKE METERING VALVE	Smooth	2,3924	1,3483	11,2344
BRAKE METERING MODULE	Smooth	3,2539	1,4054	13,6317
CABIN PRESS MODULE	Smooth	1,3658	1,0571	-12,1277
EAU	Smooth	5,2992	1,9355	-35,6923
EFIS CONTROL PANEL	Smooth	6,1229	1,5926	3,6443
ELEVATOR FEEL COMPUTER	Smooth	1,1478	0,6937	34,2213
FIRST OFICER SEAT	Smooth	15,5162	3,0834	-69,6981
MARKER BEACON ANTENNA	Smooth	1,5985	1,0601	13,4480
FUEL TEMP INDICATOR	Smooth	1,7288	1,1382	1,7205
HMU	Errática	2,6118	1,3483	43,4706
HYDRAULIC MOTOR	Smooth	0,6674	0,6757	2,6290
LE SLAT ACTUATOR	Smooth	10,327	3,1081	75,6578
MODE CONTROL PANEL	Smooth	2,1150	1,1892	-47,3828
AURAL WARNING MODULE	Lumpy	8,8889	2,4444	-133,3333
NLG ASSY	Smooth	0,7970	0,8000	16,6615
OUTFLOW VALVE	Smooth	1,0563	0,8815	-35,4251
PARKING BRAKE VALVE	Smooth	7,0429	2,1201	-27,0738
POWER DRIVE UNIT	Smooth	0,5441	0,5826	3,2660
SCU 245	Smooth	11,2571	3,2732	78,6433
SELCAL PANEL	Smooth	2,0550	1,3033	10,0679
SCU 250	Smooth	1,7666	1,1441	18,6794
STARTER POWER UNIT	Smooth	1,3508	0,9399	-24,8027
UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	Smooth	14,9907	3,2733	-41,8881
VALVE HPTCC	Smooth	7,5199	2,2672	16,8353
WINDOW # 4	Smooth	1,0624	0,8318	-32,6225
WINDOW # 5	Errática	0,6724	0,7838	58,8883

Descrição	Padrão de Demanda	SES		
		MSE	MAE	MAPE
ADF CTL PANEL	Smooth	9,4013	2,6388	52,6300
AIR MIX VALVE	Lumpy	2,7487	1,4486	23,8500
ALTERNATOR	Smooth	14,1254	3,5158	-19,2200
AOA SENSOR	Smooth	32,8009	4,9243	-132,251
APU ENG FIRE CTL MOD	Smooth	5,6139	2,0285	3,7029
AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	Smooth	N/A	N/A	N/A
AUTO SLAT VALVE	Smooth	1,0000	0,7778	-11,1111
BRAKE METERING VALVE	Smooth	2,3211	1,2628	0,5038
BRAKE METERING MODULE	Smooth	3,1074	1,3362	7,1443
CABIN PRESS MODULE	Smooth	5,4488	2,0552	-225,7823
EAU	Smooth	4,0281	1,6799	2,0452
EFIS CONTROL PANEL	Smooth	6,8348	1,8389	-11,4028
ELEVATOR FEEL COMPUTER	Smooth	13,1163	3,3787	70,3716
FIRST OFICER SEAT	Smooth	7,6124	2,1380	-17,2845
MARKER BEACON ANTENNA	Smooth	1,8159	1,059	-61,9892
FUEL TEMP INDICATOR	Smooth	13,8184	3,4497	72,3249
HMU	Errática	15,449	3,6169	74,1824
HYDRAULIC MOTOR	Smooth	0,6667	0,6667	0,0000
LE SLAT ACTUATOR	Smooth	23,1220	4,72030	82,3045
MODE CONTROL PANEL	Smooth	1,6949	1,0301	-10,5467
AURAL WARNING MODULE	Lumpy	13,2187	2,6843	-329,1872
NLG ASSY	Smooth	3,3881	1,5306	255,7195
OUTFLOW VALVE	Smooth	1,0037	0,8519	8,8814
PARKING BRAKE VALVE	Smooth	7,1351	2,4074	10,8162
POWER DRIVE UNIT	Smooth	0,5556	0,5556	11,1111
SCU 245	Smooth	37,0497	5,9039	86,2320
SELCAL PANEL	Smooth	2,0180	1,2779	-6,6009
SCU 250	Smooth	1,7028	1,0134	-26,3240
STARTER POWER UNIT	Smooth	52,7873	6,5794	72,8185
UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	Smooth	17,0981	3,3571	-53,5384
VALVE HPTCC	Smooth	6,8827	2,1323	-25,5421
WINDOW # 4	Smooth	10,836	2,9708	185,8309
WINDOW # 5	Errática	1,8940	1,0687	137,7768

Descrição	Padrão de Demanda	WMA		
		MSE	MAE	MAPE
ADF CTL PANEL	Smooth	1,0033	0,8565	5,59
AIR MIX VALVE	Lumpy	2,3987	1,3513	3,3000
ALTERNATOR	Smooth	12,6805	3,2745	-9,4900
AOA SENSOR	Smooth	32,6171	4,9166	-131,1049
APU ENG FIRE CTL MOD	Smooth	10,4917	2,4527	37,1481
AUTO BRAKE SHUTTLE VALVE	Smooth	6,4444	2,1627	-62,5752
AUTO SLAT VALVE	Smooth	1,0000	0,7778	-11,1111
BRAKE METERING VALVE	Smooth	2,3916	1,2738	-14,4048
BRAKE METERING MODULE	Smooth	3,1074	1,3362	7,1443
CABIN PRESS MODULE	Smooth	1,4896	1,0810	-31,0891
EAU	Smooth	4,0532	1,6781	-5,6215
EFIS CONTROL PANEL	Smooth	6,0995	1,4915	-0,6466
ELEVATOR FEEL COMPUTER	Smooth	1,1197	0,6731	33,546
FIRST OFICER SEAT	Smooth	7,6124	2,1380	-17,2845
MARKER BEACON ANTENNA	Smooth	1,8159	1,059	-61,9892
FUEL TEMP INDICATOR	Smooth	1,7451	1,1214	-11,8432
HMU	Errática	22,7697	4,5871	78,9609
HYDRAULIC MOTOR	Smooth	0,6667	0,6667	0,0000
LE SLAT ACTUATOR	Smooth	15,8541	3,8971	79,5789
MODE CONTROL PANEL	Smooth	1,6949	1,0301	-10,5467
AURAL WARNING MODULE	Lumpy	7,6382	2,5119	-45,1710
NLG ASSY	Smooth	0,7998	0,8107	-26,3524
OUTFLOW VALVE	Smooth	0,9572	0,8627	-16,9117
PARKING BRAKE VALVE	Smooth	12,8528	2,6993	-205,7691
POWER DRIVE UNIT	Smooth	0,5555	0,5556	11,0933
SCU 245	Smooth	9,3463	2,967	76,9473
SELCAL PANEL	Smooth	2,034	1,2946	5,8266
SCU 250	Smooth	4,9999	1,9199	48,1314
STARTER POWER UNIT	Smooth	3,372	1,6128	43,7714
UNIT ANTISKID/AUTOBRAKE	Smooth	10,9939	2,7389	-22,5838
VALVE HPTCC	Smooth	6,1966	1,808	-5,6095
WINDOW # 4	Smooth	1,0275	0,8073	-21,9126
WINDOW # 5	Errática	0,4458	0,5387	9,8124