

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AEROESPACIAL

MARCELA GUGLIELMONI BOGADO

MÉTODO DE ATUALIZAÇÃO DO VALOR DE CORTE PARA PEÇAS REPARÁVEIS:
UM ESTUDO DE CASO

Joinville
2022

MARCELA GUGLIELMONI BOGADO

MÉTODO DE ATUALIZAÇÃO DO VALOR DE CORTE PARA PEÇAS REPARÁVEIS:
UM ESTUDO DE CASO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Aeroespacial do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Janaína Renata Garcia

Joinville
2022

MARCELA GUGLIELMONI BOGADO

MÉTODO DE ATUALIZAÇÃO DO VALOR DE CORTE PARA PEÇAS REPARÁVEIS:
UM ESTUDO DE CASO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Aeroespacial, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 16 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Orientadora: Dra. Janaína Renata Garcia
Orientadora
Presidente

Prof. Dr. Marcos Alves Rabelo
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais por todo incentivo e apoio durante a realização da minha graduação e deste trabalho de conclusão de curso. Por acreditarem em mim e sempre me incentivarem a percorrer o caminho em busca dos meus objetivos.

Aos amigos que fiz durante a universidade e sempre estiveram presente na minha vida, me apoiando e incentivando a alçar voos cada vez maiores. Gostaria de agradecer especialmente ao Thomas Bradfield por ter sido meu maior companheiro durante essa jornada, sempre me entendendo e me ajudando a passar pelos momentos mais críticos. Sem você nada seria possível. Também agradeço a Amanda Remor por me fazer acreditar na minha capacidade de enfrentar os maiores desafios pelos quais me deparei e que eu nunca estarei sozinha. Muito obrigada.

Não menos importante, também agradeço à Sheron por todo o companheirismo durante a graduação e também à Andréia Larissa e a Laura Carolina, minhas veteranas que me acolheram quando cheguei em Joinville.

Aos ótimos professores que tive durante a graduação, principalmente à minha professora orientadora Janaína Renata Garcia, por ter me apoiado em relação aos estágios e principalmente durante a realização deste trabalho, sempre disposta à compartilhar seu conhecimento, fornecendo contribuições valiosas.

Por fim, agradeço à empresa onde realizei este estudo pelas oportunidades de aprendizado e crescimento profissional. Sou grata principalmente ao meu gestor por todos os ensinamentos e por me apoiar e aconselhar durante a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho está inserido no contexto de ciclo de vida do produto e da cadeia de suprimentos e o estudo de caso foi realizado em uma empresa que apresenta uma complexa cadeia de suprimentos. O valor de corte é um número de referência utilizado para reclassificar as peças entre reparáveis e descartáveis, independente da classificação atribuída pela engenharia técnica. A desatualização deste valor implica diretamente na forma que será realizado o planejamento do material para estoque, podendo gerar complexidade desnecessária na gestão de itens reparáveis. Tendo em vista este cenário, foi realizado um estudo de caso em uma empresa fabricante de aeronaves e o presente trabalho objetiva propor uma metodologia para a convergência a um valor de corte global para distinguir as peças de reposição reparáveis das descartáveis. Para isso, foi realizada análise estatística da base de dados de custos de reparo técnico da empresa e a composição de custos de reparo, frete logístico, impostos internacionais e taxas de operações no armazém permitiu a convergência ao valor de corte global. Por fim, este trabalho apresenta um comparativo entre o novo valor de corte global gerado e o utilizado atualmente pela empresa estudada, demonstrando a importância da utilização de uma base de dados representativa para minimizar erros amostrais.

Palavras-chave: Valor de Corte. Peças de Reposição. Planejamento. Aeronaves.

ABSTRACT

This paper is inserted in the context of product life cycle and supply chain and the case study was carried out in a company that presents a complex supply chain. The Cutoff value is a reference number used to reclassify repairable components to expendable, regardless the Spare Parts Engineering classification. The outdatedness of this value implies directly in the way that the planning of the material for inventory will be carried out, and may generate unnecessary complexity in the management of repairable items. In view of this scenario, a case study was conducted in an aircraft manufacturing company and the present work aims to propose a methodology for the convergence to a global cutoff value to distinguish repairable spare parts from disposable ones. For this, statistical analysis of the company's technical repair costs database was performed and the composition of repair costs, logistic freight, international taxes and warehouse operation fees allowed the convergence to the global cutoff value. Finally, this paper presents a comparison between the new global cutoff value generated and that currently used by the studied company, demonstrating the importance of using a representative database to minimize sampling errors.

Keywords: Cutoff Value. Spare Parts. Planning. Aircrafts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases do ciclo de vida do produto em relação ao volume de vendas.	16
Figura 2 – Custo do ciclo de vida de uma aeronave.	17
Figura 3 – Procedimento padrão de remoção de válvula de carregamento do amortecedor descrito no AMM.	19
Figura 4 – Incidência dos fatores contribuintes em acidentes aeronáuticos.	20
Figura 5 – Modelos de manutenção aeronáutica.	22
Figura 6 – Tipos de serviços realizados por uma empresa MRO.	24
Figura 7 – Estrutura da cadeia de suprimentos integrada.	25
Figura 8 – Cadeia de suprimentos de peças sobressalentes reparáveis.	27
Figura 9 – Etapas do desenvolvimento do método de valor de corte.	30
Figura 10 – Estrutura organizacional antecedente à área de Planejamento de Peças de Reposição.	33
Figura 11 – Fluxograma do setor de planejamento de peças de reposição.	34
Figura 12 – Posicionamento global dos centros de distribuição, oficinas de reparo e clientes adotados no modelo.	36
Figura 13 – Estrutura de movimentação entre centros de distribuição, clientes e oficina de reparo.	37
Figura 14 – Percentual de peças por ATA.	40
Figura 15 – Percentual de peças por intervalo de custo de aquisição.	41
Figura 16 – Quantidade de peças por intervalo da relação entre custo de reparo técnico e custo de aquisição.	42
Figura 17 – Exemplificação do gráfico de dispersão para a base de dados completa.	43
Figura 18 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 1.	48
Figura 19 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 2.	48
Figura 20 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 3.	49
Figura 21 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 4.	49
Figura 22 – Comparação dos custos de reparo técnico de material com custo de aquisição \$2.000,00 por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para os quatro intervalos amostrais.	51
Figura 23 – Exemplificação da convergência ao valor de corte para os EUA por meio do terceiro quartil e para a amostra de \$0,00 à \$20.000,00	54

Figura 24 – Dispersão dos dados utilizada no modelo A. 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – ATAs presentes no AIPC.	35
Tabela 2 – Custo médio de frete logístico entre regiões.	38
Tabela 3 – Custos de movimentação no armazém.	39
Tabela 4 – Custos de taxas internacionais.	39
Tabela 5 – Quantidade de peças em cada intervalo de custo de aquisição considerado.	43
Tabela 6 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 1.	44
Tabela 7 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 2.	44
Tabela 8 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 3.	44
Tabela 9 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 4.	44
Tabela 10 – Regressões mais adequadas para cada amostra.	45
Tabela 11 – Modelo de regressão que será utilizado neste trabalho.	46
Tabela 12 – Terceiro quartil para cada intervalo.	46
Tabela 13 – Percentil 95 para cada amostra.	47
Tabela 14 – Comparação entre as equações que regem a relação entre custo de aquisição e reparo técnico para cada amostra e para cada modelo.	50
Tabela 15 – Variação do custo de reparo técnico em cada método para cada amostra em relação à base de dados completa.	52
Tabela 16 – Descrição das atividades consideradas no modelo.	53
Tabela 17 – Atividades pertencentes a cada fluxo logístico.	53
Tabela 18 – Custos de frete, impostos internacionais e armazém para cada região.	53
Tabela 19 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$2.000,00.	54
Tabela 20 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$20.000,00.	55
Tabela 21 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$3.000,00 à \$20.000,00.	55
Tabela 22 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a base de dados completa que varia de \$0,00 à \$1.041.650,00.	55
Tabela 23 – Percentual de demanda de peças por região.	56
Tabela 24 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$2.000,00 (amostra 1).	56

Tabela 25 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$20.000,00 (amostra 2).	56
Tabela 26 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$3.000,00 à \$20.000,00 (amostra 3).	57
Tabela 27 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a base de dados completa que varia de \$0,00 à \$1.041.650,00 (amostra 4).	57
Tabela 28 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 1.	60
Tabela 29 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 2.	60
Tabela 30 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 3.	60
Tabela 31 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 4.	60
Tabela 32 – Custo médio de frete logístico entre regiões utilizado no modelo A. .	62
Tabela 33 – Comparação entre o valor de corte local da amostra que varia de \$0,00 à \$2.000,00 calculado via regressão linear para cada modelo.	63
Tabela 34 – Comparação entre o valor de corte global da amostra que varia de \$0,00 à \$2.000,00 calculado via regressão linear para cada modelo.	64
Tabela 35 – Comparação entre as equações lineares utilizadas para o cálculo do valor de corte para a amostra 1 no modelo A e B.	64
Tabela 36 – Comparação entre os modelos estatísticos.	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VC	Valor de corte
SPC	Spare Parts Classification
ATA	Air Transport Association
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
AMM	Aircraft Maintenance Manual
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
SCM	Supply Chain Management
R/A	Razão entre custo de reparo técnico e custo de aquisição
R^2	Coeficiente de determinação
Q3	Terceiro quartil
P95	Percentil 95
AIPC	Aircraft Illustrated Parts Catalog
ITEM	Illustrated Tool Equipment Manual
SB	Service Bulletin
GSE	Ground Support Equipment
CR	Custo de reparo técnico
CA	Custo de aquisição
PME	Prejuízo médio esperado
VM	Valor médio
PMV	Prejuízo médio esperado ponderado pelo volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	Estrutura do trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Ciclo de vida do produto	15
2.1.1	Ciclo de vida de aeronaves	16
2.2	Manutenção Aeronáutica	17
2.3	Cadeia de Suprimentos	25
2.3.1	Definição da Cadeia de Suprimentos	25
2.3.2	Cadeia de suprimentos de peças de reposição da indústria aeronáutica	26
3	METODOLOGIA	29
3.1	Desenvolvimento do método de atualização de valor de corte	29
4	ESTUDO DE CASO - CÁLCULO DO VALOR DE CORTE	32
4.1	A Empresa	32
4.1.1	Estrutura organizacional	32
4.1.2	Planejamento de peças de reposição	33
4.1.2.1	Manuais de manutenção	34
4.2	Etapas da Implementação	35
4.3	Modelo logístico global para a aviação executiva	36
4.4	Custos logísticos	37
4.5	Custos de movimentação no armazém	38
4.5.1	Custos de taxas internacionais	39
4.5.2	Custos de aquisição e reparo técnico	39
4.5.3	Cálculo do valor de corte para peças de reposição da aviação executiva	42
4.5.3.1	Relação entre custo de reparo técnico e aquisição	42
5	ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	Análise dos resultados obtidos	59
5.2	Comparação do valor de corte gerado com o valor utilizado atualmente pela empresa	61

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A manutenção eficiente deve estar presente nas operações de engenharia e a adoção de diretrizes de gestão auxiliam diretamente para que as empresas atinjam seus objetivos, norteadas as decisões dia a dia. Um sistema de manutenção ajuda a compreender o ciclo de vida do produto, melhorando a disponibilidade dos equipamentos e mantendo-os em perfeito funcionamento (KNOTTTS, 1999).

Para atender as atividades de manutenção e suportar as aeronaves em operação, as empresas devem realizar uma gestão de estoque eficiente com objetivo de manter as peças de reposição armazenadas e disponíveis quando necessárias, pois, caso ocorra atraso no fornecimento dos componentes necessários, os custos de estacionamento das aeronaves podem atingir dezenas de milhares de dólares (BEATA; KOT, 2018).

De acordo Kennedy, Patterson e Fredendall (2002), os estoques de peças de reposição se diferenciam dos outros tipos de estoque da manufatura, já que as funções e as políticas que regem os estoques são diferentes. Os estoques de peças de reposição auxiliam a equipe de manutenção a manter a operação, e os níveis de estoque dependem de como o equipamento é utilizado.

Segundo Beata e Kot (2018), as peças de reposição podem ser divididas entre descartáveis e reparáveis. As peças descartáveis são compostas por elementos químicos, plásticos ou metálicos e adquiridas de fornecedores de manutenção. Já as reparáveis são peças que, ao ser submetida a alguma falha, podem tecnicamente retornar ao fabricante para ser reparada em oficinas habilitadas.

De acordo com a empresa deste estudo de caso, que, por questões de sigilo, será denominada "empresa X" neste trabalho, além do critério técnico utilizado para separar esses dois tipos de peças sobressalentes, para que seja possível realizar as manutenções, entregando o nível de serviço desejado, é necessário que uma análise de viabilidade econômica também seja realizada. A importância de atualizar o valor de corte para as peças de reposição deve-se à gestão e planejamento distintos e requisitos financeiros.

Como a empresa foco deste estudo possui duas gestões de suporte de materiais, sendo uma destinada ao planejamento dos itens reparáveis e outra aos descartáveis, é fundamental que os itens estejam classificados corretamente. Além disso, o valor de corte também define a maneira com a qual ocorrerá o planejamento, já que estes dois grupos de peças são planejados de maneiras distintas.

Para as peças reparáveis, é importante destacar a necessidade da logística reversa. Segundo Souza e Fonseca (2009), a logística reversa é o procedimento do

planejamento, implementação e controle da eficiência e custo do fluxo de matérias-primas, estoques, produtos acabados e as informações correlacionadas do ponto do consumo ao ponto de origem com o propósito de recapturar valor ou para uma disposição apropriada. E, segundo a empresa de consultoria GO4! (2022), o tema de sustentabilidade está cada vez mais presente nas grandes empresas, garantindo competitividade e maior investimento externo.

Dessa forma, a partir da logística reversa, as metas de sustentabilidade são influenciadas pela adequação correta das peças aeronáuticas, uma vez que quanto maior a quantidade de itens reparáveis, melhor será o indicador de sustentabilidade da organização. Porém, esta pesquisa também permitirá o entendimento da complexidade envolvida no gerenciamento do reparo com análise qualitativa para futura ação estratégica.

Quanto aos requisitos financeiros, é interessante que a ação que gere maior lucro seja realizada, dessa forma, uma peça classificada incorretamente pode gerar prejuízo financeiro à empresa. Com isso, a alocação correta dos grupos de peças permitirá à empresa estudada diminuir gastos indevidos com reparo, fretes logísticos, custos de operação no armazém e taxas internacionais.

Portanto, segundo à empresa deste estudo de caso, através da análise de toda a cadeia global de suprimentos envolvida, com os respectivos custos de reparo, fretes logísticos, operações nos armazéns e taxas internacionais, é possível atualizar o valor de corte utilizado no momento presente por esta empresa e assim reclassificar as peças entre reparáveis e descartáveis.

Para isso, é necessário embasamento teórico sobre manutenção aeronáutica e cadeia de suprimentos, análise estatística dos custos de reparo técnico e adoção de premissas para os outros custos envolvidos. E, por meio da composição de custos, é possível convergir ao valor de corte global proposto para ser utilizado em todas as regiões onde a empresa atua.

Considerando isso, propõe-se desenvolver um método baseado em custos e determinar o valor de corte global para selecionar as peças reparáveis utilizadas em aeronaves executivas, distinguindo-as das descartáveis.

Para tanto, será realizado um estudo de caso, que segundo Cauchick (2007, p. 219) pode ser definido como "uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), para que permita o seu amplo e detalhado conhecimento". O objetivo deste estudo é aprofundar o entendimento sobre um problema, estimulando a compreensão e desenvolvendo hipóteses (CAUCHICK, 2007).

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um método de atualização de valor de corte para peças reparáveis que auxilie na tomada de decisão de compra ou reparo das peças de reposição aeronáuticas em uma empresa multinacional fabricante de aeronaves.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Relacionar os conceitos fundamentais de cadeia de suprimentos e manutenção aeronáutica em uma empresa fabricante de aeronaves;
- Caracterizar fatores que influenciam no valor das peças de reposição aeronáuticas;
- Analisar a base de dados dos custos de reparo técnico;
- Comparar o valor de corte global proposto com o utilizado atualmente pela empresa;
- Avaliar os resultados obtidos e propor método e valor de corte global para tomada de decisão.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em seis capítulos. O primeiro é composto pela contextualização do tema, com a evidência da problemática de estudo, justificativa, metodologia e objetivos gerais e específicos.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, que retoma a problemática e serve de apoio para os conceitos utilizados neste trabalho. Os tópicos abordados são: custo do ciclo de vida de uma aeronave, manutenção aeronáutica e cadeia de suprimentos.

Já o terceiro capítulo descreve a metodologia estruturada para se compreender as etapas do processo de pesquisa e desenvolvimento do trabalho.

O quarto capítulo aborda o estudo de caso aplicado em uma empresa do setor aeronáutico, detalhando o processo de convergência ao valor de corte global para peças reparáveis e escolha do método estatístico.

No quinto capítulo são realizadas análises e discussões dos resultados obtidos e a confirmação do método proposto. A comparação deste estudo com o modelo utilizado atualmente pela empresa também pode ser vista neste tópico.

Ao final, o último capítulo abrange as considerações finais a respeito do valor de corte global proposto e do método utilizado e também sugere estudos futuros para possível implementação na organização.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos da manutenção aeronáutica, incluindo a definição de tipos de manutenção e empresas que realizam as manutenções nas aeronaves. Em seguida, é realizada a definição de cadeia de suprimentos e são destacados os processos mais relevantes para a empresa deste estudo de caso.

2.1 CICLO DE VIDA DO PRODUTO

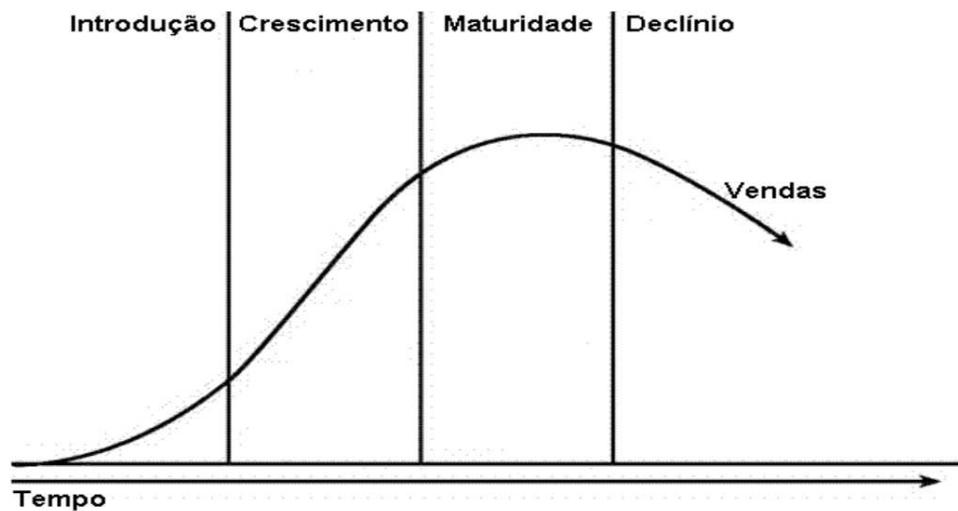
De acordo com Romeiro (2006), o ciclo de vida de um produto passa por quatro etapas de desenvolvimento: introdução, crescimento, maturação e declínio. A primeira etapa caracteriza-se pelo lançamento do produto no mercado e, nesta etapa, os preços costumam ser mais altos em razão da baixa produtividade e custos tecnológicos de produção e as margens de lucro são baixas em função do valor que o mercado se dispõe a pagar.

Ainda segundo o autor, a etapa de crescimento tem início quando a demanda pelo produto aumenta, ampliando as vendas também. Na fase de maturação, ocorre o ponto alto do ciclo de vida de um produto e a taxa de crescimento das vendas diminui, tendendo à estabilização, já que o consumidor se acostumou com o produto e começa a pressionar por redução de preços. Nesta etapa, as vendas brutas se mantêm no nível do crescimento do mercado.

Por fim, a etapa de declínio marca o processo de desaparecimento do produto no mercado em função da diminuição insustentável nas vendas. A velocidade deste declínio depende de características do produto, que, se forem de alta tecnologia, tendem a decair mais rapidamente.

A ilustração do conjunto de estágios que todo produto percorre durante seu ciclo de vida, a partir do projeto e concepção até o momento de declínio, no qual ele é retirado do mercado pode ser visto na figura 1.

Figura 1 – Fases do ciclo de vida do produto em relação ao volume de vendas.



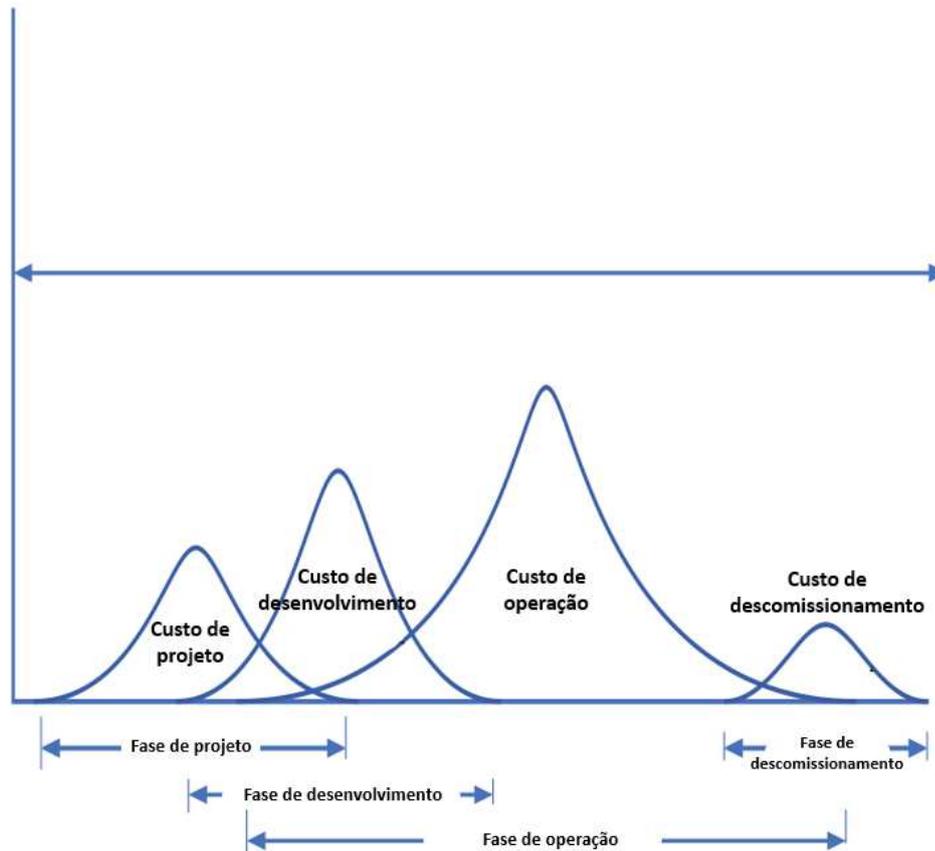
Fonte: Romeiro (2006, p. 29).

2.1.1 Ciclo de vida de aeronaves

Segundo Mofokeng, Mativenga e Marnewick (2020), o ciclo de vida de uma aeronave é dividido em fases de projeto, produção, operação e descomissionamento. A fase de operação consiste no gerenciamento do uso de aeronaves e envolve manutenção e reparo. Cada aeronave pode falhar de forma diferente dependendo de seu projeto inerente e como ele é operado.

Dessa forma, diferentemente da fase de projeto, fabricação e desativação, a fase operacional é mais crítica porque seu custo é imprevisível. O processo de manutenção tem como foco melhoria da confiabilidade da aeronave e a redução do custo de manutenção durante a fase operacional. A figura 2 ilustra as diferentes fases do ciclo de vida e os respectivos custos em cada estágio, evidenciando o maior custo durante a fase operacional (MOFOKENG et al., 2020).

Figura 2 – Custo do ciclo de vida de uma aeronave.



Fonte: Adaptado de Mofokeng et al. (2020, p. 468).

E é possível notar o alto custo durante a fase de desenvolvimento, que segundo Johnson (1990) compreende a etapa de pesquisa, testes e avaliação da aeronave e o menor custo associado ao descomissionamento, que, de acordo com Mofokeng et al. (2020) envolve o descarte seguro ou a reciclagem da aeronave.

2.2 MANUTENÇÃO AERONÁUTICA

A manutenção das aeronaves ocorre durante a fase operacional do seu ciclo de vida e a eficácia do sistema do avião depende do planejamento de manutenção, disponibilidade de peças sobressalentes, treinamento de pessoal e apoio logístico (Mofokeng et al., 2020). Portanto, o gerenciamento da manutenção destes veículos torna-se eficaz ao proporcionar alto desempenho, segurança e disponibilidade de peças.

Dessa forma, a manutenção é de extrema importância para garantir bom funcionamento e prolongar a vida útil das peças. Tsang (2000) define manutenção como: "Todas as atividades que ajudam a manter ou restaurar um item ao estado físico considerado necessário para manter sua função produtiva."(p. 10). e reconhece a função da manutenção como: "Todas as decisões de engenharia e ações associadas, necessárias e suficientes para otimização da capacidade especificada."

Considerando as particularidades da aviação, Kinnison (2012) define manutenção como: "O processo de assegurar que um sistema realiza continuamente a função que se pretende dele, nos níveis de confiabilidade e segurança para os quais foi projetado."

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2022), entende-se por manutenção aeronáutica qualquer atividade de inspeção, revisão, reparo, limpeza, conservação ou substituição de partes de uma aeronave e seus componentes, como reparo de válvulas de pressão e revisão do trem de pouso. Por determinação dos órgãos reguladores do setor aéreo, a manutenção deve ser realizada conforme o manual do fabricante, que contém os procedimentos para a realização de cada tarefa de manutenção.

Os manuais de manutenção são desenvolvidos pelas empresas fabricantes de aeronaves e as tarefas de manutenção programada ou não programada estão dispostas no Aircraft Maintenance Manual (AMM) próprio de cada empresa. Para fins de exemplificação, a figura 3 ilustra o AMM da empresa X para o procedimento padrão para a tarefa de remoção da válvula de carregamento do amortecedor.

No lado esquerdo da imagem, as tarefas são divididas em capítulos e subcapítulos, sendo cada capítulo responsável por um sistema da aeronave, enquanto os subcapítulos pelos subsistemas da mesma. É com base nesse manual que os mecânicos autorizados realizam as tarefas. Nenhum serviço pode ser realizado diretamente na aeronave sem a consulta ao manual. (RABELLO, 2011).

Figura 3 – Procedimento padrão de remoção de válvula de carregamento do amortecedor descrito no AMM.

- (1) Do the procedure to make the aircraft safe for maintenance (AMM TASK 20-00-00-910-801-A/200).
- (2) Make sure that the landing gears are locked in the down position and the safety pins are installed (AMM TASK 32-00-00-910-801-A/200).

SUBTASK 863 - 001 - A

- (3) Release the pressure from the hydraulic system (AMM TASK 29-10-00-910-801-A/200).

SUBTASK 580 - 001 - A

- (4) Lift the aircraft on jacks (AMM TASK 07-10-00-580-801-A/200).

SUBTASK 860 - 001 - A

- (5) Open this circuit breaker and put a circuit breaker ring-and-tag on it:
 - HYD PUMP (DC BUS 2/RHCBP)

H. Shock-Absorber Charging Valve - Removal (Figure 402)

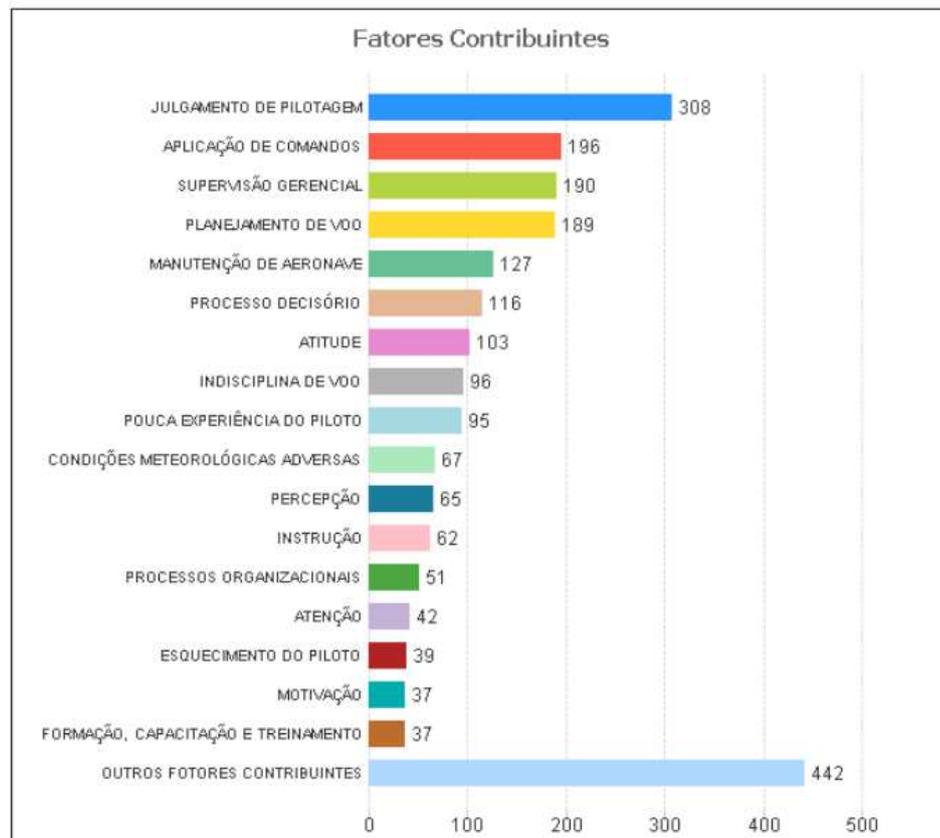
SUBTASK 020 - 003 - A (Figure 402)

- (1) Remove the cap (3) from the charging valve (1).
- (2) Slowly open the swivel nut (4) to release the pressure from the NLG shock absorber.
- (3) If necessary, remove the sealant around the charging valve (1) (SRM PART 2 51-21-07).
- (4) Remove the lockwire (2) from the charging valve (1).
- (5) Use a torque wrench to apply a torque of 5.6 to 7.9 N.m (50 to 70 lb.in) to the swivel nut (4) before you remove the charging valve (1).
- (6) Remove the charging valve (1) from the shock absorber.

Fonte: Empresa X (2022).

O cumprimento das atividades propostas nos manuais de manutenção está diretamente relacionado à segurança da aeronave e, de acordo com o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos CENIPA (2020), desastres aeronáuticos entre 2010 e 2019 envolvendo falta de manutenção aeronáutica adequada e completa está entre as cinco maiores causas de acidentes aéreos, sendo erros associados à condução da aeronave (julgamento de pilotagem) o maior fator contribuinte para acidentes aéreos (Figura 4).

Figura 4 – Incidência dos fatores contribuintes em acidentes aeronáuticos.



Fonte: CENIPA (2020, p. 28).

Dessa forma, é evidente que após a fabricação, para manter a aeronave em ótimas condições de operação, a manutenção dos seus sistemas complexos é de extrema importância para evitar acidentes catastróficos (LIMA; PAZ, 2018). Sendo assim, as empresas envolvidas na fabricação, operação e manutenção das aeronaves devem colocar as medidas de segurança em primeiro lugar, o que é crucial para manter a reputação dessas organizações (MARCUIZZO, 2008).

De acordo com Marcuzzo (2008), por serem máquinas muito complexas, as aeronaves exigem que o procedimento de manutenção seja consistente, com averiguações regulares já que qualquer mínima peça fora de condições ideais de operação pode colocar a vida dos passageiros em perigo.

Segundo Mofokeng et al. (2020), os serviços de manutenção de aeronaves incluem verificações A, verificações C, verificações D e verificações diárias de manutenção. A verificação A consiste na inspeção visual do interior e exterior da aeronave é realizado quinzenalmente ou mensalmente, envolvendo verificação e manutenção de óleo, substituição de filtro, lubrificação, testes operacionais e inspeção. Verificação de manutenção é realizado no hangar durante o período noturno com duração de dez horas por aeronave.

As verificações C incluem inspeções de sistemas funcionais e operacionais,

limpeza e manutenção de sistemas de aeronaves e pequenas inspeções estruturais. As verificações C são realizadas no hangar de doze a vinte meses e dependem do tipo de aeronave, ciclos de voo, horas de voo e tempo de calendário (MOFOKENG et al., 2020).

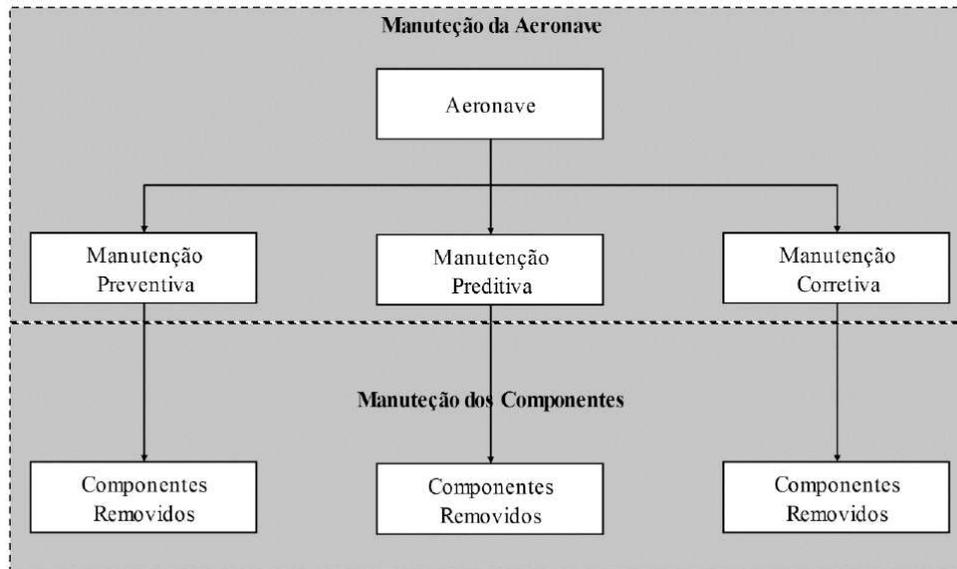
De acordo com Mofokeng et al. (2020), horas de voo referem-se ao número real de horas voadas pela aeronave durante um período específico a partir do tempo em que levanta as rodas do solo durante a decolagem até o momento as rodas tocam o solo durante o pouso. Já os ciclos de vôo incluem corridas de decolagem e pouso, ou seja, o tempo total desde a partida do motor até qualquer condição de vôo e terminando no desligamento do motor. E, o tempo de calendário segue os dias corridos entre manutenções programadas.

Já a verificação D inclui decapagem da pintura externa da aeronave, remoção de painéis, inspeção de estrutura da fuselagem, asas, trens de pouso, motores e itens estruturalmente mais significativos. Durante a verificação D, muitos dos componentes internos da aeronave são inspecionados, revisados e consertados e esta verificação é realizada no hangar com periodicidade de seis a doze anos e também depende do tipo de aeronave, ciclos de combate, horas de voo e tempo de calendário (MOFOKENG et al., 2020).

Ainda segundo Mofokeng et al. (2020), além das verificações acima, as verificações diárias de manutenção envolvem manutenção de rotina, que inclui inspeção, pequenos reparos e manutenção. As verificações diárias de manutenção são realizadas no portão antes do primeiro voo ou em cada parada quando a aeronave está em trânsito. O tempo dessa manutenção tem duração de tipicamente uma hora.

De acordo com Machado, Urbina e Eller (2015) as atividades de manutenção de aeronaves englobam três tipos de manutenção: preventiva, preditiva e corretiva (Figura 5).

Figura 5 – Modelos de manutenção aeronáutica.



Fonte: Machado et al. (2015, p. 246).

Segundo Machado et al. (2015), a manutenção preventiva é o conjunto de atividades que tem como objetivo substituir componentes ou subsistemas antes que venham a falhar. Por definição, “uma falha é o término da capacidade de um equipamento desempenhar a função requerida” (ABNT NBR 5462, 1994). Portanto, as etapas desse tipo de manutenção são planejadas de acordo com horas de voo, ciclos de voo e tempo de calendário e uma ação é realizada antes do surgimento do problema. Nesse contexto, este tipo de manutenção é ideal para itens cuja taxa de falha é crescente de acordo com o uso (GLASSER, 1969).

Estas tarefas de manutenções preventivas são aplicadas quando o padrão de desgaste do item é conhecido e a política de substituição da peça antes que atinja seu tempo de vida é eficaz se o custo de substituição do componente antes que a falha ocorra for menor que o custo de substituição após a ocorrência da falha (CAVALCANTE, 2005).

Já a manutenção corretiva significa deixar os equipamentos operarem até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento e é possível dividi-la entre manutenção corretiva não planejada e planejada (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). A primeira se caracteriza pela correção da falha emergencial, sem acompanhamento prévio. A segunda ocorre quando, após realizar a viabilidade de custos, é decidido previamente operar até que o item falhe, fazendo acompanhamento preditivo (OLIVEIRA; CINTRA; GOMES, 2020).

Então, diferentemente da preventiva, a manutenção corretiva atua após o surgimento da falha, ou seja, é iniciada por falhas técnicas, defeitos relatados e falhas identificadas durante a inspeção da aeronave (Mofokeng et al., 2020). Na maioria

dos casos, a manutenção corretiva acaba sendo mais custoso à organização. O custo associado à um reparo corretivo é em média três vezes maior do que quando é realizada tarefas programadas ou preventivas e estes custos altos podem ser associados ao estoque de peças sobressalentes (COSTA, 2013).

Por fim, através do monitoramento constante, a manutenção preditiva possui como objetivo antecipar e encontrar o motivo da possível falha. Segundo Otani e Machado (2018), este tipo de manutenção utiliza do acompanhamento contínuo de indicadores para identificar se há necessidade de intervenção no processo. Desse modo, é possível prever falhas com antecedência e reduzir riscos de acidentes. De acordo com Machado et. al (2015), através do acompanhamento do sistema, é possível verificar a tendência da falha funcional do equipamento acontecer.

Segundo Tracht, Niestegge e Schuh (2013), para a garantia da aeronavegabilidade, os operadores de aeronaves são obrigados a substituir as peças de reposição designadas periodicamente. Este conjunto de peças sobressalentes precisa ser trocado após um número predefinido de horas de voo e/ou tempo de calendário, mesmo que não estejam defeituosas.

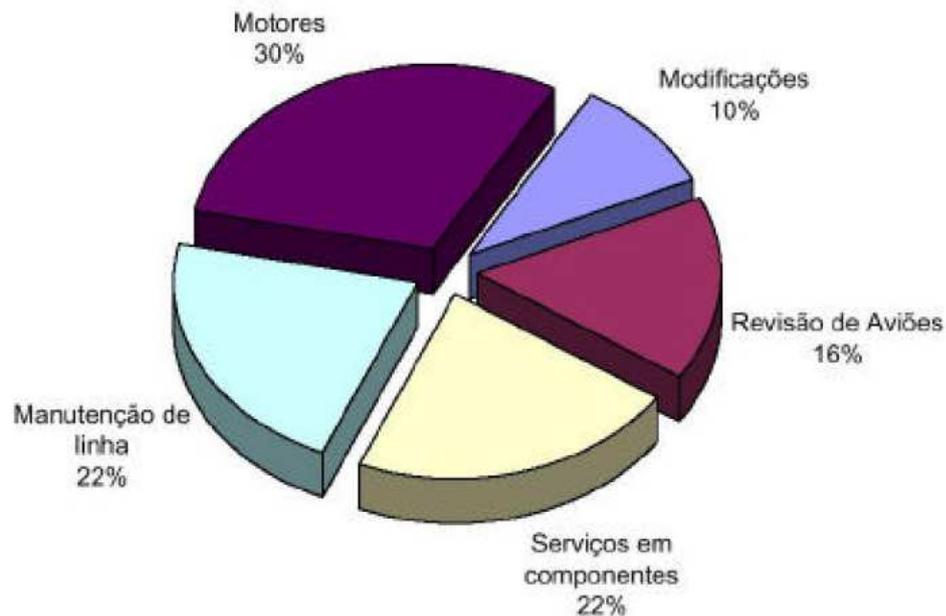
No caso de manutenções programadas, o tipo e o número de peças de reposição são conhecidos. As demandas programadas não são críticas em termos de tempo e número para o planejamento de materiais. Já a manutenção corretiva é baseada em mudanças não programadas, que arriscam a disponibilidade das aeronaves (TRACHT et al., 2013).

E, para maximizar a utilização das aeronaves e evitar a perda de receita dos operadores, as peças de reposição precisam estar disponíveis em tempo hábil, sempre que houver demanda, pois os materiais defeituosos precisam ser substituídos para atender às normas regulamentadoras. Portanto, é necessário um nível de estoque de peças sobressalentes adequado para atender a todas as demandas de material futuras (TRACHT et al., 2013).

De acordo com Machado, Urbina e Eller (2010), as atividades de manutenção em aeronaves devem ser realizadas por empresas certificadas e no Brasil esta certificação é emitida pela ANAC. Dessa forma, existem empresas especializadas em serviços de manutenção, reparo e revisão geral de aeronaves, denominadas empresas MRO (Maintenance, Repair and Overhaul).

As empresas MRO podem executar desde simples reparos em alguns componentes até reparos mais complexos nas estruturas das aeronaves, dependendo da certificação (MORONI, 2003). Os serviços realizados por uma típica MRO de aeronaves podem ser vistos na Figura 6.

Figura 6 – Tipos de serviços realizados por uma empresa MRO.



Fonte: Moroni (2003, p. 15).

De acordo com Moroni (2003), as modificações constituem qualquer tipo de alteração realizada no projeto original da aeronave, requisitadas pelo cliente ou pelo fabricante. Os serviços de manutenção de linha ocorrem dentro aeroportos, durante o trânsito das aeronaves e com a finalidade de deixar o equipamento pronto para a próxima decolagem, realizando atividades de verificação rápida na aeronave quanto a desgaste dos pneus, impacto de pássaros e outros serviços do gênero (ABEAR, 2019). Os motores e componentes são revisados em oficinas especializadas com certificação específica para tais tarefas. Por fim, a revisão das aeronaves compreendem todos os serviços estruturais, fuselagem, asas e outros elementos da estrutura da aeronave.

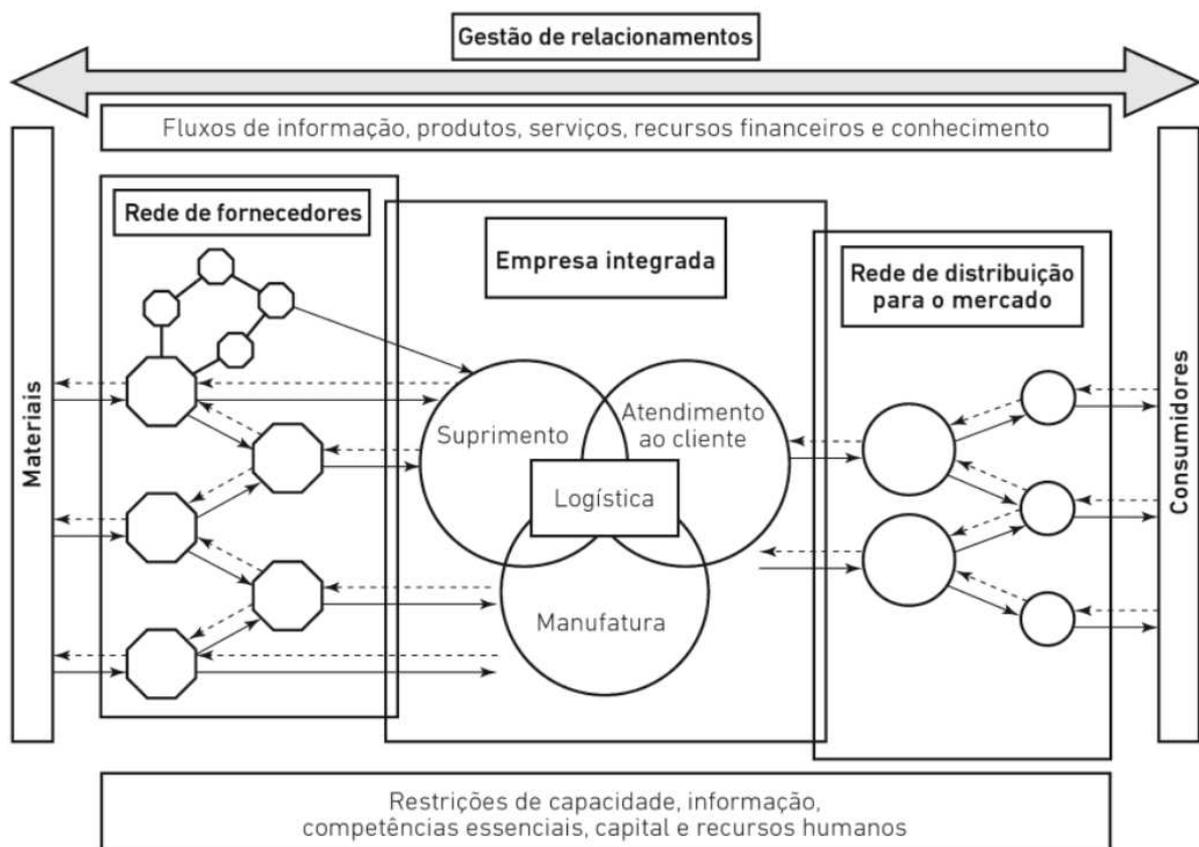
2.3 CADEIA DE SUPRIMENTOS

2.3.1 Definição da Cadeia de Suprimentos

Também conhecida por Supply Chain Management (SCM), a cadeia de suprimentos compreende as atividades que envolvem a produção, armazenamento e transporte de produtos ou serviços até o cliente final. Segundo Scavarda e Hamacher (2001), a cadeia de suprimentos integra empresas que podem desempenhar diferentes responsabilidades, desde a extração de um minério ou a fabricação de um componente, até a prestação de serviço logístico ou de vendas. A organização pode fazer parte de diferentes cadeias, dependendo do produto.

Swaminathan, Smith e Sadeh (1996) definem a cadeia de suprimentos como uma rede de negócios responsáveis pelas atividades de compras, produção e distribuição entre famílias de produtos. De forma complementar, Lee e Billington (1995) afirmam que a cadeia de suprimentos é uma rede de empresas que adquirem matérias-primas, transformam-nas em produtos finais e, através do sistema de distribuição, são entregues aos consumidores. Esta estrutura de fluxo é apresentada em forma de diagrama na Figura 7.

Figura 7 – Estrutura da cadeia de suprimentos integrada.



Fonte: Bowersox et al. (2013, p. 7).

A estrutura e a estratégia de uma cadeia de suprimentos conectam a compra inicial de material e a entrega de bens e serviços aos clientes, possuindo como objetivo alinhar operacionalmente uma empresa com os seus respectivos consumidores, redes de apoio de distribuidores e fornecedores a fim de obter vantagem competitiva (BOWERSOX et al., 2013). "A logística é o condutor principal de bens e serviços dentro do arranjo da cadeia de suprimentos. Cada empresa inserida em uma cadeia de suprimentos está envolvida em realizar alguns aspectos da logística em geral."(BOWERSOX et al., 2013, p. 7).

Atualmente, a concorrência não está mais entre empresas, mas sim entre cadeias de suprimento (CORREA, 2019), então, para reduzir os custos, melhorar os níveis de serviço e atingir o sucesso é importante realizar a gestão da cadeia de suprimentos de forma eficiente. Com isso, Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2010) definem:

A gestão da cadeia de suprimentos é um conjunto de abordagens que integra, com eficiência, fornecedores, fabricantes, depósitos e pontos comerciais, de forma que a mercadoria é produzida e distribuída nas quantidades corretas, aos pontos de entrega e nos prazos corretos, com o objetivo de minimizar os custos totais do sistema sem deixar de atender às exigências em termos de nível de serviço. (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2010, p. 33).

Para Slack, Chambers e Johnston (2002), a gestão da cadeia de suprimentos possui três objetivos: satisfação dos clientes finais, implementar estratégias para obtenção e retenção destes clientes e gerenciar a cadeia de forma eficaz e eficiente. Dessa forma, a boa administração não envolve apenas gestão de custos, mas também outros aspectos de desempenho, como a velocidade e confiabilidade das entregas, qualidade dos produtos, flexibilidade com a qual a cadeia consegue se adaptar a novos cenários, nível de inovação e sustentabilidade da cadeia (CORREA, 2019).

Com a globalização e, conseqüentemente, a expansão dos mercados em níveis internacionais, a eficiência na administração da cadeia de suprimentos torna-se um desafio, principalmente em relação à logística. Segundo Correa (2019), a complexidade da cadeia de suprimentos global deve-se ao aumento das distâncias percorridas pelos materiais, aumento dos riscos associados aos fluxos mais longos e complexos e à presença de concorrentes internacionais mais presentes. Dessa forma, a logística está diretamente relacionada à disponibilidade de peças, estas que se entregues na quantidade, tempo e local corretos, faz com que a empresa estabeleça relacionamentos de qualidade com os clientes finais.

2.3.2 Cadeia de suprimentos de peças de reposição da indústria aeronáutica

Segundo Walter, Holmström e Yrjölä (2004), "Nada é mais caro do que um avião em terra.". Este é o lema que os especialistas em manutenção aeronáutica

seguem no tráfego aéreo internacional para alcançar níveis cada vez mais elevados de eficiência.

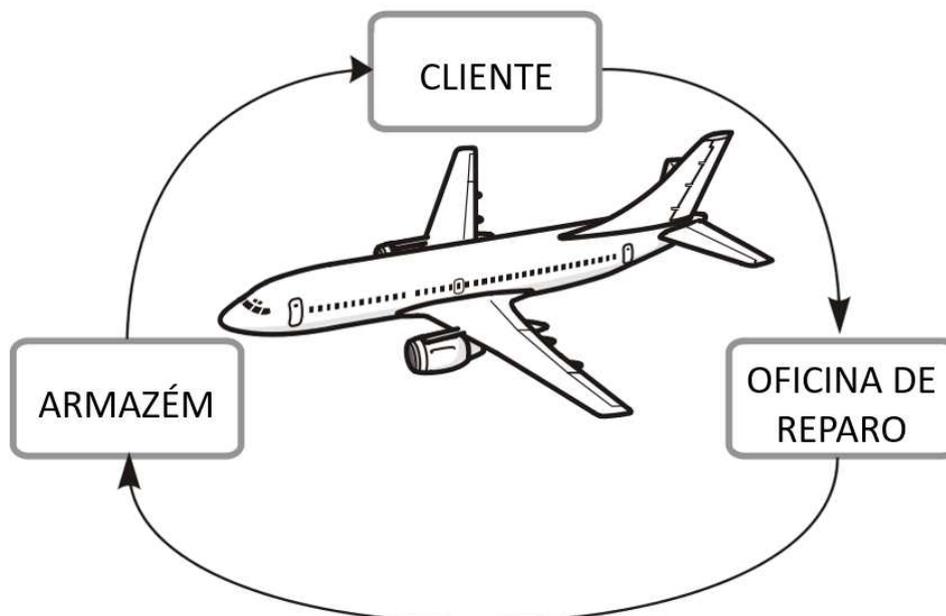
De acordo com Mokasdar (2012), o objetivo das aeronaves é facilitar o transporte e o fluxo acelerado de mercadorias. Por isso é de extrema importância que as companhias aéreas mantenham suas aeronaves disponíveis durante todo o ano, visando minimizar o tempo da aeronave parada em um hangar e, conseqüentemente, o custo da taxa de hangar e peças de reposição (WALTER et al., 2004).

A disponibilidade de peças é o fator mais importante para manter a aeronave em operação (MOKASDAR, 2012). Assim, muitas dessas peças precisam ser armazenadas, tanto nos grandes estoques das empresas fabricantes de aeronaves quanto em centros de manutenção autorizados.

Segundo Tracht et al. (2013), existem diferentes tipos de peças de reposição, algumas das quais são descartadas e outras que são reutilizadas, estas, para que possam ser utilizadas novamente, devem ser reparadas em oficinas certificadas. A cadeia de suprimentos de peças sobressalentes reparáveis é composta por três elementos principais, o armazém, o cliente e a oficina de reparo (Figura 8).

Ainda segundo Tracht et al. (2013), a partir da solicitação do cliente, uma peça de reposição é retirada do armazém e instalada na aeronave, substituindo o item defeituoso. Com isso, a unidade defeituosa é enviada à oficina de reparo, onde ocorre o processo de reparo da peça. Depois disso, o material é colocado novamente em estoque.

Figura 8 – Cadeia de suprimentos de peças sobressalentes reparáveis.



Fonte: Adaptado de Tracht et al. (2013, p. 326).

Portanto, para maximizar a utilização das aeronaves e evitar a perda de

receita das companhias aéreas, as peças de reposição precisam estar disponíveis em tempo hábil, sempre que houver demanda, pois os materiais defeituosos precisam ser substituídas para atender às normas de segurança de voo (TRACHT et al., 2013).

3 METODOLOGIA

Segundo Silva e Menezes (2005), a atividade de pesquisa pode ser descrita como um conjunto de ações e propostas para encontrar a solução de um problema e se baseia em procedimentos racionais e sistemáticos. Ainda segundo as autoras, "a pesquisa é realizada quando se tem um problema e não há informações para solucioná-lo."

E, neste trabalho, a pesquisa é caracterizada como estudo de caso, que, de acordo com Yin (1994), pode ser definido como "uma maneira de investigar um tema empírico seguindo um conjunto de procedimentos pré-especificados", utilizando métodos de descrição de processos, aplicação e validação de metodologia com objetivo de investigar, descrever e explicar determinado fenômeno.

Do ponto de vista dos objetivos, esta pesquisa tem caráter exploratório, que envolve levantamento bibliográfico e visa proporcionar maior familiaridade com o problema em questão para torná-lo explícito ou construir hipóteses (GIL, 2002).

Por fim, do ponto de vista da forma de abordagem do problema, a pesquisa quantitativa "considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas"(SILVA; MENEZES, 2005).

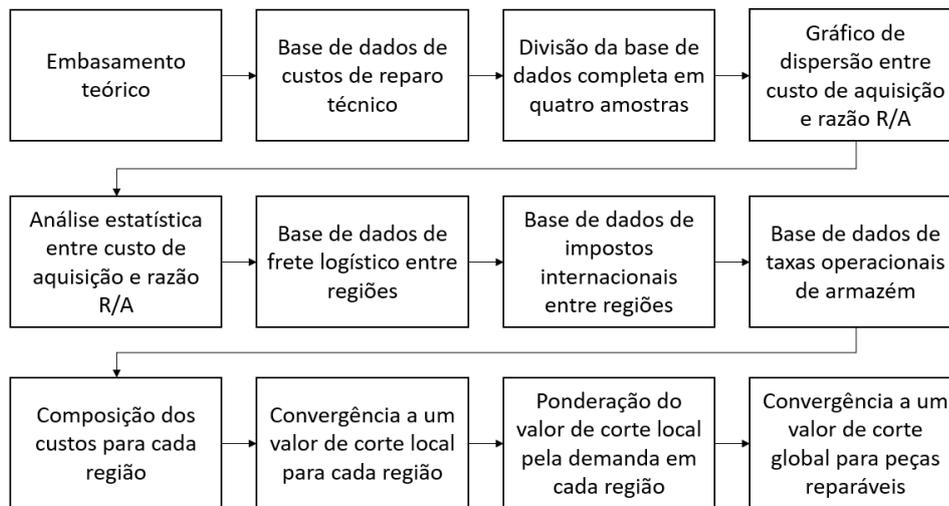
Portanto, este trabalho se caracteriza por ser predominantemente de natureza quantitativa, já que traduz as informações em números para classificá-las e analisá-las.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE ATUALIZAÇÃO DE VALOR DE CORTE

O principal objetivo deste trabalho é atualizar o valor de corte utilizado para definir quais peças das aeronaves executivas da empresa estudada serão tratadas como reparáveis, visando principalmente maior lucratividade para a organização. Para atingir este objetivo, nesta etapa o projeto será categorizado para melhor entendimento do processo.

Dessa forma, a figura 9 apresenta as etapas do desenvolvimento do método, no qual o primeiro passo consiste em obter embasamento teórico sobre manutenção aeronáutica e cadeia de suprimentos para peças reparáveis. Para isso, foram realizadas pesquisas em livros, artigos, manuais de aviação e em materiais próprios da empresa.

Figura 9 – Etapas do desenvolvimento do método de valor de corte.



Fonte: Autora (2022).

Após a etapa de entendimento teórico sobre o tema, foram realizadas reuniões com os responsáveis pelas áreas de logística e reparo na empresa X, a fim de entender quais parâmetros influenciam diretamente no custo de uma peça de reposição.

Com isso, para gerar o custo logístico de uma peça de reposição foi considerado o valor de frete entre cada região global onde a empresa possui armazéns, as taxas internacionais presentes nestas transações e outros custos associados ao recebimento de peças e estocagem que serão detalhados futuramente. Já para o custo do reparo técnico, foi considerado o valor médio cobrado pela oficina de reparo para cada peça de reposição da empresa estudada.

A partir do custo de aquisição e da razão entre custo de reparo técnico e custo de aquisição (R/A) das peças que sofreram reparo entre 2019 e 2022, a base de dados completa, extraída do sistema da empresa, foi dividida em quatro amostras com diferentes intervalos de custo de aquisição para análise. Com isso, foi possível verificar a correlação entre essas variáveis através de diagramas de dispersão para cada amostra.

Segundo Barbeta, Reis e Bornia (2010), diagramas de dispersão são onde os valores das variáveis são representados por pontos em um sistema cartesiano. Ainda segundo os autores, estas variáveis são positivamente correlacionadas quando elementos com pequenos valores da variável 1 tendem a ter valores pequenos na variável 2 e vice-versa. Já a correlação negativa ocorre quando elementos com baixos valores na variável 1 tendem a possuir valores altos na variável 2 e vice-versa.

Depois da criação do gráfico de dispersão com conjuntos de observações pareadas, foi possível gerar regressões, que são responsáveis por relacionar matematicamente a variável independente (custo de aquisição) com a variável

dependente (razão R/A).

A regressão linear possui formato $y = ax + b$, onde o coeficiente b fornece uma estimativa da variação esperada de y , a partir da variação de uma unidade em x e o sinal deste coeficiente indica o sentido da variação (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2010). Neste estudo, y é a razão entre custo de aquisição e custo de reparo técnico (R/A) e x é o custo de aquisição.

A qualidade do ajuste de dados via regressões pode ser avaliado a partir do coeficiente de determinação R^2 . Segundo Barbetta (2010), o R^2 varia de 0 a 1 e é uma medida descritiva da proporção da variação de y que pode ser explicada por variações em x .

Após a análise dos dados via regressão, foram realizados estudos de quartís e percentís. De acordo com Barbetta (2010), os quartís dividem a amostra em quatro partes iguais em ordem crescente e o terceiro quartil ou quartil superior (Q3) da amostra é o valor que separa os 25% maiores valores. O mesmo se aplica ao percentil 95, que é o valor que separa os 5% maiores valores de R/A, neste caso.

Com o valor dos respectivos parâmetros, foi realizada a composição destes custos e, através métodos estatísticos como regressão linear, terceiro quartil e percentil 95, foram determinados os valores de corte para cada região na qual o reparo é financeiramente viável. É importante ressaltar que todos os valores apresentados neste trabalho não são reais. Por questões de sigilo da empresa, os valores foram relacionados a um fator multiplicador. A partir destes, por meio da ponderação pela demanda, foi calculado o valor de corte global.

4 ESTUDO DE CASO - CÁLCULO DO VALOR DE CORTE

O estudo de caso ocorreu em uma empresa localizada no Brasil. Além de ser uma fabricante de aeronaves, esta empresa também passou a atuar no pós venda, suportando a operação através de serviços de manutenção envolvendo as três unidades de negócio: executiva, comercial e defesa. Esta empresa prefere não ser identificada, assumindo o nome de "empresa X" neste trabalho.

A partir da criação da nova vice presidência de suporte e serviços, foi criada a área de planejamento de peças de reposição para cada unidade de negócio, visando garantir que as peças necessárias para a manutenção das aeronaves executivas, comerciais e de defesa estivessem disponíveis no lugar certo e no momento certo. Como a cadeia logística de uma peça que pode ser reparada se diferencia das peças descartáveis, a área de planejamento foi dividida entre duas gerências: planejamento de itens reparáveis e planejamento de materiais descartáveis.

Com isso, além da classificação técnica realizada pela engenharia de peças sobressalentes por meio do código de Spare Parts Classification (SPC), de forma que quando $SPC = 2$ ou $SPC = 6$ a peça é considerada tecnicamente reparável, houve a necessidade de adicionar um critério financeiro para separar as peças entre reparáveis e descartáveis.

Trata-se de uma estratégia de negócios que, além do critério SPC, considera os custos operacionais de reparo, logística e serviços de movimentação, armazém e impostos internacionais. Dessa forma, é possível convergir ao custo final, denominado neste trabalho de custo de reparo comercial.

Em 2017, realizou-se um estudo aonde este valor de corte foi calculado. Porém, com o passar do tempo e também com o impacto da pandemia do coronavírus desde 2020, os custos relacionados ao reparo da peças e, principalmente, aos custos de frete logístico ficaram desatualizados, tornando necessário este presente estudo para propor uma atualização do valor de corte para peças de reposição.

4.1 A EMPRESA

4.1.1 Estrutura organizacional

A diretoria de Serviços e Suporte da empresa estudada desenvolve soluções e serviços para clientes da aviação Comercial, Executiva e da Defesa e Segurança, fornecendo um amplo portfólio de serviços, por meio de um time de profissionais especializados no mundo todo.

A estrutura organizacional da empresa é mostrada na figura 10, partindo

da diretoria geral da empresa e chegando até a área de planejamento de peças de reposição para aviação executiva, setor que é objeto deste estudo.

Figura 10 – Estrutura organizacional antecedente à área de Planejamento de Peças de Reposição.



Fonte: Empresa X (2022).

4.1.2 Planejamento de peças de reposição

O fluxo da área de planejamento de materiais pode ser vista na figura 11. A área de engenharia de planejamento de peças de reposição da empresa deste estudo de caso é responsável por fornecer atributos ao sistema de planejamento, como o custo de aquisição das peças, lote mínimo recomendado e classificação do tipo de manutenção do material. Este sistema que a empresa utiliza para receber os dados gerados pela engenharia é o Servigistics, programa desenvolvido pela PTC que, a partir dos dados de entrada recebidos, é capaz de calcular a previsão de demanda de peças futuras e liberar listas de recomendação de peças de reposição.

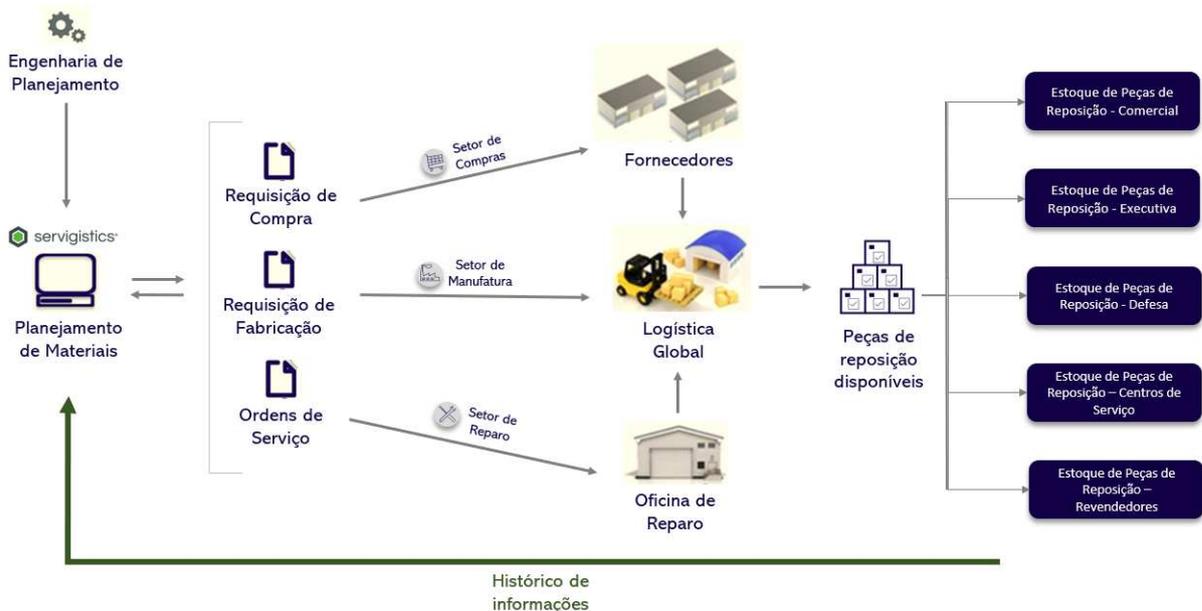
Depois disso, os analistas de planejamento analisam as recomendações sugeridas pelo sistema e liberam os pedidos, ou seja, se a sugestão for comprar a peça direto do fornecedor, liberam uma requisição de compra. Já, se a recomendação for de fabricar o material, é liberada uma requisição de fabricação e, por fim, se a proposta for de enviar o material para reparo, liberam uma ordem de serviço.

A partir disso, as peças são enviadas para o centro de distribuição da empresa estudada, onde uma empresa de logística terceirizada atua para distribuir essas peças

para os armazéns. Além de distribuir para cada unidade de negócio em seus respectivos estoques, ocorre a distribuição também a revendedores terceiros e aos centros de serviço (empresas MROs), que compram materiais da empresa X para compor seus próprios estoques.

A área de planejamento de peças de reposição, além de gerar os dados de entrada para o sistema e liberar pedidos, também é responsável por realizar o acompanhamento com as áreas de compras e logística para garantir que as peças cheguem no local certo e no momento certo. É importante destacar que todas as demandas de clientes geram históricos de informações sobre a quantidade de vendas de cada peça entre outras informações relevantes para o cálculo da previsão da próxima demanda.

Figura 11 – Fluxograma do setor de planejamento de peças de reposição.



Fonte: Autora (2022).

4.1.2.1 Manuais de manutenção

Para que os clientes consigam solicitar determinadas peças de reposição, a empresa deste estudo de caso fornece alguns manuais de manutenção para consulta, entre os principais e mais utilizados estão o Aircraft Illustrated Parts Catalog (AIPC), Illustrated Tool Equipment Manual (ITEM) e o Service Bulletin (SB).

O AIPC é o catálogo onde possui todas as peças instaladas na aeronave, com as respectivas quantidades e locais de instalação e é dividido em capítulos "ATA"(Air Transport Association). Na ATA contém a referência ao sistema de numeração que é um padrão de referência comum para documentação geral de aeronaves e permite maior facilidade de aprendizado e compreensão para pilotos, técnicos de manutenção

de aeronaves e engenheiros. Os assuntos abordados em cada ATA pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 – ATAs presentes no AIPC.

ATA	Descrição
ATA 1 a 20	Informações gerais e operação
ATA 21 a 49	Sistemas da aeronave
ATA 50 a 59	Estruturas
ATA 60 a 69	Hélices
ATA 70 a 89	Motores
ATA 90 a 120	Aeronaves militares

Fonte: Empresa X (2022).

O AIPC é destinado para identificação e requisição de peças, verificação de relações de intercambialidade e ilustração da montagem e desmontagem dos componentes. A engenharia de planejamento utiliza este manual principalmente para identificar os componentes e confeccionar listas de recomendação de peças para os clientes e estes, também utilizam o AIPC como forma de consulta para requisitar as peças corretas.

Já o ITEM é o manual onde consta a lista, descrição e ilustração de todos os equipamentos especiais de apoio terrestre (GSE). Estes, são equipamentos especiais que apresentam requisitos específicos necessários para realizar procedimentos de manutenção, reparo e verificação ou inspeção, como um macaco hidráulico e uma fonte de energia externa (GPU), que são ferramentas necessárias para que seja possível retirar a roda da aeronave e para ativar o sistema de energia do avião sem a necessidade de ligar o motor, respectivamente.

O Boletim de Serviço (SB) é um documento que traz instruções para modificações ou inspeções especiais elaboradas pelos fabricantes de aeronaves, equipamentos e componentes. O SB é emitido para oferecer melhorias na operação para os clientes, manutenção e despachabilidade, ou para corrigir discrepâncias de sistema/estrutura da aeronave.

4.2 ETAPAS DA IMPLEMENTAÇÃO

A realização deste estudo se baseia, de forma sequencial, nas seguintes etapas:

- a) Criação do modelo logístico global para a aviação executiva;
- b) Composição dos custos logísticos;
- c) Composição dos custos de movimentação no armazém;
- d) Composição dos custos de taxas internacionais;

- e) Composição dos custos de aquisição e reparo;
- g) Cálculo do valor de corte para peças de reposição da aviação executiva;

4.3 MODELO LOGÍSTICO GLOBAL PARA A AVIAÇÃO EXECUTIVA

O modelo envolve todo o fluxo necessário para reparar uma peça e, para a construção do modelo logístico é necessário posicionar os centros de distribuição, as oficinas de reparo e os clientes. A empresa estudada possui cinco centros de distribuição, onde as peças são armazenadas e preparadas para envio/recebimento. Estes são localizados em cinco regiões: Europa (EMEA), Brasil (SJK), Estados Unidos (EUA), China (BJG) e Singapura (SIN).

Como a maior parte dos reparos oferecidos pela empresa para a aviação executiva ocorre em oficinas nos Estados Unidos, a partir da identificação da localização dos centros de distribuição foi adotada a premissa de que o centro de reparo utilizado no modelo está localizado neste país. O modelo considera clientes na América do Norte, Europa, Ásia e Oceania. A figura 12 ilustra os posicionamentos adotados no modelo.

Figura 12 – Posicionamento global dos centros de distribuição, oficinas de reparo e clientes adotados no modelo.



Fonte: Autora (2022).

Após realizar o mapeamento da localização dos centros de distribuição, oficina

de reparo e clientes, foi necessário identificar os movimentos que ocorrem entre estes (Figura 13). O primeiro movimento é o 1, no qual ao identificar o mau funcionamento do componente, o cliente aciona o centro de distribuição da empresa estudada, que atua como intermediador entre o cliente e a oficina de reparo. Dessa forma, o centro de distribuição fornece uma peça nova para o cliente e, logo em seguida, recebe a peça danificada (movimento 2).

Após o recebimento da peça defeituosa no armazém da empresa, a peça é enviada para a oficina de reparo (movimento 3), que, no modelo, está localizada nos Estados Unidos. Na oficina, é realizada a análise do defeito da peça e feita a correção. Então, depois de restaurada, a peça retorna ao mesmo centro de distribuição de onde partiu (movimento 4).

Figura 13 – Estrutura de movimentação entre centros de distribuição, clientes e oficina de reparo.



Fonte: Autora (2022).

4.4 CUSTOS LOGÍSTICOS

Os custos logísticos compreendem o valor gasto para realizar a movimentação da peça entre locais distintos, sendo dentro de um mesmo país (frete doméstico) ou entre países (frete internacional). Este movimento é ilustrado na figura 13 pelas linhas tracejadas. O valor deste frete logístico depende de diversos fatores como a distância entre a oficina de reparo, centro de distribuição e o cliente, se trata-se de um frete doméstico ou internacional, nível de criticidade do serviço e características da

encomenda.

Porém, para fins de modelagem foram adotados valores médios tanto para o frete doméstico quanto para o internacional entre as regiões mapeadas. A tabela 2 foi fornecida pela área logística da empresa e considera todos os níveis de criticidade e características de encomenda.

A tabela 2 representa estes valores de frete logístico na unidade de dólar entre as regiões EMEA (Europa), SJK (Brasil), SIN (Singapura) e BJG (Beijing) e EUA (Estados Unidos), que é onde se encontra a oficina de reparo no modelo. Também é possível verificar o valor do frete interno (doméstico) dentro de cada país. Por questões de sigilo da empresa estudada, foi aplicado um fator multiplicador em todos os valores utilizados neste trabalho.

Tabela 2 – Custo médio de frete logístico entre regiões.

Frete médio [USD]	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
EUA	\$70,00	\$310,00	\$350,00	\$300,00	\$510,00
EMEA	\$150,00	\$60,00	-	-	-
SJK	\$350,00	-	\$71,00	-	-
SIN	\$180,00	-	-	\$71,00	-
BJG	\$550,00	-	-	-	71,00

Fonte: Empresa X (2022).

4.5 CUSTOS DE MOVIMENTAÇÃO NO ARMAZÉM

Além dos custos de transporte, durante o processo de transação do material estão envolvidos custos de operação no armazém que, neste modelo, foram considerados os seguintes: custo de separação (picking) e embalagem (packing), custo de recebimento, custo de envio para o reparo, custo de recebimento do reparo.

O custo de separação e embalagem do material se referem à separação das peças no estoque e ao processo de embalagem da mercadoria para envio, respectivamente. Na empresa estudada, o processo de separação do material inicia-se logo após a confirmação da compra e envolve o processamento da ordem de compra e a reserva do item no estoque. A atividade de embalagem da mercadoria considera as melhores características da embalagem de acordo com o item a ser embalado.

Os demais custos se referem ao procedimento de verificação e inspeção durante o recebimento do item e o processo de documentação para envio da mercadoria. Estes custos são fornecidos pela empresa operadora logística da empresa estudada e, para a modelagem do projeto, foram mantidos constantes em relação ao projeto realizado anteriormente. Cada custo que compõe o custo total de movimentação dentro

do armazém foram associados a um fator multiplicador por questões de sigilo da empresa e estão ilustrados na tabela 3, na unidade de dólar.

Tabela 3 – Custos de movimentação no armazém.

Movimento	Custo [USD]
Operação de Picking/Packing	\$7,90
Operação de recebimento de mercadoria no armazém	\$5,16
Operação de envio de mercadoria para reparo	\$7,90
Operação de recebimento da mercadoria procedente do reparo	\$5,16

Fonte: Empresa X (2022).

Neste contexto, se a peça for considerada como reparável economicamente, os custos de movimentação no armazém envolvem todos os movimentos pontuados na tabela 3. Por outro lado, ao realizar a venda direta para o cliente, ou seja, tratando a peça como descartável, os custos de envio para reparo e recebimento da oficina de reparo deixam de existir.

4.5.1 Custos de taxas internacionais

As taxas internacionais envolvem a soma dos impostos que serão pagos devido à presença das atividades de importação e são adicionadas ao valor do custo unitário de aquisição da peça. Esta taxa está presente durante a movimentação da mercadoria entre países. Para fins de sigilo da empresa deste estudo de caso, foi aplicado um fator multiplicador nestes valores e, para modelagem, estas tarifas foram mantidas constantes em relação ao projeto anterior e seus respectivos valores são evidenciados na tabela 4.

Tabela 4 – Custos de taxas internacionais.

Taxas internacionais	EUA
EUA	-
EMEA	20%
SJK	18%
SIN	7%
BJG	17%

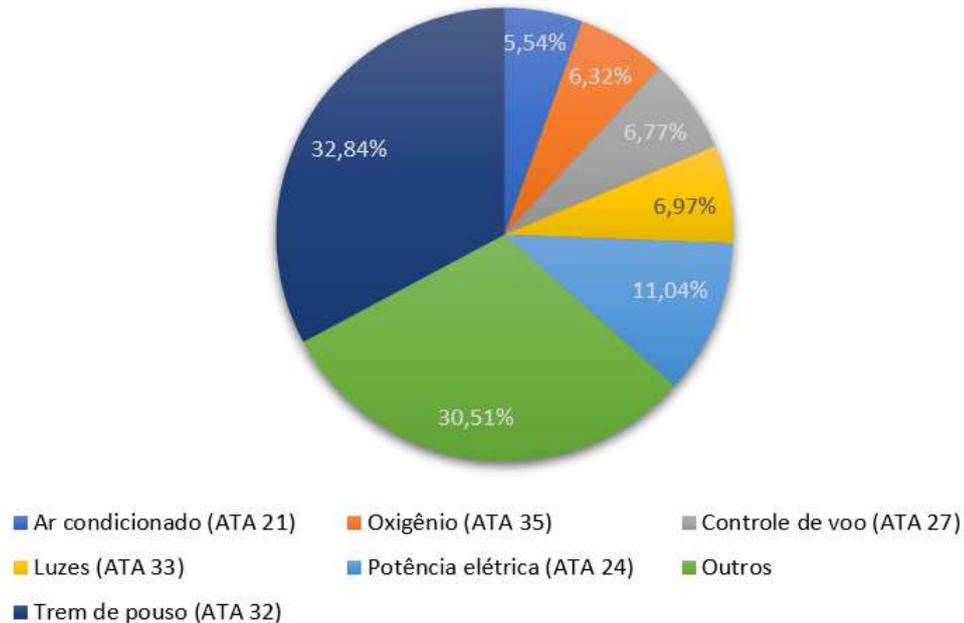
Fonte: Empresa X (2022).

4.5.2 Custos de aquisição e reparo técnico

Para este estudo foi utilizada uma base de dados com 37.414 peças de aeronaves da classe executiva enviadas para reparo de 2019 à 2022. Em relação às

ATAs, 32,84% destes materiais pertencem à ATA 32, que se refere às peças do trem de pouso, 11% à ATA 24 de potência elétrica, 6,97% à ATA 33 de luzes, 6,77% à ATA 27 de controle de voo, 6,32% à ATA 35 de oxigênio, 5,54% à ATA 21 de ar condicionado e 30,51% às ATAs restantes. O percentual de materiais podem ser vistos na figura 14.

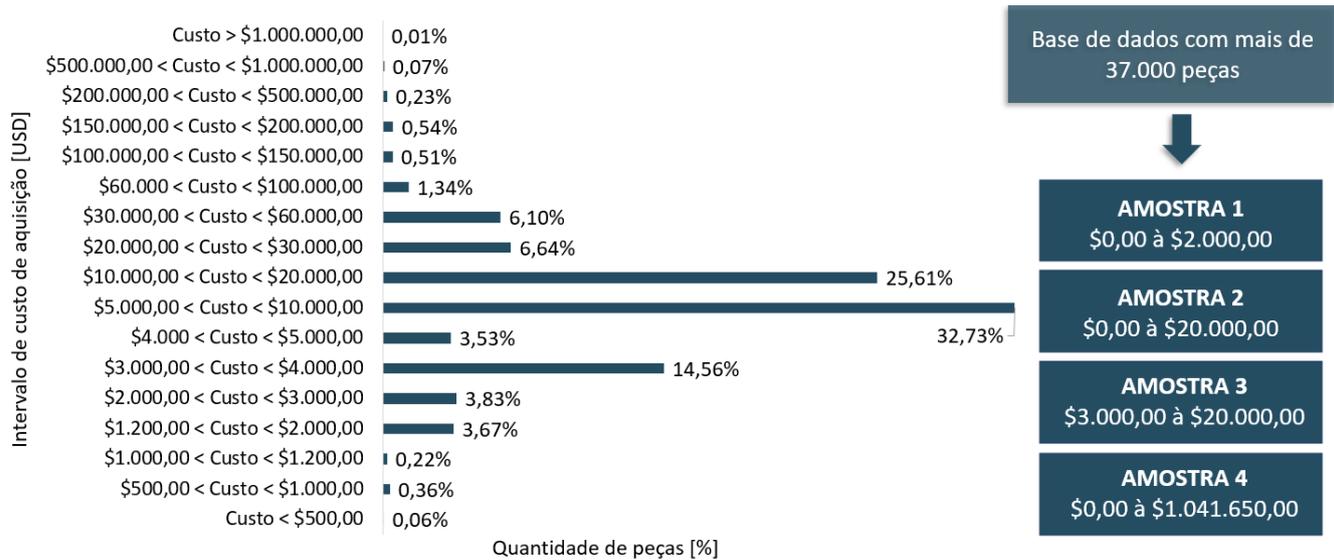
Figura 14 – Percentual de peças por ATA.



Fonte: Autora (2022).

Em relação aos custos de aquisição, estes foram divididos em intervalos a fim de verificar a quantidade de peças em cada faixa, já que há grande disparidade de valores. Com isso, foi possível perceber que 72,9% das peças custam entre \$3.000,00 à \$20.000,00, e destas, a grande maioria (32,73%) possui custo de aquisição de \$5.000,00 à \$10.000,00. A distribuição da quantidade de peças por faixa de valor de custo de aquisição pode ser vista na figura 15.

Figura 15 – Percentual de peças por intervalo de custo de aquisição.



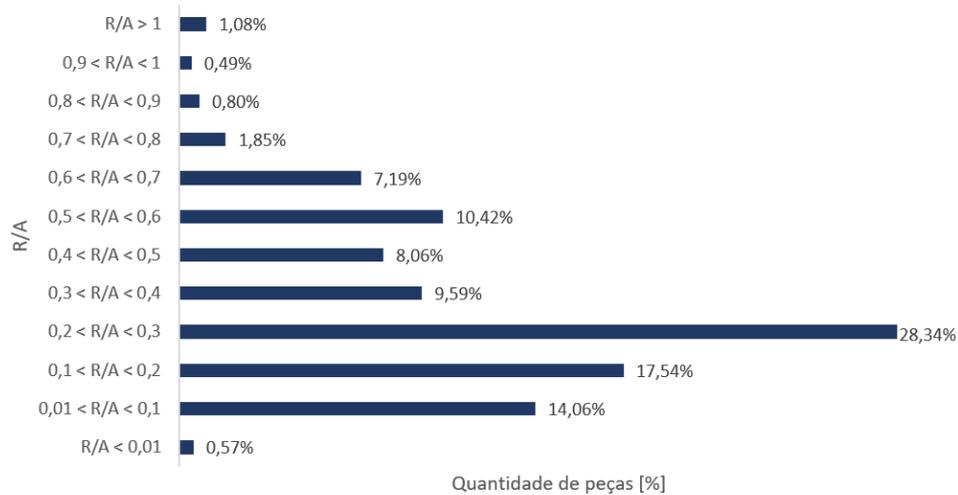
Fonte: Autora (2022).

Dessa forma, o cálculo do valor de corte para peças reparáveis foi realizado considerando quatro amostras, a fim de analisar o erro amostral considerando o impacto de cada intervalo em relação à base de dados completa. Foram consideradas as seguintes amostras: as faixas com maiores quantidades de peças (\$3.000,00 à \$20.000,00), o intervalo incluindo a faixa analisada no trabalho anterior (\$0,00 à \$20.000,00), o intervalo utilizado no trabalho anterior para fins de comparação direta (\$0,00 à \$2.000,00) e a base de dados total (\$0,00 à \$1.041.650,00).

Os custos de reparo técnico variam em relação ao custo de aquisição da peça e são referentes ao processo de conserto do material na oficina de reparo, sem contabilizar os fretes logísticos, impostos internacionais e custos de armazém. A partir da razão entre o custo de reparo técnico e o custo de aquisição da peça, é possível encontrar a relação entre estes dois parâmetros (R/A).

Esta relação entre o custo de aquisição e o custo de reparo técnico pode ser vista na figura 16, a qual evidencia que a quantidade de peças por relação R/A é mais distribuída em comparação à figura 15 e que em 28,34% dos itens a relação entre custo reparo técnico e custo de aquisição está entre 20 e 30%.

Figura 16 – Quantidade de peças por intervalo da relação entre custo de reparo técnico e custo de aquisição.



Fonte: Autora (2022).

Para modelar o custo de reparo técnico para determinados valores de custo de aquisição, foi realizada a análise de regressões e também de métricas de posição como os quartís e os percentís a fim de comparação.

Diferentemente da utilização do valor médio, que é um estimador não robusto e contabilizaria a interferência de valores R/A que se distanciam do padrão, foi escolhida a utilização do terceiro quartil e percentil 95. Estas, são medidas robustas que desconsideram valores de R/A extremos, estes que podem ser oriundos de erro na base de dados e são capazes de interferir negativamente na análise, fazendo com que o custo de reparo técnico aumente indevidamente.

Tanto o terceiro quartil quanto o percentil 95 estabelecem limites, ou seja, considerando todas as peças amostradas, 75% e 95% possuem razão R/A menores ou iguais ao valor do calculado para o terceiro quartil e para o percentil 95, respectivamente.

4.5.3 Cálculo do valor de corte para peças de reposição da aviação executiva

4.5.3.1 Relação entre custo de reparo técnico e aquisição

A partir da base de dados fornecida pela empresa, para melhor análise da razão entre custo de reparo técnico e custo de aquisição de cada peça, os dados foram divididos por intervalos de custo de aquisição. A escolha de cada intervalo para análise aprofundada baseou-se nas faixas com maior percentual de peças ilustrado na figura 15, na base de dados completa e também no valor utilizado no modelo anterior, para fins de comparação futura. As amostras consideradas e as respectivas quantidades de peças são evidenciadas na tabela 5.

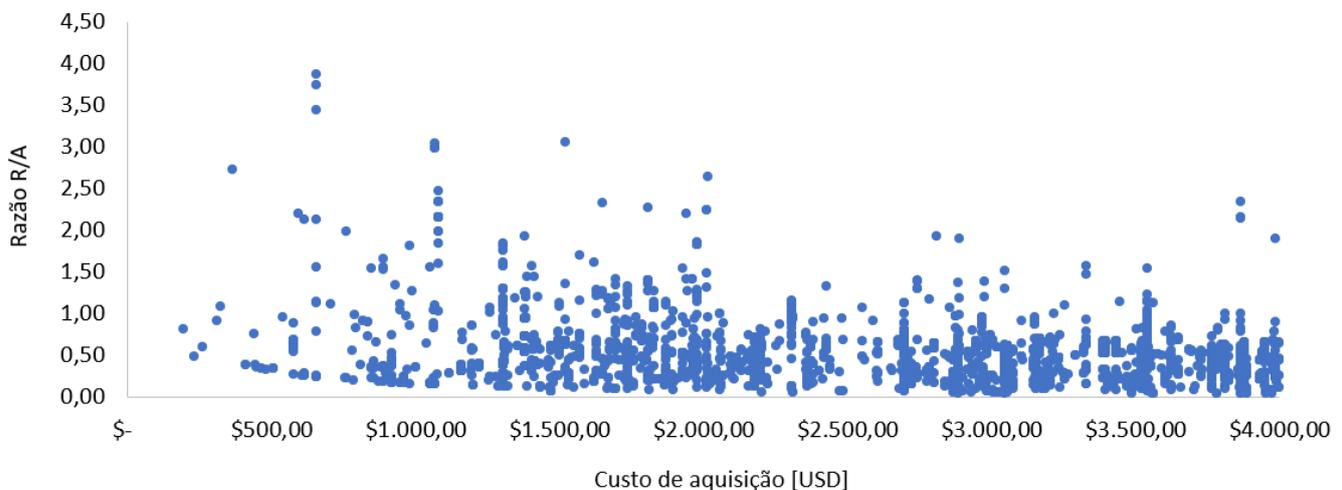
Tabela 5 – Quantidade de peças em cada intervalo de custo de aquisição considerado.

Amostra	Custo de aquisição [USD]	Quantidade de peças
1	\$0,00 à \$2.000,00	1.601
2	\$0,00 à \$20.000	31.651
3	\$3.000,00 à \$20.000,00	28.614
4	\$0,00 à \$1.041.650,00	37.414

Fonte: Autora (2022).

Dessa forma, foi realizada a inferência de que o custo de reparo técnico é função do custo de aquisição. Então, para cada conjunto de dados foi gerado um gráfico de dispersão a partir do custo de aquisição e da razão R/A a fim de entender o comportamento de R/A com a variação do custo de aquisição e a exemplificação dessa dispersão de dados para a base de dados completa pode ser vista na figura 17. A relação R/A entre custo de reparo técnico (CR) e aquisição (CA) foi calculada a partir da equação 1.

Figura 17 – Exemplificação do gráfico de dispersão para a base de dados completa.



Fonte: Autora (2022).

$$R/A = \frac{CR}{CA} \quad (1)$$

A partir disso, para analisar a razão R/A em cada intervalo, foram realizados cinco tipos de ajustes disponíveis no Microsoft Excel: regressão linear, regressão logarítmica, regressão polinomial do segundo grau, regressão exponencial e regressão potência. Estatisticamente, deve ser escolhida a equação que melhor representa a dispersão dos dados a partir da avaliação do coeficiente de determinação (R^2) entre

os modelos. As comparações entre os modelos para cada faixa de custo de aquisição podem ser vistas nas tabelas 6,7,8 e 9.

Tabela 6 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 1.

Modelos de Regressão	R^2
Linear	0,0077
Logarítmica	0,0103
Polinomial	0,0144
Potência	0,0104
Exponencial	0,0077

Fonte: Autora (2022).

Tabela 7 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 2.

Modelos de Regressão	R^2
Linear	0,0489
Logarítmica	0,0931
Polinomial	0,1240
Potência	0,1047
Exponencial	0,0638

Fonte: Autora (2022).

Tabela 8 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 3.

Modelos de Regressão	R^2
Linear	0,0246
Logarítmica	0,0506
Polinomial	0,0915
Potência	0,0600
Exponencial	0,0332

Fonte: Autora (2022).

Tabela 9 – Comparação entre modelos de regressão para a amostra 4.

Modelos de Regressão	R^2
Linear	0,0433
Logarítmica	0,1493
Polinomial	0,1409
Potência	0,1592
Exponencial	0,0947

Fonte: Autora (2022).

O coeficiente de determinação (R^2) varia de 0 a 1 e a confiabilidade do modelo de regressão é maior quanto mais próximo o valor de R^2 estiver de 1. Ou seja, neste caso, o valor de R^2 mais próximo de 1 significa que o custo de aquisição possui grande influência sobre o custo de reparo técnico.

Porém, como os valores de R^2 gerados foram não nulos, porém próximos de zero, o que não indica uma correlação forte entre os parâmetros custo de aquisição e R/A, explicando muito pouco a variância dos dados, foi realizada também a análise via estatísticas descritivas por meio de métricas de posição com o objetivo de definir o melhor método para o estudo de caso.

Então, para as amostras 1, 2 e 3, notou-se que a regressão polinomial de segundo grau obteve o maior valor de R^2 , logo, seria a curva que melhor se ajusta aos dados. Já para a base de dados completa (amostra 4), a regressão potência atingiu R^2 superior. As regressões que seriam mais adequadas para cada amostra estão descritas na tabela 10.

Tabela 10 – Regressões mais adequadas para cada amostra.

Amostra	Intervalo de custo [USD]	Modelo de Regressão	R^2
1	\$0,00 à \$2.000,00	Polinomial	0,0144
2	\$0,00 à \$20.000	Polinomial	0,1240
3	\$3.000,00 à \$20.000,00	Polinomial	0,0915
4	\$0,00 à \$1.041.650,00	Potência	0,1592

Fonte: Autora (2022).

Para o cálculo do valor de corte é necessário um modelo no qual as curvas de regressão sejam monotônicas, ou seja, os sinais das derivadas devem ser constantes no domínio estudado. Logo, mesmo a regressão polinomial e potência possuindo o maior coeficiente de determinação para as amostras analisadas, as curvas de regressão encontradas não foram monotônicas.

Dessa forma, após atingir um suposto valor de corte, no qual o custo de aquisição se tornou menor que o custo de reparo comercial, o custo de aquisição voltava a se tornar menor novamente, impossibilitando a determinação de um valor de corte. Portanto, como todos os métodos convergiram à um R^2 próximo de zero e a regressão linear é o único modelo que garante a monotonicidade, este será o modelo utilizado para os cálculos (Tabela 11).

Tabela 11 – Modelo de regressão que será utilizado neste trabalho.

Amostra	Intervalo de custo [USD]	Modelo de Regressão	R^2
1	\$0,00 à \$2.000,00	Linear	0,0077
2	\$0,00 à \$20.000	Linear	0,0489
3	\$3.000,00 à \$20.000,00	Linear	0,0246
4	\$0,00 à \$1.041.650,00	Linear	0,0433

Fonte: Autora (2022).

Como a amostra possui grande variação de custos de reparo técnico em relação aos custos de aquisição, para fins de comparação foi realizado o estudo mais conservador por meio do terceiro quartil para cada amostra. Os quartís ordenam a amostra de forma crescente e a divide em quatro partes com quantidades idênticas de peças sendo que o primeiro, segundo, terceiro e quarto quartil representam, respectivamente, 25%, 50%, 75% e 100% da amostra de dados.

Dessa forma, o uso do terceiro quartil (Q3) é um método conservador que influencia diretamente em uma razão (R/A) suficientemente alta que abranja 75% das peças. A tabela 12 evidencia o valor do Q3 para cada intervalo de custo de aquisição.

Tabela 12 – Terceiro quartil para cada intervalo.

Amostra	Intervalo de custo [USD]	Valor Q3
1	\$0,00 à \$2.000,00	0,6602
2	\$0,00 à \$20.000	0,5015
3	\$3.000,00 à \$20.000,00	0,4758
4	\$0,00 à \$1.041.650,00	0,4708

Fonte: Autora (2022).

A tabela 12 informa que 75% dos dados da amostra 1 possui relação R/A de até 0,6602, ou seja, para este intervalo, 75% dos itens possuem custo de reparo técnico igual ou menor que 66% do custo de aquisição. Logo, é possível perceber que o custo de reparo técnico é mais alto para peças com menor custo de aquisição.

Para fins de comparação, foi calculado também o percentil 95 (P95) de cada amostra, que é mais conservador que o terceiro quartil pois abrange 95% dos casos (tabela 13).

Tabela 13 – Percentil 95 para cada amostra.

Amostra	Intervalo de custo [USD]	Valor P95
1	\$0,00 à \$2.000,00	1,2735
2	\$0,00 à \$20.000	0,6826
3	\$3.000,00 à \$20.000,00	0,6636
4	\$0,00 à \$1.041.650,00	0,6706

Fonte: Autora (2022).

Diferentemente do quartil, que considera os 75% dos menores valores de R/A, a partir da análise de percentil 95, este que considera os 95% dos menores valores de R/A, a amostra 3 possui menor valor de R/A. Logo, o custo de reparo técnico é menor para esta faixa de custo de aquisição quando comparado aos outros intervalos (Tabela 13).

A partir da tabela 13 também é possível notar que para a amostra 1 o percentil 95 calculado é maior que 1, ou seja, para esta amostra o custo de reparo técnico em nenhum momento será menor que o custo de aquisição, impossibilitando a convergência a um valor de corte. Portanto, para o futuro cálculo do valor de corte local, que ocorre logo no momento em que o custo de reparo comercial se encontra menor que o custo de aquisição, a análise de percentil 95 não se aplicará para este intervalo.

Tanto as métricas de posição (quartil e percentil) quanto as funções de regressão devem ser utilizadas para convergir a um valor de custo de reparo técnico para peças com diferentes custos de aquisição pré estipulados. Para a modelagem foram considerados custos de aquisição variando de \$100,00 à \$4.000,00, com passo de \$100,00.

Com isso, para calcular o custo de reparo técnico (CR) para o quartil e percentil foi realizada a multiplicação entre custo de aquisição (CA) e o valor do quartil e percentil (Equação 2 e 3). Para a regressão linear foram utilizadas as respectivas equações no formato $K1 \cdot x + K2$, sendo K1 e K2 constantes e a variável x da equação foi substituída pelo custo de aquisição (Equação 4).

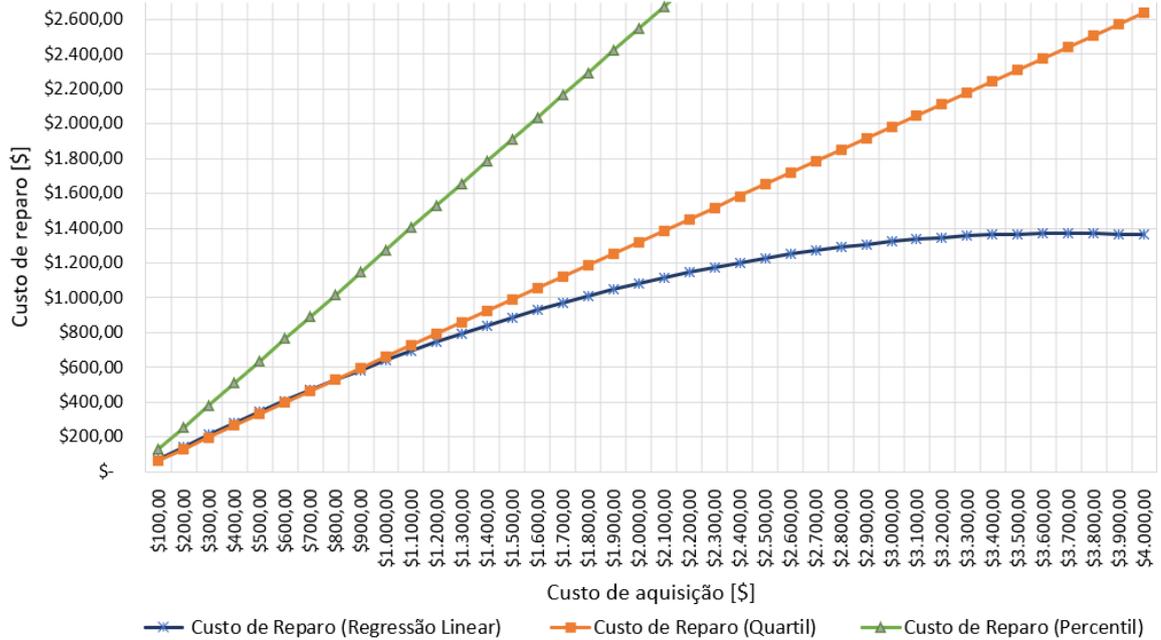
$$CR_{Quartil} = CA \cdot Q3 \quad (2)$$

$$CR_{Percentil} = CA \cdot P95 \quad (3)$$

$$CR_{Regressao} = K1 \cdot CA + K2 \quad (4)$$

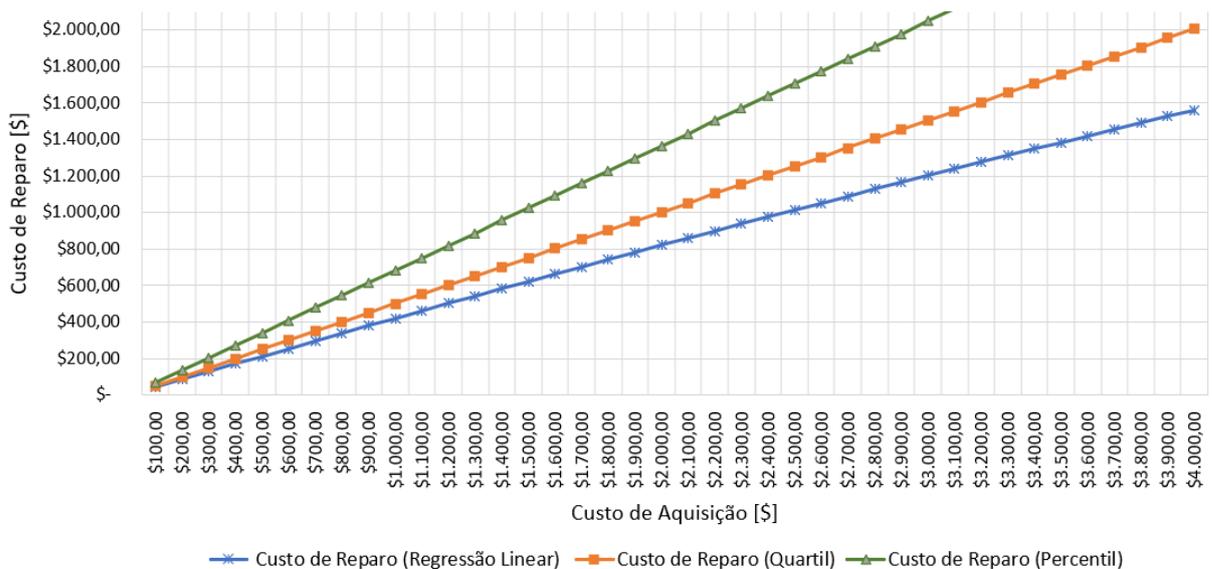
Para cada intervalo amostral, os custos de reparo técnico calculados tanto pelas funções de regressão quanto pelo terceiro quartil e percentil 95 podem ser vistos nas figuras 18, 19, 20 e 21.

Figura 18 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 1.



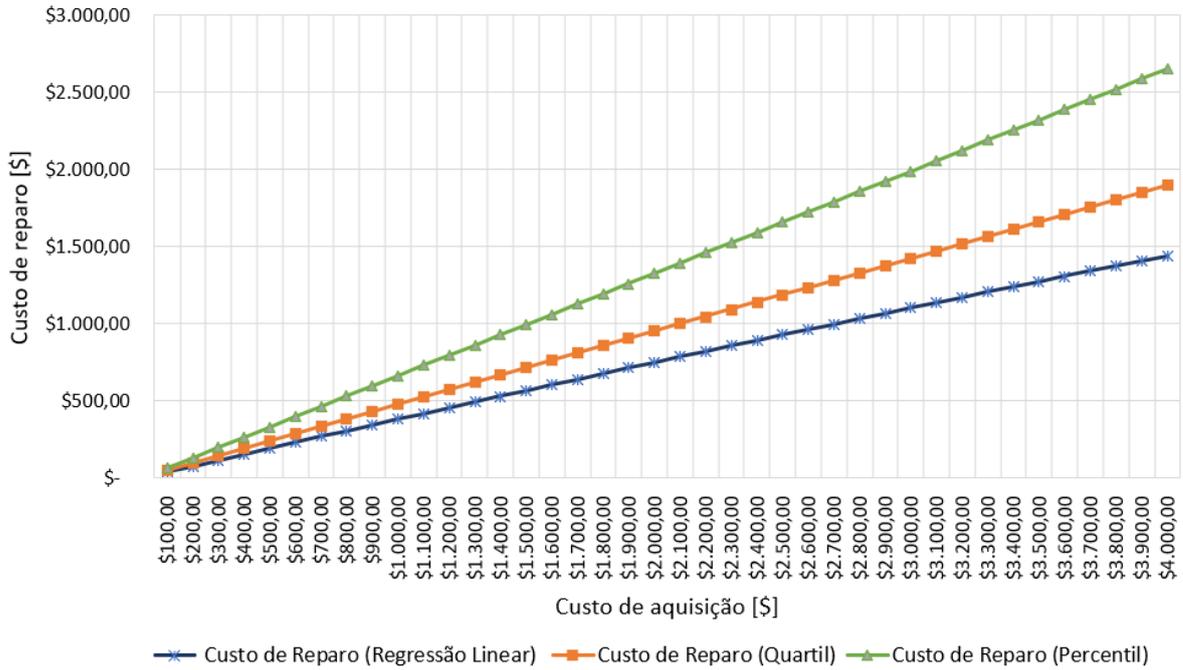
Fonte: Autora (2022).

Figura 19 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 2.



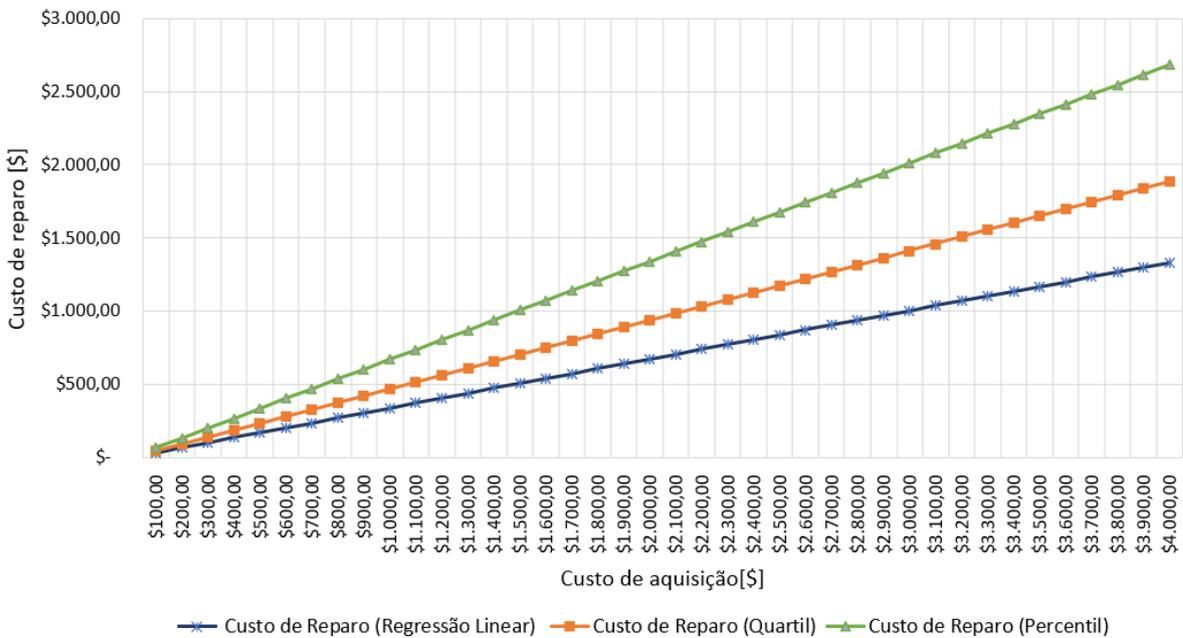
Fonte: Autora (2022).

Figura 20 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 3.



Fonte: Autora (2022).

Figura 21 – Comparação entre regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a amostra 4.



Fonte: Autora (2022).

Em relação ao custo de reparo técnico calculado via regressão linear, na amostra 1 observa-se a estabilização da curva azul, enquanto nas outras amostras isto não é observado, indicando que a estabilidade poderia ser atingida somente para

custos de aquisição mais elevados.

Já para o custo de reparo técnico calculado via quartis e percentis, percebe-se que quanto menor o intervalo considerado, maior a inclinação dessas duas retas. Para a amostra 1, como o percentil calculado foi maior que 1, significa que o custo de reparo técnico da peça sempre será superior ao custo de aquisição da mesma, o que impossibilita a convergência a um valor de corte. Dessa forma, para melhor análise comparativa entre as amostras, foram geradas as equações que regem cada uma das curvas apresentadas (Tabela 14).

Na primeira amostra, a equação oriunda da multiplicação do valor do quartil, que é uma constante, pelo custo de aquisição gera uma função do primeiro grau e possui o maior coeficiente angular, o que significa que nesse intervalo o custo de aquisição tem efeito maior sobre o custo de reparo técnico. A mesma conclusão se aplica ao percentil neste intervalo.

Tanto para o quartil quanto o percentil, as amostras 2, 3 e 4 apresentam taxas bases (coeficiente linear da reta) diferentes mas os coeficientes angulares são próximos, indicando que o custo de aquisição possui praticamente o mesmo efeito sobre o custo de reparo técnico.

Já as funções que relacionam o custo de aquisição com o custo de reparo técnico a partir do modelo de regressão linear são equações quadráticas e a curvatura da curva azul na amostra 1 se justifica pelo alto valor em módulo do coeficiente quadrático, diferentemente do que ocorre nas outras amostras onde, por possuir valor do coeficiente quadrático próximo de zero, as curvas se assemelham à uma reta no intervalo estudado.

Tabela 14 – Comparação entre as equações que regem a relação entre custo de aquisição e reparo técnico para cada amostra e para cada modelo.

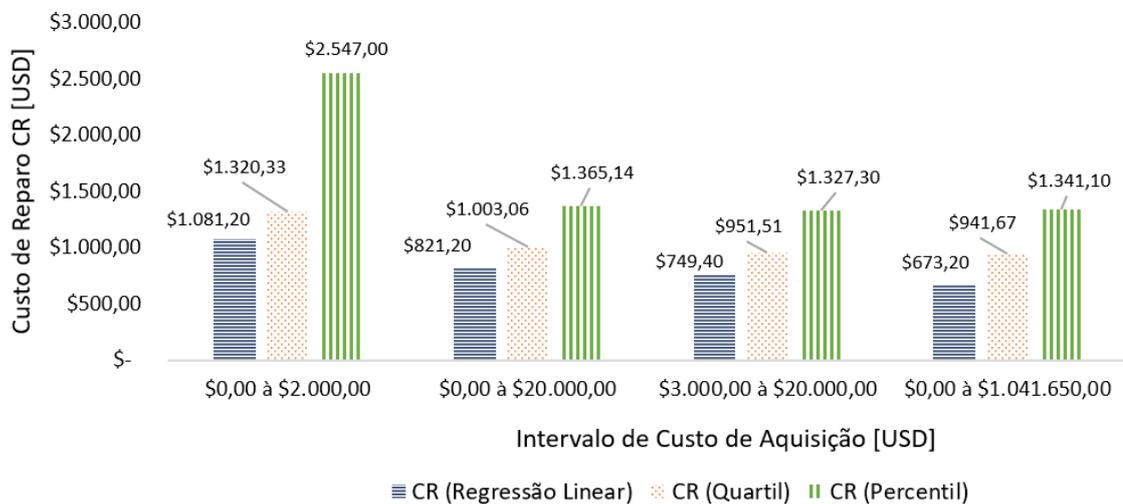
Amostra	Regressão Linear	Terceiro Quartil	Percentil 95
1	$y = -1x^2 + 74.06x + 7 \times 10^{-12}$	$y = 66.02x - 1 \times 10^{-12}$	$y = 127.35x$
2	$y = -0.1x^2 + 43.06x - 2 \times 10^{-12}$	$y = 50.15x$	$y = 68.26x$
3	$y = -0.07x^2 + 38.87x$	$y = 47.58x + 1 \times 10^{-12}$	$y = 66.37x$
4	$y = -0.02x^2 + 34.06x + 4 \times 10^{-12}$	$y = 47.08x + 6 \times 10^{-13}$	$y = 67.06x - 1 \times 10^{-12}$

Fonte: Autora (2022).

Portanto, comparando os gráficos gerados, nota-se que para diferentes amostras o custo de aquisição gera efeitos diferentes sobre o custo de reparo técnico. E, como esperado, por meio da utilização do percentil 95 o custo de reparo técnico obteve valor mais elevado em comparação com o terceiro quartil e com a regressão linear para todas as amostras.

A figura 22 mostra a comparação dos custos de reparo técnico (CR) para uma peça com custo de aquisição de \$2.000,00 calculados por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para cada intervalo estudado. Com isso, percebe-se que os maiores custos de reparo técnico gerados são referentes à amostra de \$0,00 à \$2.000,00 e os menores referentes à base de dados total, com o CR calculado por meio de regressão linear sendo menor para todas as amostras quando comparado ao quartil e percentil, já que é um modelo menos conservador porém, com uma alta variância já que R^2 é próximo de zero.

Figura 22 – Comparação dos custos de reparo técnico de material com custo de aquisição \$2.000,00 por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para os quatro intervalos amostrais.



Fonte: Autora (2022).

Porém, no intervalo de \$0,00 à \$2.000,00 (amostra 1), com a utilização do percentil o custo de reparo técnico de uma peça de \$2.000,00 atingiu o valor de \$2.547, enquanto para este mesmo custo de aquisição nas outras amostras o CR não ultrapassa \$1.365,00.

A análise da figura 22 evidencia que quando o custo de aquisição é limitado ao intervalo de \$0,00 à \$2.000,00, os custos de reparo técnico aumentam significativamente em relação às outras amostras. A variação do custo de reparo técnico para cada amostra em relação à base de dados completa para uma peça com valor de aquisição de \$2.000,00 pode ser vista na tabela 15.

Tabela 15 – Variação do custo de reparo técnico em cada método para cada amostra em relação à base de dados completa.

Amostra	Delta Regressão Linear	Delta Terceiro Quartil	Delta Percentil 95
1	\$408,00	\$378,66	\$1.205,90
2	\$148,00	\$61,39	\$24,04
3	\$76,20	\$9,84	\$-13,80

Fonte: Autora (2022).

Logo, com exceção do cálculo via percentil 95 para a amostra 3, os custos de reparo técnico encontrados em cada amostra foram superiores ao calculado pela análise da base de dados completa e, percebe-se que a maior variação está relacionada à amostra 1. Portanto, a partir desta análise, nota-se que a amostra 1 possui baixa representatividade em relação à base de dados completa.

A partir do custo de reparo técnico calculado tanto por regressão linear quanto pelo uso do terceiro quartil e percentil 95, para encontrar o valor de corte (VC) local para cada região foi realizada a composição de custos. O VC é dado pela soma entre custo de reparo técnico (C_{reparo}), custo de frete (C_{frete}), custo de impostos internacionais ($C_{impostos}$) e custos de armazém ($C_{armazem}$) para cada região, convergindo ao custo de reparo comercial. As equações abaixo informam esta composição tanto para o modelo de regressão (Equação 5) quanto para o modelo do terceiro quartil (Equação 6) e percentil 95 (Equação 7).

$$VC_{local(Regressao)} = C_{reparo_{regressao}} + C_{frete} + C_{impostos} + C_{armazem} \quad (5)$$

$$VC_{local(Quartil)} = C_{reparo_{quartil}} + C_{frete} + C_{impostos} + C_{armazem} \quad (6)$$

$$VC_{local(Percentil)} = C_{reparo_{percentil}} + C_{frete} + C_{impostos} + C_{armazem} \quad (7)$$

As descrições das atividades podem ser vistas na tabela 16. A numeração destas atividades estão relacionadas aos quatro fluxos logísticos existentes no modelo para viabilizar o reparo (tabela 17). Os custos de frete, impostos internacionais e custos operacionais no armazém (picking/packing, recebimento, envio) para cada região podem ser vistos na tabela 18. Os custos de frete logístico, das operações no armazém e das taxas internacionais foram retirados diretamente das tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 16 – Descrição das atividades consideradas no modelo.

Atividade	Descrição
1	Operação de Picking/Packing
2	Frete logístico (armazém-cliente)
3	Frete logístico (cliente-armazém)
4	Operação de recebimento de mercadoria no armazém
5	Operação de envio de mercadoria para reparo
6	Envio de mercadoria para reparo (armazém-reparo)
7	Impostos internacionais
8	Frete logístico (reparo-armazém)
9	Operação de recebimento da mercadoria procedente do reparo

Fonte: Autora (2022).

Tabela 17 – Atividades pertencentes a cada fluxo logístico.

Fluxo logístico	Atividades relacionadas
1º	1 e 2
2º	3 e 4
3º	5,6 e 7
4º	8 e 9

Fonte: Autora (2022).

Tabela 18 – Custos de frete, impostos internacionais e armazém para cada região.

Atividade	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
1	\$7,90	\$7,90	\$7,90	\$7,90	\$7,90
2	\$70,00	\$60,00	\$71,00	\$71,00	\$71,00
3	\$70,00	\$60,00	\$71,00	\$71,00	\$71,00
4	\$5,16	\$5,16	\$5,16	\$5,16	\$5,16
5	\$7,90	\$7,90	\$7,90	\$7,90	\$7,90
6	\$70,00	\$150,00	\$350,00	\$180,00	\$550,00
7	-	20,00%	18,00%	7,00%	17,00%
8	\$70,00	\$310,00	\$350,00	\$300,00	\$510,00
9	\$5,16	\$5,16	\$5,16	\$5,16	\$5,16

Fonte: Autora (2022).

Com isso, para a seleção do valor de corte local para cada região foi realizada a comparação entre os custos de reparo comercial calculados e o custo de aquisição. Dessa forma, no momento em que o custo de reparo comercial se torna menor que o custo de aquisição, este custo de reparo comercial se torna o valor de corte para a região.

Para fins de exemplificação, a figura 23 ilustra o processo de convergência ao valor de corte local utilizando os Estados Unidos (EUA), calculado por meio do terceiro quartil para o intervalo de \$0,00 à \$20.000,00. A figura ilustra os intervalos pré-determinados de custos de aquisição e o custo de reparo comercial, ou seja, o custo do reparo técnico com o acréscimo do custo de frete, impostos internacionais e custos operacionais no armazém.

Com isso, a figura 23 destaca o instante em que o custo de aquisição supera o custo do reparo comercial, que, neste exemplo, ocorre no momento em que o custo de aquisição é \$700,00 e o custo de reparo comercial \$657,19. Logo, neste caso, o valor de corte local possui valor de \$657,19.

Figura 23 – Exemplificação da convergência ao valor de corte para os EUA por meio do terceiro quartil e para a amostra de \$0,00 à \$20.000,00

Custo de Aquisição	EUA	EUA (Aquisição>Reparo comercial?)
\$ 100,00	\$ 356,27	FALSO
\$ 200,00	\$ 406,43	FALSO
\$ 300,00	\$ 456,58	FALSO
\$ 400,00	\$ 506,73	FALSO
\$ 500,00	\$ 556,88	FALSO
\$ 600,00	\$ 607,04	FALSO
\$ 700,00	\$ 657,19	VERDADEIRO
\$ 800,00	\$ 707,34	VERDADEIRO
\$ 900,00	\$ 757,50	VERDADEIRO
\$ 1.000,00	\$ 807,65	VERDADEIRO

Fonte: Autora (2022).

A comparação entre valor local para cada região por meio do modelo de regressão linear, quartil e percentil em cada intervalo de custo de aquisição são ilustrados nas tabelas 19, 20, 21 e 22.

Tabela 19 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$2.000,00.

Valor de corte	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
Regressão Linear	\$891,66	\$2.191,44	\$2.585,68	\$1.783,20	\$3.089,98
Terceiro quartil	\$966,29	\$4.390,00	\$5.489,00	\$2.473,54	\$7.288,34
Percentil 95	-	-	-	-	-

Fonte: Autora (2022).

Tabela 20 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$20.000,00.

Valor de corte	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
Regressão Linear	\$560,88	\$1.589,48	\$2.163,04	\$1.282,00	\$2.885,76
Terceiro quartil	\$657,19	\$2.079,33	\$2.776,40	\$1.562,57	\$3.779,93
Percentil 95	\$988,69	\$5.195,49	\$6.388,57	\$2.680,06	\$8.389,71

Fonte: Autora (2022).

Tabela 21 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$3.000,00 à \$20.000,00.

Valor de corte	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
Regressão Linear	\$498,72	\$1.473,42	\$1.977,52	\$1.188,48	\$2.685,58
Terceiro quartil	\$591,57	\$1.890,06	\$2.573,09	\$1.466,76	\$3.488,27
Percentil 95	\$969,77	\$4.492,54	\$5.592,56	\$2.482,24	\$7.397,12

Fonte: Autora (2022).

Tabela 22 – Valor de corte local calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a base de dados completa que varia de \$0,00 à \$1.041.650,00.

Valor de corte	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
Regressão Linear	\$475,92	\$1.359,04	\$1.798,72	\$1.097,36	\$2.492,12
Terceiro quartil	\$588,62	\$1.880,70	\$2.495,20	\$1.459,37	\$3.471,04
Percentil 95	\$976,67	\$4.697,71	\$5.886,37	\$2.499,50	\$7.784,41

Fonte: Autora (2022).

A diferença entre os valores de corte entre as regiões impactam e causam discrepâncias no planejamento das peças de reposição, já que uma peça considerada descartável (ou reparável) em uma região pode ser considerada como reparável (ou descartável) em outra. Dessa forma, para atualizar os valores de corte encontrados de acordo com o cenário global de reparo, deve-se calcular o valor de corte global.

Para o cálculo do valor de corte global foi considerada a premissa de que os Estados Unidos (EUA), Europa (EMEA), Brasil (SJK), Singapura (SIN) e Beijing (BJG) representam, respectivamente, 55%, 15%, 15%, 10% e 5% da demanda global de peças (Tabela 23).

Tabela 23 – Percentual de demanda de peças por região.

Região	Demanda [%]
EUA	55%
EMEA	15%
SJK	15%
SIN	10%
BJG	5%

Fonte: Autora (2022).

Portanto, o valor de corte global foi calculado fazendo uso da média ponderada pela demanda de peças em cada região, como é demonstrado nas equações 8, 9 e 10. O resultado, tanto por meio do modelo de regressão linear quanto pelo terceiro quartil e percentil 95, para cada intervalo de custo de aquisição, pode ser visto nas tabelas 24, 25, 26 e 27.

$$VC_{global(Regressao)} = VC_{local(Regressao)} \cdot Demanda[\%] \quad (8)$$

$$VC_{global(Quartil)} = VC_{local(Quartil)} \cdot Demanda[\%] \quad (9)$$

$$VC_{global(Percentil)} = VC_{local(Percentil)} \cdot Demanda[\%] \quad (10)$$

Tabela 24 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$2.000,00 (amostra 1).

Modelo	Valor de corte global
Regressão Linear	\$1.539,80
Terceiro quartil	\$2.625,08
Percentil 95	-

Fonte: Autora (2022).

Tabela 25 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$0,00 à \$20.000,00 (amostra 2).

Modelo	Valor de corte global
Regressão Linear	\$1.143,85
Terceiro quartil	\$1.435,07
Percentil	\$2.968,88

Fonte: Autora (2022).

Tabela 26 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para o intervalo de \$3.000,00 à \$20.000,00 (amostra 3).

Modelo	Valor de corte global
Regressão Linear	\$1.045,06
Terceiro quartil	\$1.315,92
Percentil 95	\$2.664,22

Fonte: Autora (2022).

Tabela 27 – Valor de corte global calculado por meio de regressão linear, terceiro quartil e percentil 95 para a base de dados completa que varia de \$0,00 à \$1.041.650,00 (amostra 4).

Modelo	Valor de corte global
Regressão Linear	\$969,76
Terceiro quartil	\$1.299,62
Percentil 95	\$2.763,95

Fonte: Autora (2022).

A partir da análise dos valores de corte globais gerados para cada intervalo, nota-se que o valor de corte global calculado via quartil para a amostra 1 extrapolou o limite do intervalo, ou seja, dentro do intervalo de \$0,00 à \$2.000,00 não há a convergência à um valor de corte via terceiro quartil.

A convergência ocorre apenas com a extrapolação dos dados, o que, do ponto de vista de negócio, é arriscado pois com a extrapolação assume-se que peças com custos de aquisição mais altos possuem o mesmo comportamento em relação ao custo de reparo comercial que itens que custam até \$2.000,00.

Com isso, é possível observar que os valores obtidos a partir da amostra 1 são muitos distintos das outras amostras, logo, se fosse utilizado este valor de corte global conforme foi utilizado pela empresa X em 2017, não seria representativo para todas as peças.

Ao comparar as amostras 2 e 3 nota-se que para itens que possuem custo de aquisição de \$0,00 à \$3.000,00, que é a diferença entre estas amostras, não percebe-se evidências de grande influência sobre o valor de corte global, já que a diferença entre estas duas amostras é baixa quando comparada à diferença da amostra 1.

Nota-se também que a amostra 3, que corresponde ao maior volume de dados, é representativa comparado à base completa (amostra 4), já que a diferença de valor de corte também é baixa.

Logo, analisando as amostras limitadas em termos de custo de aquisição (amostra 1, 2 e 3), notou-se desvio em relação ao valor de referência, que compreende à base de dados completa (amostra 4). Uma vez determinado este erro amostral, foi

optado pela utilização do valor de corte global oriundo da base de dados completa, devido à maior representatividade. Deve-se levar em consideração que na base de dados completa há possibilidade da existência de outliers, que, por limitações de tempo não foram estudados neste trabalho.

Dessa forma, na amostra 4, que engloba todo o conjunto de peças, o menor valor de corte global está associado à regressão linear e o maior, ao percentil. A função de regressão linear utilizada nos cálculos possui coeficiente de determinação (R^2) próximo de zero, o que indica baixa confiabilidade da utilização desta função. O percentil 95 superestima a grande maioria dos valores, já que abrange 95% dos dados, superestimando o valor de custo de reparo comercial para os dados que estão nos primeiros percentís.

Portanto, para tomada de decisão, propõe-se utilizar o valor de \$1.300,00, próximo ao calculado no terceiro quartil (\$1.299,62) na amostra 4.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico será realizada a análise e discussão dos resultados obtidos e valor de corte global proposto e também a comparação com o valor de corte global utilizado atualmente pela empresa X.

5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Esta pesquisa teve como objetivo construir um método que possa ser utilizado para tomada de decisão de compra ou reparo de peças da aviação executiva com base em custos.

Com isso, foram gerados três métodos de análise para cada intervalo de custo de aquisição e proposto como valor de corte global o valor calculado por meio do terceiro quartil para a amostra 4, que, por possuir todos os dados, é a mais representativa.

A fim de avaliar a proposta, foi realizada a comparação entre o custo de reparo técnico real e o proposto por cada um dos métodos (regressão linear, terceiro quartil e percentil 95) para cada amostra.

Logo, para cada intervalo de custo de aquisição foi analisada a quantidade de vezes em que o custo de reparo técnico real é maior que o custo de reparo técnico modelado. Neste estudo foi assumido que quando o custo de reparo técnico real é maior que o proposto pela modelagem, a empresa é prejudicada financeiramente, já que ocasiona em um custo maior que o esperado, prejudicando o planejamento financeiro da organização.

As tabelas 28,29, 30 e 31 foram obtidas através da quantidade de vezes em relação à quantidade total (Prejuízo [%]) em que o custo de reparo técnico real é maior que o modelado para cada intervalo de custo de aquisição e para cada amostra. Considerando o custo médio de cada intervalo, foi possível calcular o prejuízo médio esperado (PME), por meio da multiplicação entre o valor médio e o percentual de prejuízo para cada intervalo (Equação 11).

$$PME = VM \cdot Prejuizo[\%] \quad (11)$$

O prejuízo médio esperado é uma estimativa do valor médio em dólares que faltará quando o reparo técnico real for superior aos modelados. Para considerar o impacto do volume em cada intervalo amostral, o prejuízo médio esperado foi ponderado pelo volume.

Tabela 28 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 1.

Método	PMV [USD]
Regressão Linear	\$15.126,88
Terceiro quartil	\$1.971,92
Percentil 95	\$534,27

Fonte: Autora (2022).

Tabela 29 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 2.

Método	PMV [USD]
Regressão Linear	\$9.283,50
Terceiro quartil	\$1.971,92
Percentil	\$534,27

Fonte: Autora (2022).

Tabela 30 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 3.

Método	PMV [USD]
Regressão Linear	\$8.980,51
Terceiro quartil	\$1.971,92
Percentil 95	\$534,27

Fonte: Autora (2022).

Tabela 31 – Resultado do prejuízo médio esperado ponderado pelo volume (PMV) de cada intervalo de custo de aquisição para cada método da amostra 4.

Método	PMV [USD]
Regressão Linear	\$6.170,80
Terceiro quartil	\$1.971,92
Percentil 95	\$534,27

Fonte: Autora (2022).

Logo, como o prejuízo médio esperado ponderado pelo volume no modelo de regressão linear é maior, este modelo foi descartado. Já o prejuízo calculado tanto pelo quartil quanto pelo percentil são constantes para todas as amostras, o que significa que, pelo critério do prejuízo médio esperado, não há diferenças entre as amostras para cada um destes dois modelos.

Dessa forma, mesmo que o cálculo do valor de corte por meio do percentil apresente um prejuízo médio esperado menor, este método eleva o valor de corte global em 168% em relação ao quartil, gerando margem menor para acomodar variações nos custos de frete logístico, impostos internacionais e taxas de operação no armazém.

Como neste estudo de caso foram utilizadas premissas para o cálculo destes valores, que podem sofrer altas variações com o tempo, foi confirmada a proposta de utilização do valor de corte global calculado via quartil.

E, com a separação da base de dados completa em intervalos, foi possível verificar a diferença no valor de corte gerado entre amostras e concluir que, do ponto de vista de negócio, é mais adequada a utilização da amostra 4 por ser mais representativa, já que abrange todos os dados do problema e também porque não há risco de extrapolação, como ocorreu com a amostra 1.

Portanto, com as propostas do valor de corte global gerado por meio da utilização do terceiro quartil para a amostra 4 confirmadas, o valor de corte global final aproximado resulta em \$1.300,00.

5.2 COMPARAÇÃO DO VALOR DE CORTE GERADO COM O VALOR UTILIZADO ATUALMENTE PELA EMPRESA

Atualmente a empresa estudada separa as peças reparáveis e descartáveis através de dois critérios: técnico e comercial. O critério técnico considera a reparabilidade do item, ou seja, se o item possuir identificação SPC = 2 ou 6, ele pode passar pelo processo de reparo que suas propriedades mecânicas não sofrerão alteração.

Já o critério comercial considera que apenas serão reparadas peças que custam acima de um determinado valor de corte global, independente da identificação SPC. Logo, para uma peça ser considerada reparável, deve possuir SPC = 2 ou 6 e também custo de aquisição acima do valor de corte global estipulado.

Em 2017 a empresa estudada utilizou um modelo para convergir a este valor de corte global e o valor calculado foi de \$1.060,00. Este modelo utilizado pela empresa será denominado "Modelo A" neste trabalho, enquanto as novas sugestões de valor de corte propostas serão denominadas "Modelo B".

Para o Modelo A, foi considerada uma base de dados de custos de reparo técnico para 1.819 peças com custo de aquisição variando entre \$0,00 à \$2.000. Os custos de frete doméstico e internacional entre as regiões utilizados em 2017 podem ser vistos na tabela 32.

Tabela 32 – Custo médio de frete logístico entre regiões utilizado no modelo A.

Frete médio [USD]	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
EUA	\$100	-	-	-	-
EMEA	\$250,00	\$150,00	-	-	-
SJK	\$100,00	-	\$100,00	-	-
SIN	\$186,00	-	-	\$100,00	-
BJG	\$500,00	-	-	-	100,00

Fonte: Empresa X (2017).

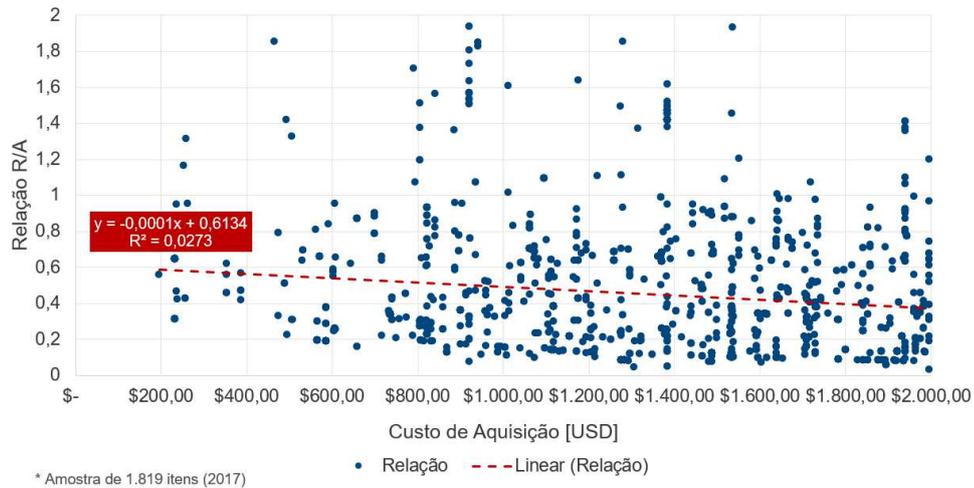
Dessa forma, percebe-se que os custos de frete logístico sofreram alterações quando comparados aos atuais (tabela 2) e que no modelo A foi utilizada a premissa de que o custo entre regiões distintas eram iguais. Já o modelo B considerou os custos médios reais entre as regiões, ou seja, o custo de frete logístico entre os EUA e EMEA é diferente entre o EMEA e EUA. Esta atualização com dados reais torna o modelo B mais preciso.

A partir da análise da tabela 2 e 32, conclui-se que o custo de frete interno diminuiu em todas as regiões e que o maior aumento ocorreu no custo de frete do Brasil (SJK) para os Estados Unidos (EUA), com um aumento de 350%. Os motivos das variações dos custos de frete não é escopo deste trabalho.

Em relação aos valores de impostos internacionais e custos de operações no armazém, por falta de dados atualizados, foram mantidos constantes em relação ao modelo A.

Para o cálculo do valor de corte no modelo A foi estudada a relação entre custo de aquisição (CA) e a razão do custo de reparo técnico e aquisição (R/A). Estes dados foram correlacionados via regressão linear e o gráfico de dispersão gerado pode ser visto na figura 24.

Figura 24 – Dispersão dos dados utilizada no modelo A.



Fonte: Empresa X (2017).

Com a análise da figura 24, percebe-se que o coeficiente de determinação gerado a partir da regressão linear ($R^2_{modeloA} = 0,0273$) é próximo de zero, indicando alta variância entre os dados e baixa correlação. E, por falta de informações sobre outras variáveis que poderiam influenciar no custo de reparo técnico, possibilitando uma correlação maior entre os parâmetros analisados, o valor de corte calculado via regressão linear foi implementado na empresa em 2017 e ainda é utilizado atualmente.

Para fins de comparação, no modelo B foi calculado o valor de corte para cada região a partir de amostra 1, que varia de \$0,00 à \$2.000,00 por meio da regressão linear e as comparações com o modelo A para o valor de corte local e global podem ser vistas, respectivamente, nas tabelas 33 e 34.

Tabela 33 – Comparação entre o valor de corte local da amostra que varia de \$0,00 à \$2.000,00 calculado via regressão linear para cada modelo.

Modelo	EUA	EMEA	SJK	SIN	BJG
A	\$900,00	\$1.100,00	\$1.100,00	\$1.200,00	\$2.300,00
B	\$891,66	\$2.191,44	\$2.585,68	\$1.783,20	\$3.089,98

Fonte: Autora (2022).

A partir do valor de corte local, tanto para o modelo A quanto para o modelo B, foi utilizada a ponderação pela demanda de peças, seguindo a tabela (23). O valor de corte global calculados na amostra de \$0,00 à \$2.000,00 via regressão linear para ambos modelos pode ser visto na tabela 34.

Tabela 34 – Comparação entre o valor de corte global da amostra que varia de \$0,00 à \$2.000,00 calculado via regressão linear para cada modelo.

Modelo	Valor de Corte [USD]
A	\$1060,00
B	\$1.539,80

Fonte: Autora (2022).

A diferença do valor de corte entre o modelo A e B, ambos calculados para o mesmo intervalo amostral, pode ser explicado devido à diferença da base de dados utilizada, variação do custo de frete logístico e também à função linear utilizada para ajustar os dados. Em termos de coeficiente angular, os dois modelos são iguais e indicam que o efeito do custo de aquisição sob o custo de reparo técnico é o mesmo. Porém, o modelo B apresenta uma taxa base maior.

A tabela 35 mostra as funções lineares utilizadas para gerar o custo de reparo técnico e o respectivo coeficiente de determinação em cada modelo.

Tabela 35 – Comparação entre as equações lineares utilizadas para o cálculo do valor de corte para a amostra 1 no modelo A e B.

Modelo	Equação linear	R^2
A	$y = -1 \times 10^{-4}x + 0.6134$	0,0273
B	$y = -1 \times 10^{-4}x + 0.7406$	0,0077

O método proposto neste trabalho, que convergiu ao valor de corte de \$1.300,00, levou em consideração a base de dados com 37.414 itens. Ao comparar o valor de corte global utilizado atualmente pela empresa com a amostra 1, que varia de \$0,00 à \$2.000,00, nota-se uma diferença de aproximadamente \$480,00, enquanto ao comparar com a amostra 4, que compreende toda a base de dados, a diferença diminui para \$240,00.

Dessa forma, é possível perceber que o valor gerado pelo modelo A de \$1.060,00 tratou-se de uma amostra enviesada, já que, dados pertencentes ao intervalo de \$0,00 à \$2.000,00 não representam a amostra total que varia de \$0,00 à \$1.041.650,00.

É importante destacar que a precisão do valor de corte global encontrado seria maior se fosse realizado o estudo de outliers na amostra, que, por questões de tempo, não foi realizado neste trabalho.

Logo, o aumento do valor de corte global proposto por este trabalho, além de representar melhor toda a amostra, representa melhora no custo operacional, já que

uma quantidade menor de peças terão que passar pela gestão do reparo, ou seja, maior quantidade de peças serão descartadas.

Destaca-se que o gerenciamento de itens reparáveis é mais complexo que o de descartáveis pois envolve a coordenação de quatro fluxos logísticos, enquanto para peças descartáveis, apenas um. Então, quanto maior o número de peças que forem para reparo, maior será a quantidade de operações no armazém (recebimento e envio) e, conseqüentemente, a maior complexidade da operação influenciará diretamente em um custo maior de gerenciamento.

E, com o aumento do valor de corte global, a carga de trabalho do setor de gerenciamento de reparáveis irá diminuir, então eles trabalharão de forma focada nos itens com maior custo de aquisição. Dessa forma, com menos carga de trabalho focada em itens até \$1.300,00, a área de reparáveis consegue se concentrar em fazer melhores cotações e negociações com oficinas de reparo.

Porém, a análise do impacto de um número maior de peças descartadas também deve ser realizada, já que há custos envolvidos no descarte adequado e influência direta nas metas de sustentabilidade da empresa.

A tabela 36 resume os modelos estatísticos abordados e foi validado pela supervisão da empresa que este trabalho fez uma análise mais completa em relação ao anterior (modelo A) a fim de convergir a um valor de corte global que representasse melhor toda a amostra e implicasse em maior margem para acomodar variações de custos principalmente de fretes logísticos e ganhos operacionais, estes discutidos de forma qualitativa neste estudo.

Tabela 36 – Comparação entre os modelos estatísticos.

Modelo	Análise PMV	Conclusão
Regressão Linear	↑↑↑ PMV	Baixa confiabilidade ($R^2 \ll 1$)
Terceiro Quartil	↑↑ PMV	CONFIRMAÇÃO DO MODELO
Percentil 95	↓ PMV	Menor margem para acomodar variações de custos

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As organizações do setor aeronáutico estão cada vez mais focadas na redução de custos através do gerenciamento eficiente de peças de reposição para realizar as manutenções nas aeronaves e prolongar sua vida útil. Manter o valor de corte para peças reparáveis atualizado com base em custos é uma estratégia necessária para se manter competitivo neste mercado.

Este trabalho apresentou um método para calcular o valor de corte global para peças reparáveis com base no banco de dados fornecido pela empresa e a variação deste valor com o tamanho e intervalo das amostras foi abordada.

O objetivo geral deste trabalho foi cumprido através de um estudo de caso em uma empresa do setor aeronáutico visando identificar e analisar o melhor método para o cálculo do valor de corte a partir dos dados disponíveis.

Foram discutidas as principais dificuldades encontradas durante o processo e a importância da aquisição de outros tipos de dados para maior precisão do valor de corte.

O presente estudo analisou mais métodos estatísticos quando comparado ao método utilizado atualmente na empresa, porém teve tempo limitado para apresentar maiores evoluções. Todas as etapas deste trabalho foram validadas com a supervisão do setor e, neste momento, o método proposto encontra-se em fase de maturação na organização, e, se continuada a evolução para a implementação sistêmica, a empresa obterá ganhos significativos.

Espera-se que o trabalho contribua para a ampliação do conhecimento sobre gerenciamento de peças de reposição no setor aeronáutico e possa estimular e auxiliar outras empresas no processo de cálculo e implementação do valor de corte global, visando maior economia de recursos.

Destaca-se, também, os conhecimentos específicos sobre manutenção de aeronaves, planejamento de peças de reposição e cadeia de suprimentos do setor aeronáutico adquiridos pela aluna durante a elaboração do estudo, aprimorando a experiência para uma formanda em engenharia aeroespacial atuar como engenheira de suporte ao cliente na empresa deste estudo de caso.

A partir desse estudo, podem ser elaborados outros métodos para convergir à um valor de corte mais preciso, buscando analisar outros parâmetros que afetam o custo de reparo técnico da peça, além do custo de aquisição. E, dessa forma, atingir uma correlação forte entre os parâmetros, com R^2 próximo de 1.

Além disso, sugere-se realizar estudo sobre o impacto de outliers na amostra, para que seja possível também atingir maior precisão. Sendo assim, a empresa

estudada também opta por estudos mais aprofundados sobre o valor de corte antes da futura implementação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. *RBAC 01: Definições, regras de redação e unidades de medida*. 2022. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_por/tr1538.htm.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS AEREAS. *Como e feita e qual e a periodicidade de manutenção de um avião*. 2019. Disponível em: <https://www.abear.com.br/imprensa/agencia-abear/noticias/como-e-feita-e-qual-e-a-periodicidade-de-manutencao-de-um-aviao/>={2022-06-3}.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Confiabilidade e manutenibilidade: terminologia*. Rio de Janeiro, 1994.

BARBETTA, P.; REIS, M.; BORNIA, A. *Estatística para cursos de engenharia e informática*. 3. ed. [S.l.]: Editora atlas, 2010. ISBN 978-85-224-5994-0.

BEATA, S.; KOT, S. Importance of spare parts suppliers in air transport. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, v. 9, p. 169–173, 2018. Disponível em: <http://www.ijimt.org/vol9/808-104.pdf>.

BOWERSOX, D. et al. *Gestão logística da cadeia de suprimentos*. 4. ed. AMGH Editora, 2013. ISBN 9788580553185. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=cli2AwAAQBAJ>.

CAUCHICK, P. A. M. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Produção*, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132007000100015>.

CAVALCANTE, C. A. V. Modelo multicriterio de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando promethee ii em situações de incerteza. *Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional*, p. 279–296, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-74382005000200007>.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONAUTICOS. *Assessoria Estatística: Sumario estatístico 2010-2019*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/estatisticas/panorama?download=207:sumario-estatistico-de-avioes>.

CORREA, H. L. *Administração de cadeias de suprimentos e logística - integração na era da industria 4.0*. 2. ed. [S.l.]: Atlas, 2019. ISBN 8597021993.

COSTA, M. de A. *Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional*. 104 p. — Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. [S.l.]: Atlas, 2002.

GLASSER, G. J. Planned replacement: some theory and its application. *Journal of Quality Technology*, p. 100–119, 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00224065.1969.11980359>.

- GO4! *Como a estruturação de ESG na sua empresa colabora para a atração de investidores?* 2022. Disponível em: <https://go4.com.br/como-a-estruturacao-de-esg-na-sua-empresa-colabora-para-a-atracacao-de-investidores/>.
- JOHNSON, V. Minimizing life cycle cost for subsonic commercial aircraft. *Journal of Aircraft*, 02 1990.
- KENNEDY, W. J.; PATTERSON, J. W.; FREDENDALL, L. D. An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, v. 76, p. 201–215, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00174-8).
- KINNISON, H. A. *Aviation Maintenance Management*. 2. ed. Estados Unidos da América: McGraw-Hill, 2012. ISBN 0071805028.
- KNOTTTS, R. M. H. Civil aircraft maintenance and support: Fault diagnosis from a business perspective. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, p. 335–348, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/13552519910298091>.
- LEE, H. L.; BILLINGTON, C. The evolution of supply-chain-management models and practice at hewlett-packard. *Interfaces*, v. 25, n. 5, p. 42–63, 1995. Disponível em: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:inm:orinte:v:25:y:1995:i:5:p:42-63>.
- LIMA, E. J. M.; PAZ, L. R. S. A importância da manutenção de aeronaves e a cultura de segurança. *ETCEMP*, 2018. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_final_rafael_e_eduardo_-_engenharia_mecanica_uninorte.pdf.
- MACHADO, M. C.; URBINA, L. M. S.; ELLER, M. A. G. Planejamento de uma linha de manutenção de aeronaves. aplicação dos conceitos de balanceamento. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2010. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_113_743_16779.pdf.
- MACHADO, M. C.; URBINA, L. M. S.; ELLER, M. A. G. Manutenção aeronautica no brasil: distribuição geografica e tecnica. *GP*, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1031>.
- MARCUZZO, A. *Legislação aeronautica comentada: ênfase em manutenção*. [S.l.]: Asa, 2008.
- MOFOKENG, T.; MATIVENGA, P. T.; MARNEWICK, A. Analysis of aircraft maintenance processes and cost. *Procedia CIRP*, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.115>.
- MOKASDAR, A. *A quantitative study of the impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain*. 72 p. Dissertação (Mestrado) — University of Cincinnati, India, 2012.
- MORONI, M. A. *Serviços de manutenção aeronáutica como unidade de negócios: um modelo de gestão baseado num sistema de indicadores de desempenho*. 198 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

OLIVEIRA, M. N.; CINTRA, N. C.; GOMES, F. S. Comparativo automobilístico: manutenção preventiva e corretiva. *IV Simposio Nacional de Ciências e Engenharias*, p. 1–10, 2020. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/SINACEN/article/view/7582/3744>.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento da gestão de manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. *Revista de Gestão Industrial*, 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/16/13>.

RABELLO, C. E. *A terminologia de uma empresa do setor de manutenção aeronáutica: uma proposta de organização*. 68 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

ROMEIRO, E. *Projeto do produto*. 8. ed. [S.l.]: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

SCAVARDA, L. F. R.; HAMACHER, S. Evolução da cadeia de suprimentos da industria automobilística no brasil. *Revista de Administração Contemporânea*, p. 201–219, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/GwLRhvp36JFMg4kFbs9nsdx/?format=pdf&lang=pt>.

SILVA, E.; MENEZES, E. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 4. ed. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. *Cadeia de Suprimentos Projeto e Gestão: Conceitos, Estratégias e Estudos de Caso*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, S. F. de; FONSECA, S. U. L. da. Logística reversa: oportunidades para redução de custos em decorrência da evolução do fator ecológico. *Revista Terceiro Setor*, v. 3, p. 29–39, 2009. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/3setor/article/view/512/606>.

SWAMINATHAN, J. M.; SMITH, S. F.; SADEH, N. M. *A Multi Agent Framework for Modeling Supply Chain Dynamics*. Pittsburgh, 1996.

TRACHT, K.; NIESTEGGE, A.; SCHUH, P. Demand planning based on performance measurement systems in closed loop supply chains. *Procedia CIRP*, v. 12, p. 324–329, 12 2013.

TSANG, A. H. C. *Maintenance performance management in capital intensive organizations*. 215 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Toronto, Toronto, 2000.

WALTER, M.; HOLMSTRÖM, J.; YRJÖLÄ, H. Rapid manufacturing and its impact on supply chain management. *Proceedings of Logistics Research Network Annual Conference, Dublin, Ireland, 01 2004*.

YIN, R. *Pesquisa Estudo de Caso - Desenho e Metodos*. 2. ed. [S.l.]: Bookman, 1994.