

YASMIN DE SOUZA MAXIMO

**PART-OUT DE UMA AERONAVE COMERCIAL E
LOGÍSTICA REVERSA DAS PEÇAS PARA
MANUTENÇÃO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2024

YASMIN DE SOUZA MAXIMO

**PART-OUT DE UMA AERONAVE COMERCIAL E
LOGÍSTICA REVERSA DAS PEÇAS PARA
MANUTENÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Uberlândia como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Aeronáutica. *EXEMPLAR DE DEFESA*

Orientador: Prof. Dr. Higor Luis Silva

Uberlândia - MG

2024

YASMIN DE SOUZA MAXIMO

**PART-OUT OF A COMMERCIAL AIRCRAFT AND
REVERSE LOGISTICS OF PARTS FOR MAINTENANCE**

Final Paper submitted to the Faculty of Mechanical Engineering from Federal University of Uberlândia in partial fulfillment of the requirements for the degree of Aeronautical Engineer. *EXAMINATION BOARD PRESENTATION COPY*

Advisor: Prof. Dr. Higor Luis Silva

Uberlândia - MG

2024

Este trabalho é dedicado às mulheres dentro da ciência que servem de exemplo para que eu e muitas outras corram atrás de seus sonhos e possam mudar o mundo, independentemente do que digam para elas.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos principais são direcionados à minha família: meus pais, Sandra e Doni e às minhas irmãs, Potiara e Arielli, eles me apoiaram em todo meu caminho acadêmico até aqui e me acompanharam com confiança no meu progresso e pelo apoio emocional.

Ao meu namorado, Jin Ping, que me apoia, escuta e se desdobra para me ajudar no que for preciso, que acima de tudo é um grande amigo, sempre presente nos momentos difíceis com uma palavra de incentivo.

Ao meu orientador, Higor Luis Silva, que apesar da intensa rotina de sua vida acadêmica aceitou me orientar neste trabalho e se dispôs a me ajudar nos momentos que precisei, com grande atenção dispensada que se tornou essencial para que o projeto fosse concluído. As suas valiosas indicações fizeram toda a diferença.

A todos os meus amigos do curso de graduação que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo, pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

À Embraer e aos meus colegas de trabalho, pelo excelente estágio que me fez aprender sobre diversas áreas e entrar em comunicação com pontos de vista diferentes.

Também quero agradecer à Universidade Federal de Uberlândia e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Por último ao meu sobrinho, João Guilherme, que sempre está comigo para deixar o ambiente mais leve e divertido. E inspirado a seguir uma carreira brilhante, independentemente da área.

*“As mulheres devem tentar fazer as coisas que os homens tentaram.
Quando falhamos, o erro deve ser um desafio para outras.”
(Amelia Earhart)*

RESUMO

MAXIMO, Y.S. **Part-out de uma aeronave comercial e logística reversa das peças para manutenção.** 2024. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2024.

A viabilidade de um projeto *part-out* de uma aeronave é uma investigação detalhada que aborda os aspectos financeiros, operacionais e estratégicos relacionados ao desmantelamento de uma aeronave E190 e à subsequente gestão das peças para manutenção. O cerne do projeto é a análise de viabilidade do plano de negócios para esta tarefa. No decorrer deste trabalho, foram examinados minuciosamente os custos e receitas associados ao processo de *part-out*, com o objetivo de identificar potenciais ganhos econômicos e avaliar a viabilidade financeira do empreendimento. Além disso, foi realizada uma análise criteriosa para a escolha do local mais adequado para sua realização, levando em consideração diversos fatores como infraestrutura, regulamentações locais, acesso a mercados de peças de reposição entre outros. A pesquisa também se concentrou em aspectos operacionais, tais como seleção de equipamentos para desmontagem eficiente da aeronave e identificação de componentes reutilizáveis, visando maximizar a eficiência do processo e minimizar os custos operacionais. A logística reversa foi abordada em detalhes com a implementação da manutenção de componentes de uma aeronave e posterior reutilização em outra. Ao integrar todas essas análises e considerações, o estudo oferece propostas valiosas para a indústria da aviação, contribuindo para aprimorar as práticas de gestão de aeronaves e logística reversa, além de fornecer uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas relacionadas a projetos de *part-out*.

Palavras-chave: Part-out, desmantelamento, logística reversa, manutenção de aeronaves, plano de negócios.

ABSTRACT

MAXIMO, Y.S. **Part-out of a commercial aircraft and reverse logistics of parts for maintenance**. 2024. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2024.

The feasibility of an aircraft *part-out* project is a detailed investigation that addresses the financial, operational and strategic aspects related to the dismantling of an E190 aircraft and the subsequent management of parts for maintenance. The core of the project is the feasibility analysis of the business plan for this task. During this work, the costs and revenues associated with the *part-out* process were thoroughly examined, with the aim of identifying potential economic gains and evaluating the financial viability of the enterprise. Furthermore, a careful analysis was carried out to choose the most suitable location for the event, taking into account several factors such as infrastructure, local regulations, access to spare parts markets, among others. The research also focused on operational aspects, such as selecting equipment for efficient disassembly of the aircraft and identifying reusable components, aiming to maximize process efficiency and minimize operating costs. Reverse logistics was covered in detail when implementing components maintenance from an aircraft, then reusing in another one. By integrating all these analyzes and considerations, the study offers valuable proposals for the aviation industry, contributing to improving aircraft management and reverse logistics practices, as well as providing a solid basis for making strategic decisions related to aviation projects.

Keywords: Part-out, dismantling, reverse logistics, aircraft maintenance, business plan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo de vida idealizado de uma aeronave.	17
Figura 2 – Processo de descomissionamento de aeronaves.	19
Figura 3 – O lado leste das instalações da AMARC (Aircraft Maintenance And Regeneration Center (United States)).	20
Figura 4 – Diagrama esquemático da dinâmica e portas de decisão do PBSP (<i>Parting-Out Based Spares Provisioning</i>): (1) parada de manutenção corretiva (CM) e (2) parada de manutenção preventiva (PM); (3) parar o processo de separação (PO - <i>Parting-Out Process</i>), ou seja, parar o armazenamento de separação (POS - <i>Parting-Out Storage</i>), o que significa parar de enviar unidades diretamente para o armazenamento; (4) interromper a manutenção de separação (POM - <i>Parting-Out Maintenance</i>).	22
Figura 5 – Embraer E190 Amas Bolívia no pátio da Embraer em Sorocada	28
Figura 6 – Composição dos custos	36
Figura 7 – Berço/Gabarito para erguer e cortar aeronave	38
Figura 8 – Guindaste para içamento de carga	39
Figura 9 – Caixas para armazenamento de pedaços da fuselagem, motores e componentes	39
Figura 10 – Critério de decisão de hangar.	40
Figura 11 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Human Resources</i>	41
Figura 12 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Political/Economics Implicantions</i>	41
Figura 13 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Airworthiness & Regulatory</i>	42
Figura 14 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Competitive Advantage</i>	42
Figura 15 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Business Vianility & Risk</i>	43
Figura 16 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Relationships</i>	43
Figura 17 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Process</i>	44
Figura 18 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Capacity</i>	44
Figura 19 – Critério de decisão de hangar segundo <i>Logistics</i>	45
Figura 20 – Embraer Gavião Peixoto vista pelo Google Earth (2023)	45
Figura 21 – Embraer Sorocaba vista pelo Google Earth (2023)	46
Figura 22 – Composição da receita	47
Figura 23 – Comparativo Custo x Receita	48
Figura 24 – Aeronave em estado de preservação.	49
Figura 25 – Aeronave sobre berços para corte no Hangar.	50
Figura 26 – Carcaça da fuselagem dividida sobre berços.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos totais de <i>part-out</i>	36
Tabela 2 – Pessoas e áreas para PO.	37
Tabela 3 – Planejamento da programação em dias úteis.	37
Tabela 4 – lista de <i>parts</i>	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AOG	Aircraft on Ground
BP	Buiseness Plan
CM	Corrective Maintenance
DGAC	Direção Geral Aeronáutica Civil
DIRMAB	Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico
EASA	European Union Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
GEX	Ensaio em Vôo
GPX	Código IATA do aeroporto próprio da Embraer de Gavião Peixoto
GSE	Ground Support Equipment
HH	Fator Homem-Hora
IATA	Associação Internacional de Transporte Aéreo
ICAO	Organização da Aviação Civil Internacional
IP	Internet Protocol
LR	Logística Reversa
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
NDT	Non Destructive Test
OEM	Original Equipment Management
PBSP	Part-Out Based Spares Provisioning
PM	Preventive maintenance
PN	Part Number
PO	Parting-Out Process
POM	Parting-out Maintenance
POS	Parting-Out Storage
PPV	Preparação para Vôo
RTS	Return to Service
SJK	Código IATA do aeroporto de São José dos Campos
SN	Serial Number
SOD	Código IATA do aeroporto de Sorocaba
TI	Tecnologia da Informação

LISTA DE SÍMBOLOS

C — Custo

HH — Fator Homem-Hora

P — Percentual de receita para labor rate

R — Receita

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos e Metodologia	14
1.2	Estruturação do Documento	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Ciclo de vida de uma aeronave	16
2.1.1	<i>Processo de part-out na aviação</i>	22
2.2	Logística reversa na indústria aeronáutica	24
2.2.1	<i>Sustentabilidade na logística reversa</i>	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	Histórico da aeronave analisada	27
3.2	Etapas do Processo	28
3.3	Análise de custos e receita	29
3.3.1	<i>Parâmetros de custos</i>	30
3.3.2	<i>Parâmetros da receita</i>	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Resultados de custos	35
4.1.1	<i>BID empresa especializada em corte</i>	37
4.1.2	<i>Parts</i>	38
4.1.3	<i>Infraestrutura</i>	40
4.2	Resultados de receita	46
4.3	Corte e armazenamento	48
4.4	Questões ambientais	50
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	52
	REFERÊNCIAS	54

INTRODUÇÃO

Ao lançar um produto aeronáutico, é necessário oferecer serviços pós-lançamento, como inspeções e manutenções, que acompanham todas as documentações da aeronave, bem como suas modificações até a finalização de seu ciclo de vida. Ao encerrar o ciclo de vida, muitas aeronaves, que ainda possuem componentes em boas condições, passam pelo processo de *part-out* ou *dismantling*, ou seja, o desmantelamento da aeronave, um procedimento que envolve o desmonte da aeronave e de seus componentes. O valor desses componentes é evidente, motivo pelo qual muitas empresas que realizam atividades de manutenção também incluem esse negócio em seu portfólio. No entanto, esse programa abrange atividades complexas de multidisciplinaridade e exige um processo de decisão oportuno (BLOCK *et al.*, 2014).

A Logística Reversa representa uma ferramenta de desenvolvimento econômico e social, distinguindo-se pela aplicação de um conjunto de estratégias, métodos e recursos com o propósito de facilitar a coleta e a restituição de resíduos sólidos ao setor empresarial. Esse retorno visa a permitir a reutilização dentro do mesmo ciclo de produção ou em outros ciclos produtivos, assegurando uma destinação final que atenda aos padrões ambientais adequados (VALERIO *et al.*, 2022).

Ao unir o desmantelamento da aeronave à logística reversa, temos o *part-out*, no qual cada componente será destinado ao reúso, quando necessário ou requerido e estiver em boas condições, enquanto outros serão descartados no local apropriado, evitando, assim, grandes prejuízos ambientais.

Além disso, a vantagem de incorporar a logística reversa nesse contexto aeronáutico é a possibilidade de negociar componentes em boas condições, que entram para o estoque de peças da empresa. Essas peças podem ser utilizadas em aeronaves em manutenção, as quais, por sua vez, devolvem o componente reparável (BLOCK *et al.*, 2019). Esse componente é consertado para um próximo ciclo de manutenção na mesma aeronave ou em outra, proporcionando economia de custos para o cliente e gerando receita para a empresa.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar um plano de negócios e sua implementação para o desmantelamento (*part-out*) de uma aeronave Embraer E190. Destaca-se que a maioria de seus componentes está em excelente estado de conservação, sendo destinada ao pool de peças da Embraer. O “pool de peças” é um local estratégico onde se destinam peças que podem ser negociadas em outras manutenções de aeronaves, contribuindo significativamente para o aumento da receita da empresa e, ao mesmo tempo, para uma manutenção mais eficiente. A utilização do pool de peças reduz o tempo de espera para reparo de componentes e, consequentemente, os custos para os clientes. Este processo será abordado no Capítulo 3, intitulado “Metodologia”, que discutirá a integração da logística reversa dentro da estrutura organizacional da empresa.

1.1 Objetivos e Metodologia

Este trabalho tem como objetivo discutir um plano de negócios e a implementação do projeto de *dismanteling* (*part-out*), um procedimento de desmantelamento, de uma aeronave Embraer E190, com a subsequente restituição dos componentes conservados ao Pool de Peças.

A metodologia inclui o processo de *part-out* da aeronave Amasonas Bolívia, delineando um plano de negócios que analisa a receita do projeto para o centro de serviços da Embraer.

Todos os cálculos relacionados a homem-hora, ferramentais, entre outros, serão fundamentados no banco de dados de suprimentos e faturamento da Embraer. O projeto de *part-out* será embasado em uma análise de custo e viabilidade de execução. Adicionalmente, será discutida a inserção dos componentes e seu potencial para contribuir para uma manutenção mais eficiente, reduzindo o tempo de espera para reparo de componentes e os custos para os clientes.

Além disso, a metodologia será avaliada por meio de execuções de *part-out* em outras empresas, mas voltado para o cenário Embraer. Assim, é possível tomar a decisão da adição do programa ao portfólio do centro de serviços, ou a exclusão, dado o excessivo custo com equipamentos de suporte em solo (GSEs - *Gound Support Equipment*) e ferramentais e baixa receita

1.2 Estruturação do Documento

A estruturação do documento é apresentada a seguir:

- Capítulo 2: Revisão geral sobre *part-out*, discutido em outros trabalhos e baseado em execuções de outros centros de serviços de manutenção, relacionando com o programa de peças de reposição, além do entendimento de logística reversa dentro desse projeto;
- Capítulo 3: Definição da metodologia utilizada para analisar as vantagens e desvantagens de se aplicar o *dismantling*, exibindo os cálculos de custos e receita, além das etapas do

processo do plano de negócios do *part-out*;

- Capítulo 4: Discussão dos resultados obtidos no plano de negócios e análise do processo de *part-out*, comparando os resultados de custo e receita;
- Capítulo 5: Conclusão do trabalho e sugestão para futuras pesquisas e melhorias, sendo uma visão abrangente das descobertas do estudo e suas implicações para as partes interessadas envolvidas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos que norteiam o tema da pesquisa, com intuito de embasar o estudo e facilitar sua compreensão e apoio as conclusões. Inicialmente é apresentada uma contextualização em relação ao ciclo ideal de vida de uma aeronave, no caso o *part-out* e *dismanteling*, tema que norteia esta pesquisa, e na sequência serão abordados conceitos sobre estoque de manutenção e logística reversa na indústria aeronáutica sob a ótica da sustentabilidade.

2.1 Ciclo de vida de uma aeronave

A gestão do ciclo de vida das aeronaves permite que as companhias aéreas solidifiquem a sua vantagem competitiva, maximizando o desempenho da frota (Aersale, 2019). Além disso, a compreensão do ciclo de vida das aeronaves dá às companhias aéreas a oportunidade de obter mais informações sobre como as suas frotas irão mudar nos próximos anos e quais as contramedidas a tomar, como operar aeronaves mais antigas quando os preços dos combustíveis são mais baixos para poupar tempo de voo. Fabricantes de aeronaves como Boeing e Airbus também aderiram à tendência e realizaram pesquisas ao longo de todo o ciclo de vida de suas aeronaves. Por exemplo, recentemente, a Airbus declarou que as operações e a retirada de aeronaves serão consideradas no projeto de novas aeronaves (Airbus, 2020).

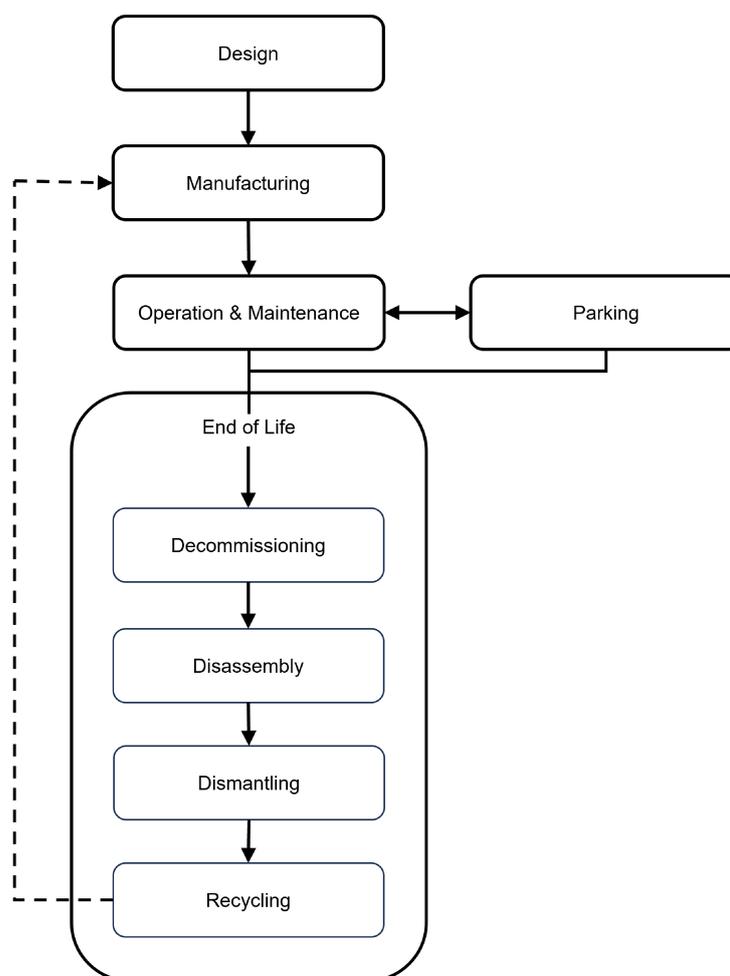
Do ponto de vista de um fabricante de equipamento original (*Original Equipment Management – OEM*), o ciclo de vida de um produto compreende as cinco fases de conceito, definição, realização, suporte e retirada (LEE *et al.*, 2008; STARK, 2005). Durante a fase conceitual, os requisitos do mercado são identificados e um conceito de design do produto é desenvolvido. A fase de definição consiste no projeto detalhado do produto, no planejamento do processo de fabricação e no desenvolvimento de um protótipo.

A produção propriamente dita e o armazenamento subsequente ocorrem durante a fase

de implementação. Durante a fase de suporte, o OEM normalmente é responsável pelo suporte ao produto. Esta fase, também conhecida como fase de operações, inclui atividades de aquisição, introdução e operações da perspectiva do cliente ou operador. Quando um produto é retirado, ele é descartado ou reciclado, e nesta fase o operador e/ou OEM deve considerar questões ambientais, tecnologias em fim de vida, processos em fim de vida e padrões e regulamentos relacionados, bem como classificação problemas (LEE *et al.*, 2008).

Durante muito tempo, a fase de retirada de uma aeronave não é importante, pois apenas algumas aeronaves são retiradas a cada ano. O conceito de estacionar aeronaves antigas e anti-econômicas originou-se desde que houve a necessidade da modernização e de suas aposentadorias e resultou em aeronaves estacionadas muitos anos antes, ou mesmo desmontadas. Suomalainen *et al.* (2017) incorpora esta etapa em um ciclo de vida de aeronave idealizado, mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Ciclo de vida idealizado de uma aeronave.



Fonte: Suomalainen *et al.* (2017).

O ciclo de fim de vida de uma aeronave envolve vários estágios importantes, incluindo descomissionamento, desmontagem, desmantelamento e reciclagem. Essas etapas são essenciais

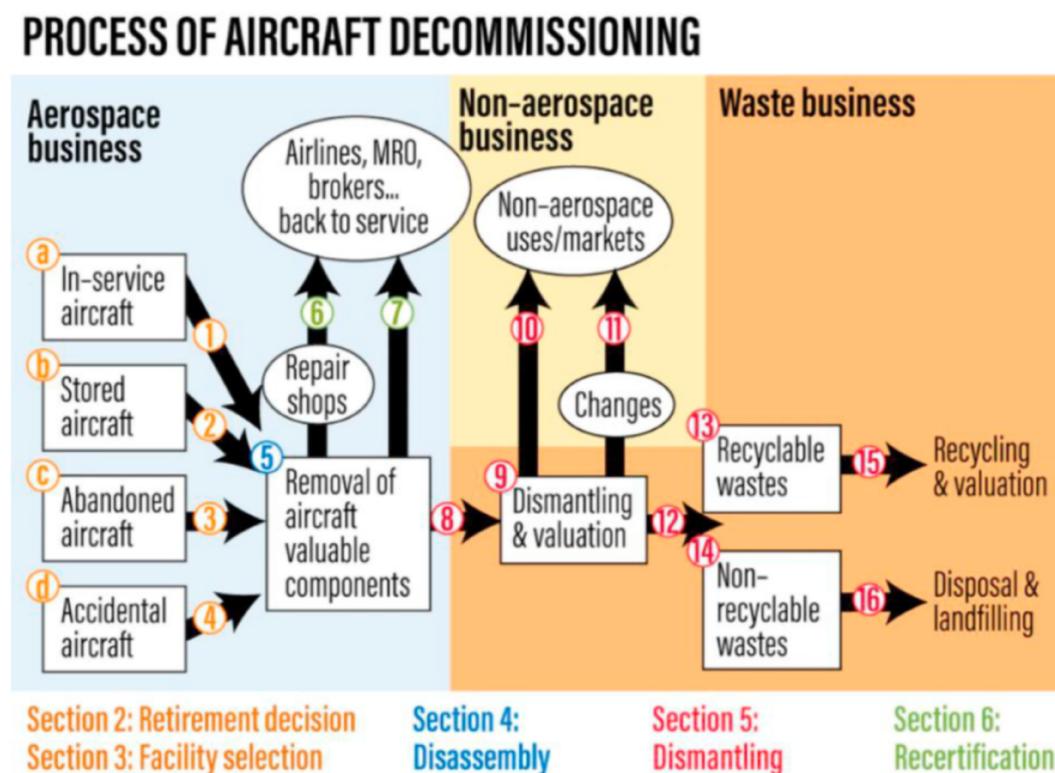
para o gerenciamento de aeronaves aposentadas e seus componentes de forma sustentável e ambientalmente responsável.

- **Decommissioning:** O descomissionamento marca a fase inicial de retirada de serviço de uma aeronave. Este processo envolve a retirada formal da aeronave da operação ativa e pode incluir procedimentos regulatórios e administrativos para garantir o cumprimento dos padrões de segurança e ambientais (YAKOVLIEVA *et al.*, 2021). A fase de desmantelamento estabelece as bases para atividades subsequentes relacionadas com a gestão do fim de vida da aeronave.
- **Disassembly:** A desmontagem abrange a remoção sistemática de componentes e peças da aeronave aposentada. Esta fase envolve a extração cuidadosa de materiais reutilizáveis e recicláveis, como metais, compósitos e outros componentes valiosos, da estrutura da aeronave. O processo de desmontagem visa maximizar a recuperação de materiais para reciclagem e reutilização, contribuindo para a otimização de recursos e redução de resíduos (ASMATULU *et al.*, 2013).
- **Dismantling:** O desmantelamento envolve a divisão adicional de componentes e estruturas em peças e materiais menores. Esta fase concentra-se na segregação e preparação dos componentes extraídos para reciclagem e descarte. As atividades de desmontagem podem incluir a separação de materiais, como metais, plásticos e eletrônicos, para facilitar seu tratamento adequado e reciclagem (DALLARA *et al.*, 2013).
- **Recycling:** A etapa de reciclagem envolve o processamento e reaproveitamento de materiais recuperados das aeronaves aposentadas. Esta fase visa transformar materiais recuperados em recursos brutos para a fabricação de novos produtos ou componentes. As atividades de reciclagem podem incluir fundição de metais, recuperação de materiais compósitos e recuperação de recursos valiosos de componentes eletrônicos e elétricos (RUIVO; MOROOKA, 2001). Práticas de reciclagem sustentáveis são essenciais para minimizar o impacto ambiental e promover a economia circular na indústria da aviação (YAKOVLIEVA *et al.*, 2021).

Em suma, a Figura 2 apresenta a cadeia do processo de descomissionamento de aeronaves de forma esquemática.

Assim, em muitos casos, uma aeronave aposentada contém peças sobressalentes valiosas que retêm algum valor operacional ou monetário e podem ser devolvidas ao serviço. Estas peças sobressalentes podem ser utilizadas para apoiar a frota restante ou oferecidas no mercado excedente, ou seja, peças que teriam um maior valor de produção ou que são difíceis de obter, poderiam facilmente auxiliar e baratear o custo de componentes na execução dos serviços de manutenção (BLOCK *et al.*, 2014).

Figura 2 – Processo de descomissionamento de aeronaves.



Fonte: Elsayed *et al.* (2019).

Segundo o mesmo autor, quando os recursos são geralmente limitados, as peças sobressalentes intercambiáveis necessárias para reparos também podem ser retiradas de outro dispositivo semelhante, em vez do estoque. Isso é chamado de canibalização. Geralmente, a desmontagem é utilizada devido à indisponibilidade de peças de reposição, como quando o tempo de fornecimento é longo enquanto a linha de produção está funcionando. Nesse caso, a aeronave de origem geralmente fica inutilizável.

O proprietário também pode colocar de volta em serviço sua aeronave quando as condições de operação, por exemplo, o preço do combustível, eram convenientes, ou vendê-la, muitas vezes a países com regulamentações mais flexíveis, que é o caso considerado neste estudo. Se esses métodos não forem economicamente rentáveis, a aeronave pode ser armazenada sem manutenção por um período indefinido. Normalmente, peças valiosas, como motores, trens de pouso, aviônicos e motores eletrônicos, são removidas cuidadosamente para serem vendidas posteriormente (KEIVANPOUR *et al.*, 2017).

Também é comum que as demais partes do avião que não podem ser desmontadas e vendidas sejam descartadas em aterros sanitários, o que significa simplesmente armazená-las em algum lugar com espaço suficiente. Portanto, há muito tempo é prática comum armazenar aeronaves nos chamados ferros-velhos até que uma nova decisão seja tomada sobre seu “fim de vida”. Esses ferros-velhos oferecem espaço suficiente em condições favoráveis, como preços

de armazenamento, bem como condições climáticas para manter as aeronaves (quentes e secas) (TOWLE *et al.*, 2004). Os aviões armazenados eram mantidos funcionais por pessoal autorizado se a aeronave em condições de aeronavegabilidade valesse mais do que suas peças.

Exemplo disso é o Centro de Manutenção e Regeneração Aeroespacial em Tucson, Arizona, responsável pelo armazenamento de mais de quatro mil aeronaves, conforme mostrado na Figura 3 (SALEH *et al.*, 2003).

Figura 3 – O lado leste das instalações da AMARC (Aircraft Maintenance And Regeneration Center (United States)).



Fonte: Amarcexperience (2020).

A alocação de peças sobressalentes torna-se outro aspecto crítico quando se trata de logística baseada no desempenho durante o fim da vida útil, como foi discutido por Hur *et al.* (2018). Ressalta-se que a maior parte da literatura nesta área abrange a fase de operação e manutenção do ciclo de vida do equipamento, onde a principal fonte de provisionamento de sobressalentes é a peça retirada da frota operacional devido à manutenção preventiva e corretiva (*Preventive maintenance* – PM e *Corrective Maintenance* – CM), bem como a compra de peças novas. Quando uma frota de aeronaves atinge a fase de aposentadoria, a frota será sucateada gradativamente durante um período determinado, durante o qual o número de aeronaves operacionais diminuirá gradativamente.

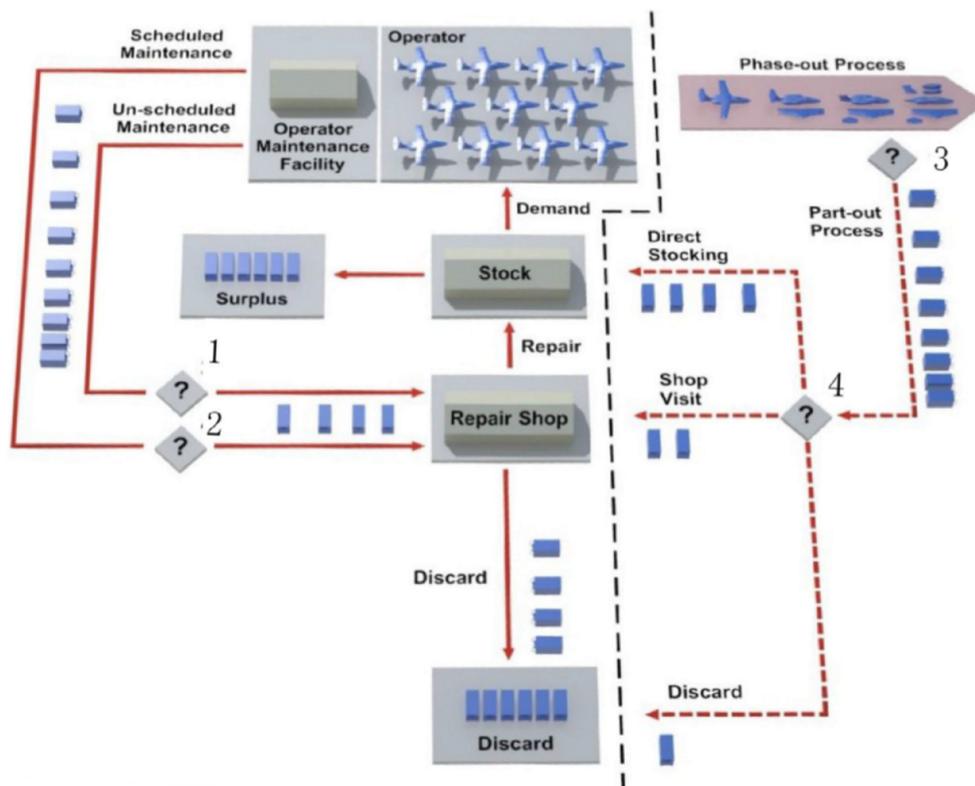
No contexto da manutenção e operação da frota aérea, Block *et al.* (2019) diz que a gestão eficiente do fornecimento e armazenamento de peças sobressalentes é essencial para garantir a disponibilidade desejada da frota, minimizando custos e riscos. Quando uma aeronave é retirada de serviço, seja por aposentadoria ou descontinuação da frota, a prática estabelecida na

indústria da aviação é empregar as peças sobressalentes valiosas dessas aeronaves para sustentar a frota operacional restante ou disponibilizá-las no mercado excedentário.

A decisão de descontinuar uma frota de aeronaves muitas vezes leva ao desmantelamento das aeronaves individuais, um processo essencial para a obtenção de peças sobressalentes. Durante o desmantelamento, as peças úteis são removidas e classificadas em categorias como “utilizável” (enviadas diretamente para armazenamento), “reparáveis” (inservíveis, mas aptas para reutilização após reparo, encaminhadas para oficinas) e “impróprio para manutenção” (nem reutilizável nem digno de reparo, destinadas ao descarte).

Embora seja possível vender unidades, subsistemas ou até mesmo aeronaves inteiras a outros operadores durante o processo de desativação, questões legais muitas vezes dificultam a venda de aeronaves militares ou suas partes para operadores civis. Conforme ilustrado na Figura 4, as peças sobressalentes recuperadas de aeronaves desativadas são encaminhadas para armazenamento ou oficinas de reparo/revisão, seguindo o processo de Manutenção de Desativação (*Parting-out Maintenance – POM*), ou, quando não viáveis para reparo, são descartadas. Este processo é vital em um cenário de eliminação progressiva, onde a diminuição da frota operacional ao longo do tempo impacta a demanda por peças sobressalentes necessárias para CM e PM.

Figura 4 – Diagrama esquemático da dinâmica e portas de decisão do PBSP (*Parting-Out Based Spares Provisioning*): (1) parada de manutenção corretiva (CM) e (2) parada de manutenção preventiva (PM); (3) parar o processo de separação (PO - *Parting-Out Process*), ou seja, parar o armazenamento de separação (POS - *Parting-Out Storage*), o que significa parar de enviar unidades diretamente para o armazenamento; (4) interromper a manutenção de separação (POM - *Parting-Out Maintenance*).



Fonte: Block *et al.* (2019).

2.1.1 Processo de part-out na aviação

O processo de *part-out* de uma aeronave refere-se à prática de desmontar a aeronave para recuperar e gerenciar seus componentes e peças. Essa prática é comumente realizada em aeronaves que atingiram o fim de sua vida útil operacional, foram desativadas ou estão passando por processos de desmontagem para recuperação de peças. O *part-out* envolve a desmontagem cuidadosa da aeronave, a identificação e avaliação de componentes e peças que ainda estão em condições de serem reutilizados ou revendidos, e a disposição adequada de materiais que não podem ser recuperados.

A prática de *part-out* é importante para a gestão eficiente de recursos e a otimização do valor residual de aeronaves desativadas. Estudos como o de Reinas *et al.* (2011) podem fornecer insights sobre a análise de custo-benefício de aeronaves, auxiliando na tomada de decisões sobre descontinuação, investimento em determinados modelos e inovação. Além disso, iniciativas

sustentáveis na logística reversa, como discutido por Valerio *et al.* (2022), podem ser aplicadas ao processo de *part-out* para promover práticas socialmente responsáveis e mitigar o impacto ambiental.

Ademais, Forsberg (2015) destaca que essa escolha torna-se mais provável em situações em que a aeronave possui uma aplicação restrita ou de nicho, ou quando despesas significativas se tornam necessárias, como no término de um contrato de locação após um descumprimento e rescisão antecipada. Ainda, a retirada prematura pode ser motivada pela existência de uma demanda localizada no mercado por componentes de alto valor, e essa prática é geralmente adotada por proprietários, embora não pelos operadores da aeronave.

Relacionando-se a esta dinâmica, Block *et al.* (2019) diz que a gestão de estoques de manutenção desempenha um papel crucial na indústria da aviação, sendo uma das funções fundamentais para o sucesso operacional em uma indústria intensiva em ativos. A busca por um sistema eficiente de provisionamento, alocação e gestão de estoques é imperativa para atingir uma boa relação custo-benefício. No âmbito da aviação, o objetivo principal é garantir, sob demanda, as peças necessárias para manter a frota de aeronaves, buscando alcançar níveis específicos de disponibilidade das aeronaves. A interconexão desses conceitos destaca a importância de uma abordagem estratégica na gestão de ativos aeronáuticos, onde a retirada prematura para *part-out* se entrelaça com a eficácia do estoque de manutenção, influenciando diretamente a operacionalidade e a rentabilidade do setor.

Num inquérito realizado pela Aero Strategy (2010), o valor médio do estoque de peças de manutenção por aeronave foi reportado como sendo igual a 1,9 milhões de dólares, com o custo médio ponderado de manutenção estimado em 21,5%. Um estoque devidamente gerido também garante que o capital humano do pessoal de manutenção seja utilizado de forma eficiente. Os principais lucros podem ser aumentados através da melhoria do desempenho da logística e da manutenção através de uma gestão de *stocks* mais eficiente para componentes dispendiosos, cujo funcionamento sem falhas é crucial em indústrias intensivas em activos (BRAGLIA; FROSOLINI, 2013). Portanto, a gestão de estoques e o fornecimento de peças de reposição nas fases de produção, operação e manutenção do ciclo de vida do produto têm atraído um grande volume de pesquisas.

Assim, a prática de *part-out* também está relacionada à gestão de peças sobressalentes e à logística reversa na aviação. A avaliação econômica, ambiental e social da implantação de equipamentos no processo de manutenção de aeronaves, conforme abordado por Valerio *et al.* (2022), pode fornecer *insights* sobre os benefícios econômicos, ambientais e sociais da implementação de práticas de manutenção e desmontagem de aeronaves.

2.2 Logística reversa na indústria aeronáutica

Diante da urgente necessidade de reduzir a produção de lixo e destinar de forma adequada os resíduos que são mais agressivos ao meio ambiente, Costa e Valle (2006) assegura que a Logística Reversa (LR) vem contribuir de forma significativa nos projetos urbanos de preservação e conservação do meio ambiente. Pohlen e Farris (1992) definem a LR como o movimento de mercadorias do consumidor para o produtor por meio de um canal de distribuição. Assim, a LR tem como objetivos principais o recolhimento e reaproveitamento de produtos e materiais que tiveram o seu ciclo produtivo encerrado, apresentando o processo inverso da logística tradicional (MARCHESE *et al.*, 2013).

A LR na indústria da aviação desempenha um papel crucial na gestão sustentável de resíduos e na otimização de recursos. O desmantelamento de aeronaves em fim de vida e a reciclagem dos seus componentes são essenciais para minimizar o impacto ambiental e maximizar a utilização de recursos. A reciclagem de aeronaves e seus componentes é um tema com grande relevância futura. Atualmente, cerca de 600 a 1.000 aviões comerciais são desativados em todo o mundo todos os anos (ELSAYED *et al.*, 2019; SCHOLZ, 2022). Nos próximos 20 anos, a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) e a Airbus estimam que haverá um total de cerca de 12.000 (Airbus, 2022) a 20.000 (ELSAYED *et al.*, 2019) aeronaves reformadas. Além disso, um grande número de componentes será substituído continuamente durante a operação comercial, como parte das atividades de manutenção de rotina.

A literatura existente destaca o crescente reconhecimento da importância de práticas ambientalmente responsáveis no setor da aviação, evidenciando a necessidade de abordagens eficazes para lidar com os desafios relacionados ao descomissionamento de aeronaves.

Sabaghi *et al.* (2015) conduziram uma avaliação de sustentabilidade de estratégias de desmantelamento para reciclagem de aeronaves em fim de vida, enfatizando a importância de práticas ambientalmente corretas no descarte e reciclagem de resíduos de aeronaves desativadas. Keivanpour *et al.* (2015) forneceram uma estrutura conceitual para abordar oportunidades e desafios na recuperação de aeronaves em fim de vida e na gestão verde da cadeia de abastecimento, destacando a necessidade de práticas sustentáveis na indústria da aviação.

Por sua vez, Dong *et al.* (2017) desenvolveram uma abordagem de otimização para a gestão de resíduos de polímeros reforçados com fibra de carbono utilizados em aplicações aeroespaciais, com foco na minimização dos impactos ambientais e dos custos associados à eliminação de resíduos. Mascle *et al.* (2015) discutiram gestão e tecnologias avançadas para aeronaves em fim de vida, enfatizando os impactos positivos e negativos de diferentes estratégias de desmantelamento e reciclagem no desenvolvimento sustentável.

Outrossim, Mascle (2018) destacou a importância crescente do desenvolvimento sustentável no contexto da análise reversa da cadeia de abastecimento, enfatizando a necessidade de integrar preocupações sociais e ambientais na cadeia de abastecimento para uma gestão eficaz

de resíduos. Este enfoque sustentável na logística reversa não só contribui para a preservação do meio ambiente, mas também ressoa com as expectativas crescentes de partes interessadas e consumidores em relação à responsabilidade corporativa e à gestão responsável dos recursos naturais na cadeia de abastecimento aeroespacial.

Neste contexto, surge a relevância de explorar mais profundamente como os princípios da sustentabilidade podem ser aplicados especificamente à logística reversa no setor da aviação, delineando práticas e estratégias que não apenas atendam aos requisitos regulatórios, mas também promovam efetivamente a responsabilidade ambiental e social. Este aspecto da pesquisa, abordado no próximo capítulo, busca contextualizar as iniciativas sustentáveis na logística reversa da aviação, com ênfase na mitigação do impacto ambiental e na promoção de práticas socialmente responsáveis.

2.2.1 Sustentabilidade na logística reversa

O fluxo reverso da LR tem ganhado cada vez mais espaço no âmbito empresarial, em função da preocupação com o desgaste do meio ambiente e como consequência a escassez de matéria-prima, necessita-se da conscientização da população para a importância de uma produção mais sustentável. A logística reversa opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós consumo e pode trazer contribuições para o desenvolvimento sustentável uma vez que agrega valor aos bens nas mais diversas naturezas: econômica, ecológica, legal, logística de imagem corporativa, entre outras (MARCHESE *et al.*, 2013).

Em paralelo, segundo Suomalainen *et al.* (2017), nas últimas duas décadas, o termo “verde” ganhou importância; entretanto, a aviação está normalmente associada a uma sustentabilidade ambiental bastante deficiente. Assim, estes fabricantes começaram a analisar o ciclo de vida dos seus produtos e rapidamente descobriram que o fim de vida das aeronaves era uma parte comparativamente poluente. A razão para isso foi a prática comum de simplesmente estacionar aviões aposentados e deixá-los sem qualquer desconstrução (MAAß; SVENJA, 2020). Nesse sentido, os desafios associados à LR em aeronaves incluem o cumprimento das regulamentações ambientais, a garantia de práticas de desmantelamento e reciclagem ecologicamente corretas, a rastreabilidade de componentes para descarte adequado e o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de reciclagem de aeronaves em fim de vida.

Alguns estudos sublinham coletivamente a importância das práticas sustentáveis de desmantelamento e reciclagem na indústria da aviação, fornecendo informações valiosas para enfrentar os desafios associados à logística inversa e enfatizando a importância de integrar considerações ambientais na gestão de aeronaves em fim de vida. Dessa forma, a indústria da aviação pode gerir eficazmente os resíduos, otimizar recursos e minimizar o impacto ambiental.

Entre eles, a pesquisa de Hsu *et al.* (2016) destaca que iniciativas de cadeia de suprimentos

sustentáveis podem proporcionar benefícios significativos na logística reversa, criando vantagens competitivas e promovendo a criação de valor por meio de práticas socialmente responsáveis. Além disso, o estudo de Krstev e Krstev (2022) aborda a perspectiva da sustentabilidade na logística reversa, ressaltando a complexidade da gestão de práticas reversas devido à incerteza envolvida na qualidade dos produtos, tempo de retorno e volume de retorno.

A pesquisa de Sarkis *et al.* (2010) foca na ligação de indicadores sustentáveis com práticas de logística reversa para desenvolver um perfil de logística reversa para a sustentabilidade social. Além disso, estudos como o de Morgan *et al.* (2018) propõem um modelo de processo de desempenho de logística reversa que incorpora compromissos de recursos e sustentabilidade, destacando a importância da integração de práticas sustentáveis na logística reversa.

A avaliação de estratégias de sustentabilidade ambiental na indústria de transporte de carga e logística, conforme discutido por Centobelli *et al.* (2020), destaca a importância de identificar estratégias sustentáveis para promover práticas socialmente responsáveis na logística reversa. Além disso, o estudo de Badenhorst (2016) investiga a formalização como uma forma de melhorar os fluxos de logística reversa, enfatizando a importância da gestão eficaz para promover práticas sustentáveis.

Neste contexto, a aeronave é um produto complexo, não só pelos aspectos tecnológicos, mas também do ponto de vista econômico e logístico. O capítulo seguinte constroeu o processo para viabilidade de um *part-out*, analisando os cálculos de custos e receitas de um caso específico, para contribuir não só na receita dos projetos da empresa, mas também fomentar práticas sustentáveis.

METODOLOGIA

Para avaliar adequadamente a viabilidade do projeto de *part-out*, é imprescindível a elaboração de um Plano de negócios, ou usualmente *Business Plan* (BP). Esse plano servirá como um guia estratégico para o empreendimento, delineando os objetivos, estratégias e recursos necessários para sua implementação. A submissão do BP para aprovação é um passo crucial, pois somente se demonstrar viabilidade financeira é que o projeto poderá ser avançado.

Nesse sentido, é crucial analisar minuciosamente as etapas do processo de validação do BP, bem como seus custos e receitas potenciais. Isso inclui a análise das fontes de receita potenciais, como vendas de peças de aeronaves desmontadas, serviços de manutenção e outros possíveis fluxos de receita. Ao mesmo tempo, os custos associados ao projeto, como custos de desmontagem, mão de obra e logística, devem ser cuidadosamente considerados e estimados.

Essa análise comparativa é crucial para determinar se o projeto será viável do ponto de vista financeiro e estratégico. Somente após uma avaliação abrangente e criteriosa das etapas do processo de validação do plano de negócios e de suas projeções financeiras é que se pode tomar uma decisão informada sobre a continuidade do projeto.

3.1 Histórico da aeronave analisada

As aeronaves analisadas são dois Embraer E190 da Amas Bolívia (Figura 5), originalmente pertencentes à linha aérea Amazonas. No entanto, devido a dificuldades financeiras, a empresa foi vendida, resultando no cancelamento das matrículas e na proibição de voar pela DGAC (Direção Geral de Aeronáutica Civil), autoridade aérea boliviana, para todas as quatro aeronaves. Como consequência, duas dessas aeronaves foram vendidas para a Embraer, que posteriormente alterou a matrícula das aeronaves para brasileira. No entanto, elas ainda não puderam retornar ao serviço devido a bloqueios impostos pelas autoridades bolivianas (AEROIN, 2023). Assim, surgiu o projeto do *part-out* dessas duas aeronaves.

Figura 5 – Embraer E190 Amas Bolívia no pátio da Embraer em Sorocada



Fonte: Jetphotos (2023).

Vale ressaltar que o *part-out* é viabilizado por diversos motivos. Problemas financeiros das empresas, que não têm outra opção senão vender suas aeronaves, são apenas um dos aspectos. Além disso, a idade avançada das aeronaves, a substituição da frota por modelos mais modernos e operacionalmente mais econômicos também contribuem para tornar as aeronaves anteriores obsoletas e mais dispendiosas de manter. No contexto da pandemia e do pós-pandemia, muitas aeronaves foram estacionadas e permaneceram paradas devido à baixa demanda durante a crise do Covid-19, levando várias companhias aéreas à falência. Esses motivos são frequentemente invocados para justificar um *part-out*.

3.2 Etapas do Processo

A análise das etapas do processo de validação do BP envolve a avaliação detalhada de cada etapa ou fase do processo, com o objetivo de compreender como elas contribuem para a realização do objetivo final, sendo o *part-out* e identificar possíveis oportunidades de melhoria. São elas:

- i. Disponibilidade da aeronave - Sendo aposentada, negociada, protótipo;
- ii. Solicitação de análise para *part-out*;
- iii. Executar inspeção;

- iv. Emitir relatório técnico (lista de peças);
- v. Envio da lista dos materiais disponíveis do SN da aeronave (a lista deve conter PNs, quantidades, documentações disponíveis, entre outros);
- vi. Efetuar análise da lista de peças;
- vii. Análise da lista de materiais que podem ser aproveitados;
- viii. *Bidding* (licitação) para selecionar e cotar fornecedores para desmonte no mercado;
- ix. *Bidding* para determinar valor de sucateamento;
- x. Cotar serviço de desmonte, se viável ou não e onde será feito;
- xi. Aprovação do *part-out* (Caso não seja aprovada, avisar área responsável pela aeronave);
- xii. Execução do BP.
 - a) Preparação do MRO (*Maintenance, Repair and Overhaul*)
 - Desenvolvimento de fixadores e listas de consumíveis
 - Desenvolvimento de lista de peças de remoção: Emendas de longarinas, cintas, estruturas de piso, suportes, etc.
 - Remoção: Desenvolvimento de procedimento
 - Definição de ferramentas necessárias e GSEs
 - Definição da equipe de reparo (definição de habilidade - composição da equipe)
 - b) Fabricação de GSE
 - Projeto dos GSEs
 - Aquisição de GSEs
 - Fabricação de GSEs
 - c) Engajamento de Pessoas
 - RH - Aquisição de Talentos: Entrevista, exames, preparação de documentos, integração
 - Treinamento
 - d) Execução
 - Execução de remoção das peças

3.3 Análise de custos e receita

Custo e receita são os principais influenciadores na aprovação de um BP, quando o projeto não é rentável e não se paga ele será descartado.

3.3.1 Parâmetros de custos

Primeiro, realiza-se a avaliação das principais variáveis de custos. Essa etapa inicial visa examinar minuciosamente os fatores que influenciam os custos envolvidos no projeto, destacando sua relevância e impacto nas operações e finanças do projeto. Ao identificar e analisar essas variáveis com precisão, é possível estabelecer uma base sólida para o planejamento estratégico e a tomada de decisões eficazes, visando à otimização dos recursos e à maximização da receita.

- **Pessoas:** Deve-se determinar a quantidade de funcionários diretos, indiretos e, se necessário, temporários que trabalharão em cada turno. Item que influencia diretamente nos custos do BP.
 - **Salário:** Inclue-se o valor do pagamento após a determinação de quantas pessoas por área trabalharão.
- **Tempo:** Determinando a quantidade de horas que são necessárias para cumprir todas as tarefas do dismanteling de uma aeronave. Determinando se será necessário mais que 1 ou 2 turnos de trabalho por área. Também influencia diretamente no custo do BP.
- **Espaço:** Determinação de local onde será feito esse part-out, contando com isolamento do ruído e cuidado com a sujeira e descarte em local correto. Este, por sua vez, tem uma interferência indireta no custo, já que dependendo do local escolhido pode deixar de atender outras aeronaves pela ocupação do espaço, deixando de faturar em outros serviços.
- **Material:** Será necessária a avaliação sobre a compra dos materiais para fazer o corte ou análise de contratação de uma empresa especialista em realizações de cortes de fuselagem, além disso materiais auxiliares ao corte como macacos, gabaritos e berços.
 - **Empresa especializada em corte de fuselagem:** Será feita a análise sobre a contratação de uma empresa especializada em corte de fuselagem. Para isso fará um *BID*, ou seja uma licitação para orçamento das empresas mais baratas, dentro da qualidade de serviço e requerimentos desejados.

Com a definição dos itens que afetam os gastos do projeto, tem-se o cálculo da variável fator Horas-Homem (HH) que é a quantidade de horas trabalhadas multiplicado pela quantidade de pessoas, auxiliando assim no cálculo do valor de *labor* aplicado. Nas Equações (3.1) e (3.2) pode-se observar os cálculos de *HH* e *labor*.

$$HH = \text{Horas} \times \text{Homens} \quad (3.1)$$

$$\text{labor} = HH \times \text{Salário} \quad (3.2)$$

Considerando a opção de *BID* para uma empresa especialista em corte e desmonte da aeronave, serão analisadas três empresas que atendam os requisitos e documentações necessárias para o procedimento e será comparado a empresa que propor o menor preço com o valor dos serviços de *labor* da Embraer, sendo executado o mais econômico em função de maximizar a receita. Então, se a empresa terceira for contratada, o *labor* será substituído pelo custo da empresa contratada, $C_{contractor}$.

Para determinação do espaço, será analisado e comparado entre os sites do MRO Brazil de Sorocaba e Gavião Peixoto os tópicos de:

- ***Airworthiness and Regulatory:*** Quanto à compatibilidade de regulamentações e certificações para a realização do *part-out*:
 - Facilidade para atender novas necessidades do Cliente – risco de aumento nos custos relacionados;
 - Garantia de Qualidade, documentação e manuseio de bens, compatibilidade de requisitos - requisitos adicionais que resultam em custos adicionais;
 - Conformidade com os requisitos de controle de exportação;
 - Facilidade de atendimento de auditorias e compatibilidade de requisitos regulatórios entre ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) & DIRMAB (Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico).
- ***Business Viability and Risk:*** Fatores que viabilizarão ou inviabilizarão o negócio e de risco tem-se:
 - Capacidade de acomodar mudanças na demanda (aumento e diminuição);
 - Colaboração nas áreas de suporte da Embraer;
 - Fraquezas existentes na cadeia de suprimentos;
 - Necessidade de investimentos na formação de pessoal técnico e administrativo;
 - Excesso de dependência de um único cliente;
 - Rentabilidade (com base nas mudanças do ciclo de negócios).
- ***Capacity:*** Quanto a investimento para manutenção do hangar e capacidade:
 - Facilidade no gerenciamento da capacidade;
 - Investimento em equipamentos de manutenção e adequações de hangar;
 - Disponibilidade de habilidades técnicas.
- ***Competitive advantage:*** Fatores de vantagem competitiva que devem ser considerados:
 - Facilidade de relacionamento entre as áreas envolvidas;

- Facilidade de mudança e desenvolvimento rápido;
 - Facilidade para fornecer serviços personalizados;
 - Controle de documentação sem papel;
 - Força da liderança/gestão.
- **Human Resources:** Disponibilidade de mão de obra especializada:
 - Processo de contratação para técnicos qualificados;
 - Necessidade de treinamento específico para acomodar os requisitos do cliente ou da tecnologia;
 - Viabilidade de *labor rates* locais;
 - Treinamento de pessoal técnico para integrar as habilidades necessárias.
- **Logistics:** Quanto a movimentações internas e externas de materiais e facilitadores de logística:
 - Facilidade no transporte de GSE/Ferramentas;
 - Importação, exportação, questões alfandegárias;
 - Investimento em TI;
 - Movimento de aeronaves de e para hangares ou pista;
 - Movimentação de *spare parts* e *parts*;
 - Área dedicada para estoque e loja de ferramentas.
- **Political/Economics Implications:** Quanto a implicações políticas e econômicas ao se relacionar com o cliente:
 - Ambiente jurídico adequado – proteção de endereço de IP, cláusula contratual, entre outros;
 - Suporte adequado da equipe do cliente (sala dedicada, conectividade, entre outros);
 - Facilidade em proteger o cliente e colaboradores de qualquer evento ou doença;
 - Fácil atendimento às regulamentações locais (Ex.: questões ambientais);
 - Forte segurança e aplicação da lei.
- **Process:** Quanto a prontidão de processos para efetuar o *part-out*:
 - Facilidade de otimização de requisitos;
 - Facilidade de controlar e monitorar ferramentas calibradas;
 - Tratamento de Documentação (Legislação);

- Operação de Sistemas de TI - Tecnologia da Informação (SAP, Quantum, entre outros).
- **Relationships:** Quanto a relacionamento entre as áreas na cadeia do processo:
 - Facilidade de negociação com áreas afetadas (GEX (Ensaio em Vôo), PPV (Preparação para Vôo), Embraer SOD (código IATA (Associação Internacional de Transporte Aéreo) do aeroporto de Sorocaba), Embraer SJK (Código IATA para o aeroporto de São José dos Campos));
 - Fácil integração junto ao suporte do produto (Contact Center/Engenharia);
 - Facilidade de gerenciamento de fornecedores de componentes independentes dos MROs;
 - Gestão, acompanhamento e homologação de fornecedores de peças.

Vale lembrar das despesas recorrentes da empresa, que podem ser definidas como os custos fixos variáveis que ela tem. Nelas estão inclusas os salários dos funcionários, aluguel de hangar, impostos, entre outros, podendo ser um valor insignificante dependendo do investimento total do projeto. Nesse trabalho os custos recorrentes referentes a salário estão inseridos em *labor* os demais como aluguel de hangar, impostos, entre outros são considerados desprezíveis em relação do montante de custos.

Além disso, tem-se o cálculo de *parts*, que dependerá do catálogo de compras da empresa fornecedora de materiais ou ainda usinados. Além das despesas logísticas, que serão considerados valores de estoque e movimentações.

Também adiciona-se o custo de adaptação na infraestrutura para comportar o PO, que variará de acordo com a prontidão de cada site podendo ser nulo, no entanto se houver a necessidade de grande adaptação é o causador da inviabilização do projeto.

E, por último, o custo relacionado à compra da aeronave depreciada, este é o valor mínimo a ser “coberto” pela receita, para que o projeto comece a se pagar.

Assim, na Equação (3.3), mostra o somatório dos custos considerando utilização de serviços internos, já na Equação (3.4), demonstra-se o somatório dos custos considerando a utilização de uma empresa terceira de corte e desmonte.

$$\sum_{\text{custos}} = \text{labor} + \text{parts} + C_{\text{logistics}} + C_{\text{aircraft}} + C_{\text{infrastructure}} \quad (3.3)$$

$$\sum_{\text{custos}} = C_{\text{contractor}} + \text{parts} + C_{\text{logistics}} + C_{\text{aircraft}} + C_{\text{infrastructure}} \quad (3.4)$$

3.3.2 Parâmetros da receita

Para avaliar os parâmetros da receita, é necessário realizar uma análise abrangente dos diversos fatores que influenciam a geração de receita. Essa análise compreende a avaliação de muitos elementos dentre eles a estratégias de precificação.

No cálculo da receita soma-se os custos citados na seção anterior relacionados à mão-de-obra e aplica-se uma taxa de trabalho, *labor rate*, que definirá o percentual de receita em cima das horas trabalhadas, assim se o custo total de labor for X a *labor rate* será uma $1,2X$ por exemplo.

$$labor\ rate = (labor/HH) \times P \quad (3.5)$$

Vale lembrar que ao considerar a opção de uma empresa especialista em corte e desmonte da aeronave não existirá *labor rate*.

Adicionalmente ao *labor rate*, tem-se o valor associado à venda de componentes, ele será decisório para a aprovação do projeto, pois será comparado aos itens que mais influenciam nos custos além da mão-de-obra. São eles:

1. Preço de compra da aeronave depreciada;
2. Valores gastos em materiais e/ou empresa especializada em cortes;
3. Valores relacionados a despesas logísticas;
4. Quaisquer valores relacionados a adaptação da infraestrutura para comportar um PO. E valores relacionados ao estoque de componentes.

E se considerando $R_{materials}$ a receita de venda de componentes, então para análise de receita relacionada à venda de componentes será, $R_{materials} > (C_{aircraft} + parts + C_{logistics} + C_{infrastructure})$, para que o projeto lucre e conseqüentemente seja viabilizado e $R_{materials} = C_{aircraft} + parts + C_{logistics} + C_{infrastructure}$, para que o projeto se pague.

Assim, na Equação (3.6), tem-se o somatório da receita considerando a utilização de mão-de-obra internalizada, já a Eq. (3.7) considera a receita relacionada à contratação de uma empresa de corte e desmonte.

$$\sum_{receita} = labor\ rate + R_{materials} \quad (3.6)$$

$$\sum_{receita} = R_{materials} \quad (3.7)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os valores aproximados de custo e receita que foram determinantes na análise de viabilidade do projeto de *part-out*. Ao demonstrar os custos estimados associados a ele, será possível identificar e avaliar os investimentos necessários para sua implementação. Isso incluirá uma análise dos custos de desmontagem da aeronave, custos de mão-de-obra, custos de transporte e logística, custos de armazenamento, entre outros. Além disso, serão abordados os custos operacionais contínuos que podem surgir ao longo do ciclo de vida do projeto.

Por outro lado, ao apresentar as projeções de receita, será possível avaliar o potencial de retorno financeiro do projeto de *part-out*. Isso envolverá uma análise das receitas esperadas com a venda de componentes de aeronaves desmontadas, bem como outras fontes potenciais de receita, como serviços de manutenção e peças sobressalentes. Além disso, serão consideradas as projeções de demanda do mercado e as estratégias de precificação para estimar as receitas futuras de forma realista.

Ao analisar os valores aproximados de custo e receita, será possível realizar uma avaliação abrangente da viabilidade financeira do projeto de *part-out*. Essa análise será essencial para orientar as decisões estratégicas relacionadas ao projeto e para garantir que os recursos sejam alocados de forma eficiente e eficaz.

4.1 Resultados de custos

Considerando as duas primeiras etapas do estudo de viabilidade já feitas, já que a solicitação de *part-out* foi feita para as duas aeronaves, parte-se da premissa de análise de custos.

O total custo considerando um serviço feito com mão-de-obra interna de *labor*, *parts*, despesas logísticas, custo de compra da aeronave e de infraestrutura são observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Custos totais de *part-out*.

Custo	Valor [M USD]
<i>labor</i> *	0,210
<i>parts</i> **	0,115
<i>C_{logistics}</i> *	0,03
<i>C_{aircraft}</i>	12
<i>C_{infrastructure}</i> ***	0
Total	12,355

*Os valores de quantidade de pessoas, salários e despesas logísticas (estoques e movimentações) são informações confidenciais da Empresa e mostrados aqui um valor total adaptado próximos ao original.

**Valores de peças, ferramentais e GSEs são baseados em contratos confidenciais entre fornecedores e Embraer.

***Os valores de adaptação de infraestruturas foram considerados nulos, devido a prontidão da unidade escolhida para realização do processo.

Fonte: Embraer (2023).

Assim, os custos são compostos como vistos na Figura 6.

Figura 6 – Composição dos custos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores relacionados a *labor* são relacionados a HH e Salários, para Horas-Homens obtém as pessoas das respectivas áreas verificadas na Tabela 2. Sendo as horas estimadas para realização de todo o processo equivalente a 8 meses entre preparação de time e execução de PO com 40h semanais trabalhadas (Tabela 3).

Tabela 2 – Pessoas e áreas para PO.

Preparação	Execução
Engenheiro RTS	Engenheiro RTS
Engenheiro de qualidade	Engenheiro de qualidade
Analista de materiais	Analista de materiais
	Trabalhadores de corte de metal
	Mecânicos
	Eletricistas
	Técnicos de manutenção de aeronaves
	Técnicos de controle de qualidade

Fonte: Embraer (2023).

Tabela 3 – Planejamento da programação em dias úteis.

Tarefa	Descrição	Linha do tempo (Dias Úteis)
1	Preparação do MRO	12
1.1	Desenvolvimento de fixadores e listas de consumíveis	2
1.2	Desenvolvimento de lista de peças de remoção: Emendas de longarinas, cintas, estruturas de piso, suportes, etc.	3
1.3	Remoção: Desenvolvimento de procedimento	3
1.4	Definição de ferramentas necessárias e GSEs	2
1.5	Definição da equipe de reparo (definição de habilidade - composição da equipe)	2
2	Fabricação de GSE	132
2.1	Projeto dos GSEs	22
2.2	Aquisição de GSEs	22
2.3	Fabricação de GSEs	88
3	Engajamento de Pessoas	154
3.1	RH - Aquisição de Talentos: Entrevista, exames, preparação de documentos, integração	66
3.2	Treinamento - 1 Mês (Teórico) / 3 Meses (Prático)	88
4	Execução	22
4.1	Execução de remoção das peças	22

Fonte: Embraer (2023).

O custo da aeronave foi aproximado e adaptado, sendo vendida praticamente a troca de peças dentro do *pool* de peças.

4.1.1 *BID empresa especializada em corte*

Uma observação importante a ser feita é que foi realizado o *BID* para a contratação de empresas especializadas no corte da fuselagem e na separação de componentes. Isso visava a evitar tanto os custos econômicos associados à compra de equipamentos e à contratação de funcionários para a realização do processo de desmontagem (*part-out*), quanto o tempo necessário para o treinamento e qualificação de técnicos, já que atualmente não há pessoal qualificado dentro da Embraer para realizar essa atividade. No entanto, essa opção se mostrou

inviável, uma vez que mesmo a empresa mais barata apresentou um valor significativamente maior do que o encontrado ao utilizar mão-de-obra própria.

4.1.2 *Parts*

Para *parts* é relacionado ao catálogo de fornecedores, por motivo de sigilo contratual não será abordado os valores dos equipamentos comprados, usinados e alugados, mas será disponibilizada a lista dos principais GSEs, ferramentais e equipamentos para a realização das tarefas de desmantelamento, como visto na Tabela 4.

Tabela 4 – lista de *parts*

Item	Função
Berço	GSE para levantamento da aeronave para retirada de componentes e corte da fuselagem
Equipamentos de NDT	Realização de testes não destrutivos para verificação de componentes da aeronave
Guindaste	Içamento de embalagem e fuselagem particionada
Embalagem	Armazenamento de componentes e fuselagem particionada

Nas Figuras 7, 8 e 9 são mostrados, respectivamente, o berço utilizado para erguer a aeronave e realizar o corte da fuselagem, o guindaste para içamento da aeronave particionada e embalada e a embalagem fabricada e utilizada para estocar as partes da aeronave e seus componentes.

Figura 7 – Berço/Gabarito para erguer e cortar aeronave



Fonte: Embraer (2023).

Figura 8 – Guindaste para içamento de carga



Fonte: Embraer (2023).

Figura 9 – Caixas para armazenamento de pedaços da fuselagem, motores e componentes



Fonte: Embraer (2023).

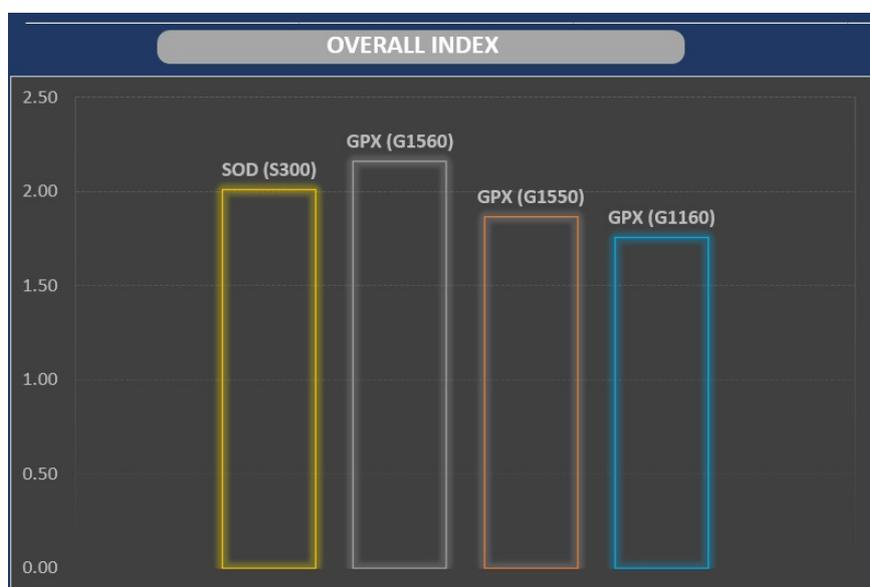
Vale destacar que para o processo dessas duas aeronaves alguns GSEs foram reaproveitados do projeto do cargueiro da Embraer, este que é a conversão de uma aeronave comercial para uma aeronave cargueira, para este projeto também utiliza-se alguns ferramentais dado a necessidade de se retirar todo o interior da aeronave para a conversão do transporte. Essa sinergia entre projetos fez com que reduzisse o custo dos ferramentais e GSEs utilizados.

4.1.3 Infraestrutura

Para a definição de hangar foram verificados os sites de Sorocaba (SOD) e Gavião Peixoto (GPX), sendo considerados 3 hangares em Gavião Peixoto, pela proximidade com o time de produção e compartilhamento de ferramentais e mão-de-obra. A partir dos parâmetros citados no Capítulo 3, é possível discriminar os sites, escolhendo não só o financeiramente, mas também estrategicamente vantajoso.

Separando em um índice de 1 a 3, onde 1 representa um grande impacto nos programas já estabelecidos, 2 indica um impacto menor e 3 não causa nenhum impacto, esse índice é qualitativo e o critério de decisão foi definido de acordo com os projetos já vigentes em cada unidade. O hangar escolhido com o maior índice (ou seja, o menor impacto) nos aspectos de *Airworthiness and Regulatory; Capacity; Human Resources; Logistics e Political/Economics Implications* foi o G1560, compartilhado com o programa KC em Gavião Peixoto.

Figura 10 – Critério de decisão de hangar.

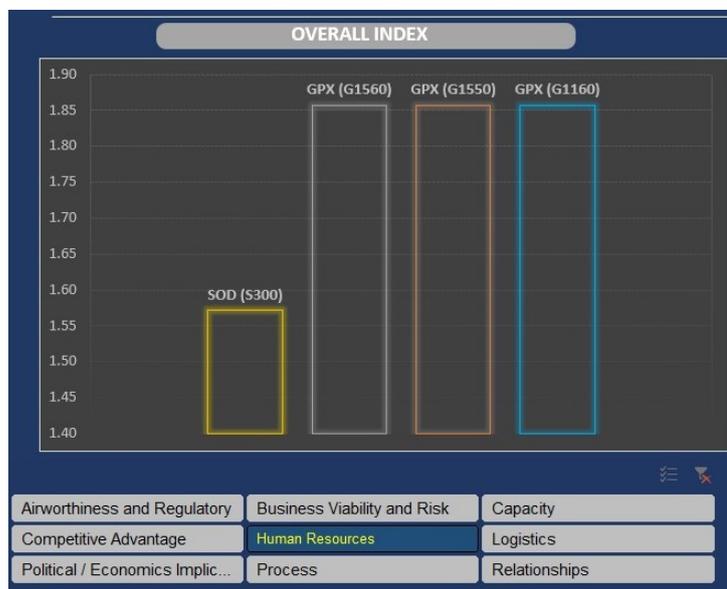


Fonte: Embraer (2023).

Segundo a Figura 10, o hangar G1560 obteve um índice de 2.16 de média, já que 5 dos 9 tópicos avaliados apresentou uma nota maior que os outros hangares e site. No entanto vale lembrar que mesmo com notas maiores que os outros ainda é necessário investimento em alguns

aspectos, nos quais mesmo com a maior nota entre eles, foi uma nota baixa, como por exemplo no investimento de mão de obra mostrado na Fig. 11 e implicações políticas ao se relacionar com o cliente na Fig. 12.

Figura 11 – Critério de decisão de hangar segundo *Human Resources*



Fonte: Embraer (2023).

Figura 12 – Critério de decisão de hangar segundo *Political/Economics Implications*

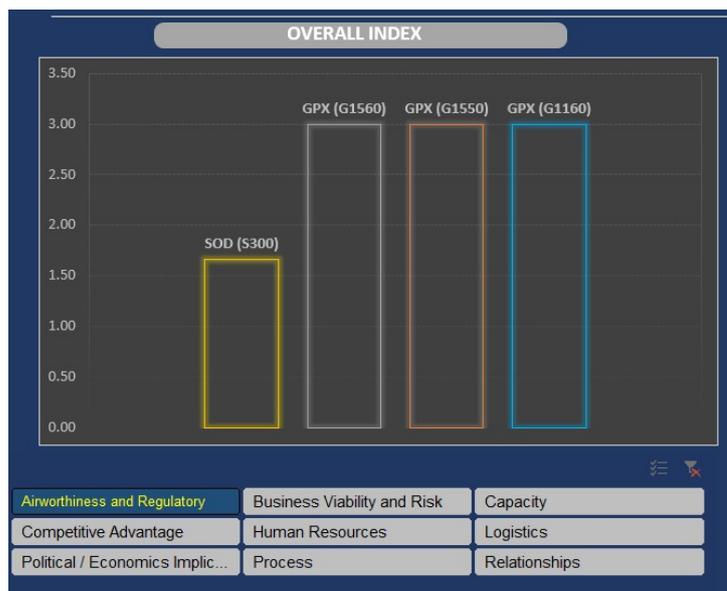


Fonte: Embraer (2023).

Já nas Figuras 13 a 19, mostram a relação do site SOD e dos hangares de GPX comparativamente em cada um dos outros parâmetros, nos quais na Figura 13 o site de GPX (suas três possibilidades de hangares) teve vantagem sobre o site de SOD, do contrário que se vê na Figura

14, isso se deve ao fato que para atender as regulamentações no site do interior de São Paulo é mais fácil por ter uma pista própria, os hangares serem da Embraer e mais distante das cidades próximas, no entanto por ser voltado para a linha da defesa ainda tem um viés muito burocrático com documentações por papéis e tem a divisão com a produção, enquanto no outro próximo à capital o hangar é alugado e fica mais exposto à concorrência.

Figura 13 – Critério de decisão de hangar segundo *Airworthiness & Regulatory*



Fonte: Embraer (2023).

Figura 14 – Critério de decisão de hangar segundo *Competitive Advantage*

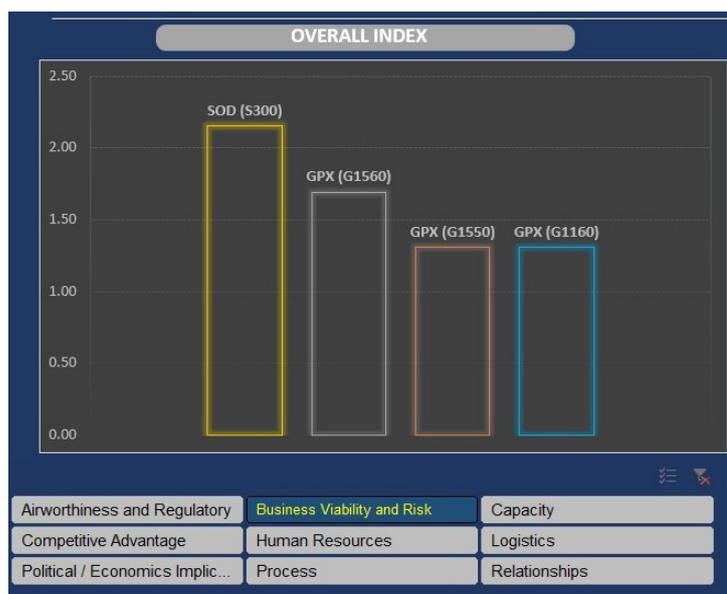


Fonte: Embraer (2023).

Além da vantagem na categoria de "vantagem competitiva", Sorocaba também supera

Gavião Peixoto na categoria *Business Viability & Risk* (Fig. 15) e *Relationships* (Fig. 16), por ser um site que atende os três segmentos (comercial, defesa e executivo), ele se torna mais adaptável a mudanças de demanda e a negociação entre as áreas afetadas se torna mais branda por ter maior sinergia dentro do mesmo site de MRO, ao contrário de GPX que existem as outras áreas da produção para negociar.

Figura 15 – Critério de decisão de hangar segundo *Business Viability & Risk*



Fonte: Embraer (2023).

Figura 16 – Critério de decisão de hangar segundo *Relationships*



Fonte: Embraer (2023).

Em relação a Processos, a vantagem é do hangar G1160 de GPX que supera na facilidade de controlar e monitorar ferramentas calibradas por ser o hangar de ensaios em voo (Fig. 17).

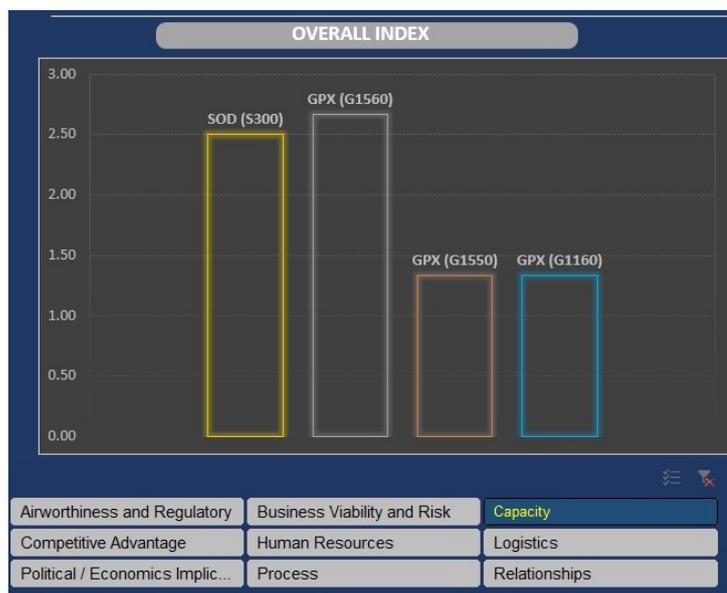
Figura 17 – Critério de decisão de hangar segundo *Process*



Fonte: Embraer (2023).

O hangar G1560 excede todos os outros no que diz respeito à capacidade (Figura 18) e logística (Figura 19), pois não precisa de investimento nenhum na infraestrutura e possui área dedicada de estoque, tem maior facilidade para movimentação de bens, componentes, GSEs e ferramentais e não precisa de investimento em TI.

Figura 18 – Critério de decisão de hangar segundo *Capacity*



Fonte: Embraer (2023).

Figura 19 – Critério de decisão de hangar segundo *Logistics*

Fonte: Embraer (2023).

O espaço escolhido no G1560 foi no pátio, por ser um local mais aberto para realização do corte e não atrapalhar nenhum andamento da produção ou MRO das demais aeronaves. Este site foi escolhido principalmente por ser próprio da Embraer e, por ser da linha da defesa, ele é isolado de qualquer população, podendo realizar o projeto de forma mais tranquila, sem interferência de ruído para as cidades ou liberação de informações para quaisquer outras empresas como visto na Figura 20, enquanto o hangar de SOD está localizado na parte de trás do aeroporto com hangares concorrentes a frente e a cidade ao redor (Figura 21). Além disso, o local impediria o andamento normal de algumas atividades de MRO, prejudicando as tarefas de rotina.

Figura 20 – Embraer Gavião Peixoto vista pelo Google Earth (2023)



Fonte: Google Earth (2023).

Figura 21 – Embraer Sorocaba vista pelo Google Earth (2023)



Fonte: Google Earth (2023).

4.2 Resultados de receita

Ao longo desta análise, será examinado cuidadosamente as fontes de receita identificadas durante o processo de desmontagem de aeronaves, destacando as oportunidades de geração de receita provenientes da venda de peças sobressalentes, materiais recicláveis e outros produtos derivados do *part-out*. Por meio de uma abordagem sistemática, será apresentado os dados financeiros essenciais e considerações sobre a demanda por componentes de aeronaves, oferecendo uma visão aprofundada do potencial financeiro do projeto, proporcionando uma base sólida para a avaliação da viabilidade econômica e a identificação de oportunidades estratégicas.

Assim, considerando que foi descartado a possibilidade de contratação de empresa de corte e desmonte, devido aos altos custos o somatório da receita levará em conta o *labor rate*, que aqui será omitido.

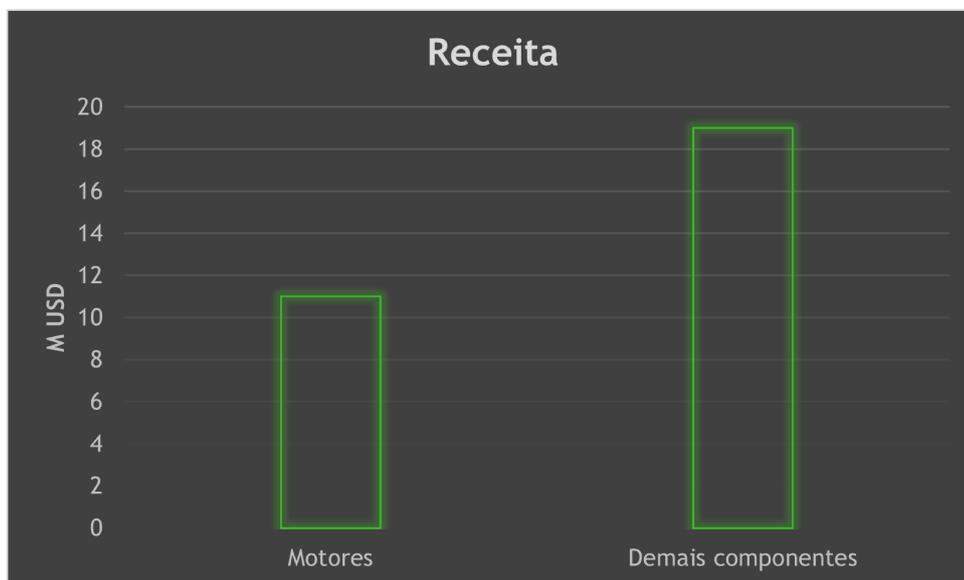
A outra parte do somatório são os valores dos materiais. Por análise de demanda, os componentes mais requeridos e pedidos são os motores, estes que pagarão o valor das duas aeronaves. A venda dos 4 motores será em torno de 11 M USD, também colocados no *pool* de peças para trocas entre clientes, o que corrobora com a aprovação do projeto, já que tem maior facilidade e vantagem tanto para o cliente quanto para a empresa.

O restante dos componentes, sendo os mais requisitados, os trens de pouso e aviônicos abaterão os 1 M USD faltantes e o sobressalente será o lucro do projeto.

Além disso, tem-se a venda de materiais de sucata como restos de alumínio do corte e cabeamentos da aeronave. O interior da aeronave (cadeiras, mídias, galley, entre outros) que ao

ser retirado também pode ser reparado, personalizado e vendido para linhas aéreas que tenham interesse. Assim, a receita é composta vista na Figura 22.

Figura 22 – Composição da receita



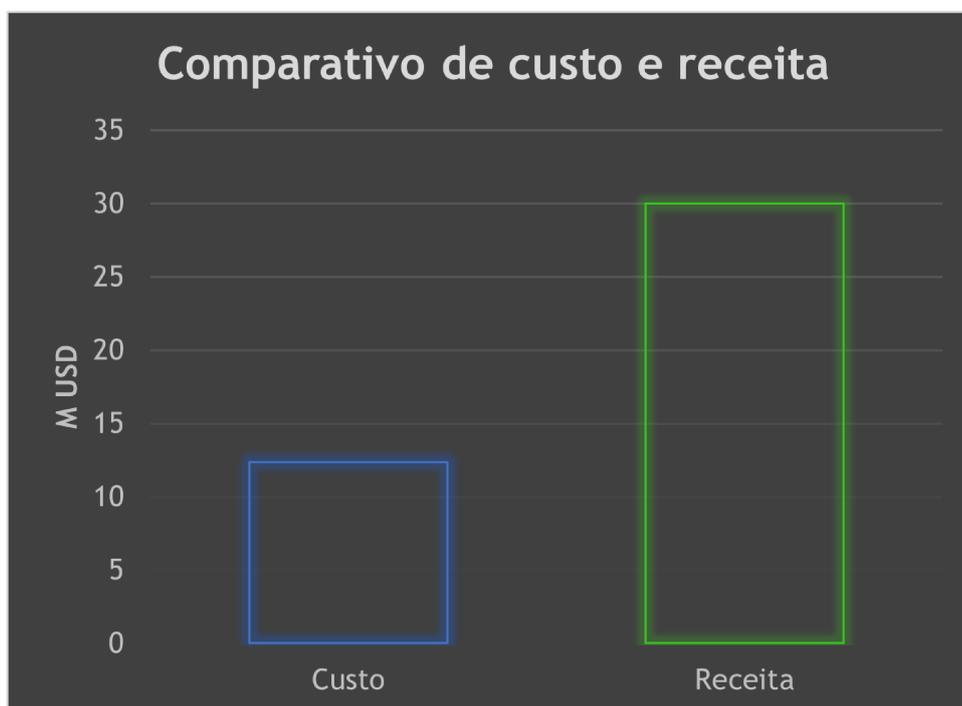
Fonte: Elaborada pelo autor.

Vale lembrar que os motores foram os componentes mais requisitados de imediato, sendo os outros componentes retirados conforme necessidade e demanda de clientes, mas ainda dando lucro ao projeto.

Portanto, o comparativo de custo e receita foi com a receita do motor, que praticamente pagou a compra das aeronaves, juntamente com os outros componentes o valor de receita é de três vezes maior que o custo, sendo um projeto altamente rentável (Figura 23).

(Intencionalmente em branco)

Figura 23 – Comparativo Custo x Receita



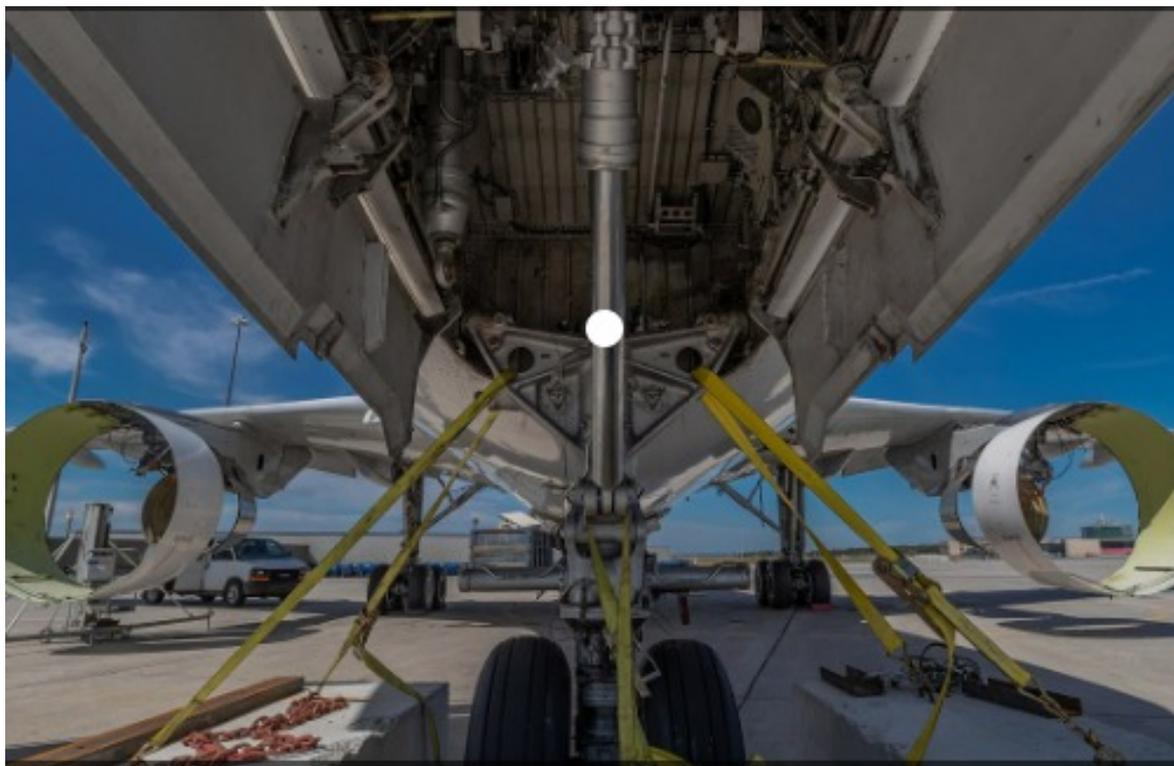
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Corte e armazenamento

O corte da fuselagem durante o processo de *part-out* de uma aeronave envolve a remoção cuidadosa e estratégica da seção principal do corpo da aeronave. Isso é geralmente feito para recuperar peças valiosas, como assentos, janelas, portas, compartimentos de carga, sistemas elétricos e hidráulicos, entre outros componentes. A fuselagem pode ser cortada em seções menores para facilitar o transporte e o manuseio das peças. A desmontagem da fuselagem é realizada com foco na segurança e na preservação da integridade das peças, para garantir que possam ser reutilizadas de forma eficaz em outras aeronaves ou para outros fins.

Normalmente, quando ocorre a preservação da aeronave os motores já são retirados a fim de mantê-los conservados e protegidos. A Figura 24 mostra uma aeronave em estado de conservação sem os motores. No *part-out* isso não é diferente, dado que será o componente mais valioso e requisitado pelos clientes.

Figura 24 – Aeronave em estado de preservação.



Fonte: Embraer (2023).

Em seguida a aeronave é colocada nos macacos para que seu trem de pouso possa ser removido e seu interior também, contrabalanceando o peso do avião para que as pessoas possam ainda trabalhar dentro dele (isso pode ser feito com galões de água por exemplo), cada parte removida vai sendo armazenada para que não haja muitas avarias durante o corte. Depois o jato é colocado nos berços para que haja o corte de sua fuselagem (Figura 25). Após o corte (Figura 26), as partes da fuselagem também podem ser armazenadas para posterior venda de componentes remanescentes e sucata.

Figura 25 – Aeronave sobre berços para corte no Hangar.



Fonte: Embraer (2023).

Figura 26 – Carcaça da fuselagem dividida sobre berços.



Fonte: Embraer (2023).

4.4 Questões ambientais

O projeto de *dismanteling* auxilia na questão ambiental com o não-abandono das aeronaves principalmente quando seu ciclo operacional chega ao fim. Além disso, ao lidar com questões ambientais durante o processo de *part-out* de uma aeronave, é importante seguir as

regulamentações ambientais locais e adotar práticas sustentáveis para minimizar o impacto no meio ambiente e promover a responsabilidade ambiental.

Nas etapas há uma gestão residual, separando cuidadosamente todos os resíduos para descarte em locais apropriados, a fim de evitar impactos negativos no meio ambiente. Deve-se levar em consideração a remoção e descarte também de produtos químicos e substâncias perigosas, que em uma aeronave encontra-se vários deles como lubrificantes, fluidos hidráulicos, tintas, materiais compósitos, entre outros. Esses devem ser descartados e manuseados seguindo as regulamentações de órgãos ambientais e segurança.

Esse cuidado não beneficia somente o meio ambiente, mas também contribui para a reputação e a competitividade das empresas no mercado, que hoje em dia se preocupam com o ESG (*Environmental, Social and Governance*) e isso é uma vantagem para mostrar uma imagem corporativa verde globalmente.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste capítulo, são revisitados os principais aspectos analisados ao longo desta investigação. Desde o exame detalhado dos custos e benefícios econômicos até a avaliação dos impactos ambientais e sociais, o objetivo foi compreender plenamente a viabilidade e as implicações do *part-out* como uma estratégia de gerenciamento de ativos na indústria da aviação. Nesta seção final, são reunidas as conclusões obtidas e oferecidas recomendações práticas para orientar decisões futuras e potenciais implementações desse processo. Ao ser feito isso, espera-se fornecer uma visão abrangente e informada que possa servir de base sólida para a tomada de decisões estratégicas nesta área em constante evolução.

Em síntese o projeto de *part-out* representa uma grande vantagem ambiental, dado que para aeronaves que estão com seu ciclo de vida chegando ao fim em vez de serem descartadas elas passam pelo processo de desmantelamento para venda dos seus componentes reaproveitáveis, além de baratear a manutenção para o operador com o fornecimento de peças de reposição, ele também estimula a economia circular ao estender a vida útil dos materiais e componentes em vez de simplesmente descartá-los. Com essa ideia, o processo realiza logística reversa ao reaproveitar produtos e materiais que tiveram o seu ciclo produtivo encerrado (MARCHESE *et al.*, 2013).

Nesse projeto de estudo de viabilidade do *part-out* pela Embraer, foram avaliados os principais custos e receitas gerados para que fosse aprovado. Foi mostrado e explicado o processo de desmantelamento da aeronave e sendo um processo de logística reversa, como impacta na imagem de uma empresa mais sustentável. Além disso todos os aspectos avaliados de localização, mão-de-obra e venda de componentes foram cuidadosamente explorados para que se tomasse uma decisão estratégica assertiva. O programa já se paga com a venda dos motores, além da exposição da empresa com um projeto de ESG, gerando benefícios econômicos, sociais (com a geração de emprego) e ambiental com a reciclagem e reutilização dos resíduos e componentes. É bom ressaltar que a condição dessas aeronaves não foram as usuais, já que na maioria dos casos a aposentadoria ou o desmonte da aeronave se dá pelo fim de sua vida útil, quando nesse caso foi

por dificuldade financeira da linha aérea de se manter os aviões.

Para futuras discussões sobre o tema de *part-out*, a sugestão seria analisar a quantidade de casos em que o ciclo de vida útil da aeronave já foi finalizado ou quando há troca de frota dos operadores aéreos, por ser um maior número de aeronaves gerarão um maior número na receita. Além disso, pensando na logística reversa é possível englobar o projeto cargueiro a essa estrutura, pois seu interior será retirado por completo, podendo ser reparado para revenda para as linhas aéreas que necessitam de componentes para manutenção a preço mais baixo.

REFERÊNCIAS

Aero Strategy. **Air transport MRO supply chain survey**. Phoenix, Arizona, 2010. Citado na página 23.

AEROIN. **Aviões da boliviana Amazonas recebem matrículas brasileiras após empresa ser vendida**. 2023. <<https://aeroin.net/avioes-da-boliviana-amazonas-recebem-matriculadas-brasileiras-apos-empresa-ser-vendida/>>, Last accessed on 2024-01-03. Citado na página 27.

Aersale. **Aircraft Life Cycle Management: A Breakdown of Your Aircraft Life Cycle**. *AerSale*, 2019-06-19. 2019. <<https://www.aersale.com/media-center/aircraft-life-cycle-management>>, Last accessed on 2024-01-04. Citado na página 16.

Airbus. **Product responsibility**. 2020. <<https://www.airbus.com/company/sustainability/environment/product-responsibility.html>>, Last accessed on 2023-12-04. Citado na página 16.

_____. **Environmental responsibility**. 2022. <<https://www.airbus.com/en/sustainability/environment/environmental-responsibility#recycling>>, Last accessed on 2024-01-18. Citado na página 24.

Amarcexperience. **What is AMARG?** 2020. Last accessed on 2024-01-15. Disponível em: <http://www.amarcexperience.com/ui/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=213#:~:text=AMARG%2C%20or%20the%20309th%20Aerospace,of%20Tucson%2C%20Arizona%2C%20USA>. Citado na página 20.

ASMATULU, E.; OVERCASH, M.; TWOMEY, J. *et al.* Recycling of aircraft: State of the art in 2011. **Journal of Industrial Engineering**, Hindawi, v. 2013, 2013. Citado na página 18.

BADENHORST, A. Prioritising the implementation of practices to overcome operational barriers in reverse logistics. **Journal of Transport and Supply Chain Management**, AOSIS, v. 10, n. 1, 2016. Citado na página 26.

BLOCK, J.; AHMADI, A.; TYRBERG, T.; SÖDERHOLM, P. Part-out-based spares provisioning management: A military aviation maintenance case study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Emerald Group Publishing Limited, v. 20, n. 1, p. 76–95, 2014. Citado nas páginas 13 e 18.

BLOCK, J.; AHMADI, A.; XIAO, X.; KUMAR, U. Spares provisioning strategy for periodically replaced units within the fleet retirement period. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, Springer, v. 10, p. 299–315, 2019. Citado nas páginas 13, 20, 22 e 23.

BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M. Virtual pooled inventories for equipment-intensive industries. an implementation in a paper district. **Reliability engineering & system safety**, Elsevier, v. 112, p. 26–37, 2013. Citado na página 23.

CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; ESPOSITO, E.; SHASHI. Evaluating environmental sustainability strategies in freight transport and logistics industry. **Business Strategy and the Environment**, Wiley Online Library, v. 29, n. 3, p. 1563–1574, 2020. Citado na página 26.

COSTA, L. G. da; VALLE, R. Logística reversa: importância, fatores para a aplicação e contexto brasileiro. **Anais III Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia–SEGeT, Resende, Rio de Janeiro**, 2006. Citado na página 24.

DALLARA, E.; KUSNITZ, J.; BRADLEY, M. *et al.* Parametric life cycle assessment for the design of aircraft. **SAE International Journal of Aerospace**, v. 6, n. 2013-01-2277, p. 736–745, 2013. Citado na página 18.

DONG, P. A. V.; AZZARO-PANTEL, C.; BOIX, M.; JACQUEMIN, L.; CADÈNE, A.-L. A bicriteria optimisation approach for waste management of carbon fibre reinforced polymers used in aerospace applications: application to the case study of france. **Waste and biomass valorization**, Springer, v. 8, p. 2187–2208, 2017. Citado na página 24.

ELSAYED, A.; ROETGER, T.; BANN, A. *et al.* Best practices and standards in aircraft end-of-life and recycling. **International Civil Aviation Organization, ICAO**, p. 279–284, 2019. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg279-284.pdf>. Last accessed on 2023-12-17. Citado nas páginas 19 e 24.

EMBRAER. **Embraer part-out program**. 2023. Confidential archive. Citado nas páginas 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 49 e 50.

FORSBERG, D. Aircraft retirement and storage trends. **Economic Life Analysis Reprised and Expanded**, 2015. <<https://www.avolon.aero>>, Last accessed on 2023-12-20. Citado na página 23.

Google Earth. **Google Earth Website**. 2023. <<https://earth.google.com/web/>>, Last accessed on 2024-02-24. Citado nas páginas 8, 45 e 46.

HSU, C.-C.; TAN, K.-C.; ZAILANI, S. H. M. *et al.* Strategic orientations, sustainable supply chain initiatives, and reverse logistics: Empirical evidence from an emerging market. **International journal of operations & production management**, Emerald Group Publishing Limited, v. 36, n. 1, p. 86–110, 2016. Citado na página 25.

HUR, M.; KESKIN, B. B.; SCHMIDT, C. P. *et al.* End-of-life inventory control of aircraft spare parts under performance based logistics. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 204, p. 186–203, 2018. Citado na página 20.

Jetphotos. **Amas Bolívia - Amazonas E1-190**. 2023. <<https://www.jetphotos.com/photo/10903271>>. Citado na página 28.

KEIVANPOUR, S.; AIT-KADI, D.; MASCLE, C. *et al.* End of life aircrafts recovery and green supply chain (a conceptual framework for addressing opportunities and challenges). **Management Research Review**, Emerald Group Publishing Limited, v. 38, n. 10, p. 1098–1124, 2015. Citado na página 24.

_____. End-of-life aircraft treatment in the context of sustainable development, lean management, and global business. **International Journal of Sustainable Transportation**, Taylor & Francis, v. 11, n. 5, p. 357–380, 2017. Citado na página 19.

KRSTEV, D.; KRSTEV, A. Reverse logistics—possibility, expectation and sustainability perspectives. **Natural Resources and Technology**, Natural Resources and Technology, v. 16, n. 1, p. 89–96, 2022. Citado na página 26.

LEE, S. G.; MAA, Y.-S.; THIMM, G. L.; VERSTRAETEN, J. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. **Computers in industry**, Elsevier, v. 59, n. 2-3, p. 296–303, 2008. Citado nas páginas 16 e 17.

MAAß; SVENJA. Aircraft recycling—a literature review. Hamburg: Aircraft Design and Systems Group (AERO), Department of Automotive and Aeronautical Engineering, Hamburg University of Applied Sciences, 61 S, 2020. URN: <<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18302-aero2020-04-05.018>>. Citado na página 25.

MARCHESE, L. D. Q. *et al.* **Logística reversa das embalagens e sua contribuição para a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Dissertação (Mestrado) — PPGAD; Ambiente e Desenvolvimento, 2013. <<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/e6670134-44f7-47c2-8927-0c743741686f/content>>, Last accessed on 2024-01-22. Citado nas páginas 24, 25 e 52.

MASCLE, C. Product end-of-life problem in the context of reverse supply chain analysis. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, WIT Press, v. 217, p. 51–62, 2018. Citado na página 24.

MASCLE, C.; BAPTISTE, P.; BEUVE, D. S.; CAMELOT, A. Process for advanced management and technologies of aircraft eol. **Procedia CIRP**, Elsevier, v. 26, p. 299–304, 2015. Citado na página 24.

MORGAN, T. R.; TOKMAN, M.; RICHEY, R. G.; DEFEE, C. Resource commitment and sustainability: a reverse logistics performance process model. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, Emerald Publishing Limited, v. 48, n. 2, p. 164–182, 2018. Citado na página 26.

POHLEN, T. L.; FARRIS, M. T. Reverse logistics in plastics recycling. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, MCB UP Ltd, v. 22, n. 7, p. 35–47, 1992. Citado na página 24.

REINAS, R. I.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. d. N. *et al.* Custo/benefício de aeronaves: uma abordagem pela análise envoltória de dados. **Production**, SciELO Brasil, v. 21, p. 684–695, 2011. Citado na página 22.

RUIVO, F. M.; MOROOKA, C. K. Decommissioning offshore oil and gas fields. In: ONEPETRO. **SPE Annual Technical Conference and Exhibition**. [S.l.], 2001. Citado na página 18.

SABAGHI, M.; CAI, Y.; MASCLE, C.; BAPTISTE, P. Sustainability assessment of dismantling strategies for end-of-life aircraft recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier, v. 102, p. 163–169, 2015. Citado na página 24.

SALEH, J. H.; HASTINGS, D. E.; NEWMAN, D. J. *et al.* Flexibility in system design and implications for aerospace systems. **Acta astronautica**, Elsevier, v. 53, n. 12, p. 927–944, 2003. Open access at: <http://web.mit.edu/spacearchitects/Archive/ActaAstra_JS_DH_DJN.pdf>, Last accessed on 2024-01-15. Citado na página 20.

- SARKIS, J.; HELMS, M. M.; HERVANI, A. A. *et al.* Reverse logistics and social sustainability. **Corporate social responsibility and environmental management**, Wiley Online Library, v. 17, n. 6, p. 337–354, 2010. Citado na página 26.
- SCHOLZ, D. Verkehrsflugzeuge am lebensende. Report. Hamburg University of Applied Science, Aircraft Design and Systems Group (AERO), Hamburg, 2022. Citado na página 24.
- STARK, J. Product lifecycle management (plm). In: **Product Lifecycle Management (Volume 1) 21st Century Paradigm for Product Realisation**. [S.l.]: Springer, 2005. p. 441–562. Citado na página 16.
- SUOMALAINEN, E.; CELIKEL, A.; VÉNUAT, P. *et al.* Aircraft metals recycling: Process, challenges and opportunities. **ENVISA and Bartin Recycling Group, Paris, France**, 2017. Citado nas páginas 17 e 25.
- TOWLE, I.; JOHNSON, C.; LINGWOOD, R.; GRANT, P. S. The aircraft at end of life sector: a preliminary study. Oxford University, Department of Materials, 2004. Open access at: <https://users.ox.ac.uk/~pgrant/Airplane_end_of_life.pdf>, Last accessed on 2024-01-15. Citado na página 20.
- VALERIO, E.; MELATTO, R.; NETO, G. *et al.* Avaliação econômica, ambiental e social da implantação de motobomba no processo de manutenção de aeronaves. **Corporate social responsibility and environmental management**, 2022. Citado nas páginas 13 e 23.
- YAKOVLIEVA, A.; BOICHENKO, S.; KALE, U.; NAGY, A. Holistic approaches and advanced technologies in aviation product recycling. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, Emerald Publishing Limited, v. 93, n. 8, p. 1302–1312, 2021. Citado na página 18.