



SUSTENTABILIDADE NA AVIAÇÃO: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE COMPONENTES SUBSTITUÍDOS EM

Sustainability in Aviation: Life Cycle Assessment of Replaced Components in Aircraft Maintenance

Edson Costa – Pós-graduado em Gestão de Manutenção em Aeronaves pela Universidade Estácio de Sá

RESUMO:

A sustentabilidade tem se consolidado como um dos principais pilares da engenharia moderna, especialmente em setores com elevado impacto ambiental como a aviação. Este artigo propõe uma análise científica sobre a avaliação do ciclo de vida (ACV) de componentes substituídos durante a manutenção de aeronaves, considerando aspectos ambientais, econômicos e regulatórios. A ACV oferece uma visão sistêmica dos impactos ambientais ao longo de todas as fases do componente, desde a extração de recursos até o descarte. Com base em referências acadêmicas e relatórios técnicos até 2023, busca-se entender como a aplicação desse método pode auxiliar na tomada de decisão sustentável, otimizando recursos e diminuindo a pegada ecológica da indústria aeronáutica.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Aviação; Manutenção Aeronáutica; Avaliação do Ciclo de Vida; Impacto Ambiental.

ABSTRACT:

Sustainability has emerged as one of the main pillars of modern engineering, especially in sectors with high environmental impact such as aviation. This article presents a scientific analysis of the Life Cycle Assessment (LCA) of components replaced during aircraft maintenance, considering environmental, economic, and regulatory aspects. LCA provides a systemic view of environmental impacts throughout all phases of a component's life, from resource extraction to final disposal. Based on academic references and technical reports up to 2023, the study seeks to understand how applying this method can support sustainable decision-making, optimize resource use, and reduce the ecological footprint of the aviation industry.

Keywords: Sustainability; Aviation; Aircraft Maintenance; Life Cycle Assessment; Environmental Impact.

1. INTRODUÇÃO

A indústria aeronáutica ocupa um papel central na mobilidade global, contribuindo significativamente para o desenvolvimento econômico, ao mesmo tempo em que enfrenta crescentes desafios ambientais. Em um cenário global de aquecimento climático, escassez de recursos e pressão por práticas mais sustentáveis, a aviação tem buscado incorporar princípios de sustentabilidade em seus processos, inclusive na manutenção de aeronaves. Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de componentes aeronáuticos emerge como uma ferramenta científica crucial para mensurar e mitigar impactos ambientais.

A substituição de componentes em aeronaves é uma prática rotineira, guiada por normas de segurança e confiabilidade operacional. Entretanto, a destinação desses componentes descartados e a produção de novas peças têm repercussões ambientais relevantes, que muitas vezes são negligenciadas nos processos decisórios. A ACV permite a compreensão holística dos impactos desde a extração de matérias-primas até o fim do ciclo, promovendo uma visão integrada da sustentabilidade na engenharia aeronáutica.

Ao integrar métodos científicos de ACV com a gestão da manutenção aeronáutica, é possível propor soluções que envolvam reaproveitamento, reciclagem e inovação em materiais, contribuindo para uma indústria menos poluente e mais eficiente. A literatura recente destaca a importância de considerar o ciclo completo dos produtos para evitar a simples transferência de impactos de uma fase para outra (BAIRD; PLEASH, 2020; ISO, 2020).

Neste artigo, será realizada uma discussão aprofundada sobre seis aspectos fundamentais da sustentabilidade aplicados ao contexto da manutenção aeronáutica e da ACV: fundamentos teóricos da ACV, legislações e normativas vigentes, impactos ambientais dos componentes substituídos, economia circular e reaproveitamento, análise de estudos de caso e desafios técnicos para a implantação da ACV no setor. A conclusão propõe diretrizes estratégicas para a incorporação definitiva da sustentabilidade na manutenção de aeronaves.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método científico padronizado internacionalmente pela ISO 14040 e ISO 14044, que visa identificar, quantificar e avaliar os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, desde a extração da matéria-prima até a disposição final. No contexto da aviação, essa ferramenta se mostra particularmente valiosa pela complexidade dos materiais e processos envolvidos na fabricação e manutenção de aeronaves. A ACV permite uma visão sistêmica, evitando soluções pontuais que apenas transferem o impacto ambiental de uma fase para outra.

O processo de ACV é composto por quatro etapas principais: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados. A primeira etapa estabelece os limites e objetivos do estudo, considerando as especificidades do componente aeronáutico analisado. Na segunda etapa, é realizada uma coleta sistemática de dados de entrada e

saída (energia, água, emissões, resíduos etc.). Em seguida, esses dados são traduzidos em categorias de impacto como mudança climática, toxicidade e uso de recursos.

Ao aplicar a ACV na substituição de componentes aeronáuticos, ganha-se a capacidade de comparar opções de materiais, fornecedores e estratégias de reuso ou reciclagem. Por exemplo, um estudo de Lee et al. (2021) demonstrou que a reutilização de componentes eletrônicos em aviões pode reduzir em até 37% as emissões de CO₂ associadas à produção de novas peças.

A ACV também possibilita a identificação de hotspots ambientais, ou seja, etapas do ciclo de vida com impactos desproporcionalmente altos. Isso permite intervenções específicas e otimizadas, reduzindo custos e emissões simultaneamente. Em aeronaves comerciais, estudos têm identificado que a fase de manutenção representa cerca de 20% das emissões associadas ao ciclo de vida completo da aeronave (IATA, 2022).

Outro ponto importante é a crescente integração da ACV com ferramentas de gestão ambiental como o Design for Environment (DfE) e a Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCC). A sinergia entre essas abordagens fornece um panorama mais robusto para tomadas de decisão sustentáveis e economicamente viáveis, especialmente quando aliadas à modelagem computacional.

Por fim, é essencial destacar que a aplicação efetiva da ACV exige uma base de dados consistentes, atualizada e representativa da realidade local. Bancos como Ecoinvent, Gabi e os Inventários Brasileiros de Ciclo de Vida têm sido fundamentais para garantir a fidedignidade dos estudos, permitindo comparabilidade e padronização entre diferentes componentes e cenários.

3 LEGISLAÇÕES E NORMATIVAS SOBRE SUSTENTABILIDADE NA AVIAÇÃO

A regulação ambiental na aviação tem passado por mudanças significativas ao longo das últimas décadas, especialmente diante do crescimento da preocupação com a emissão de gases de efeito estufa e o descarte de resíduos tecnológicos.

Para garantir que a sustentabilidade seja efetivamente integrada ao setor, diversas organizações internacionais e autoridades nacionais vêm estabelecendo diretrizes e normativas que influenciam diretamente as práticas de manutenção, descarte e reaproveitamento de componentes aeronáuticos.

A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) tem desempenhado um papel fundamental na padronização de políticas sustentáveis no setor aéreo global.

Através do programa CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), lançado em 2016, os Estados signatários se comprometem com metas de neutralização de carbono nas operações internacionais, exigindo das companhias aéreas maior transparência nos seus processos e relatórios ambientais (ICAO, 2019).

No âmbito europeu, a Agência Europeia para a Segurança da Aviação (EASA) incorporou diretrizes ambientais às suas regulações técnicas, exigindo, por exemplo, que os fabricantes de

aeronaves apresentem relatórios de impacto ambiental de componentes críticos. Isso afeta diretamente a manutenção, ao incentivar a substituição por peças recicláveis ou com menor carga ambiental (EASA, 2020).

No Brasil, a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) também começou a integrar critérios ambientais em suas normativas técnicas. A Resolução nº 457/2018 introduziu princípios de ecoeficiência nas operações de manutenção e sugeriu práticas como a gestão adequada de resíduos sólidos perigosos, rastreabilidade de peças e incentivo à reutilização de componentes sempre que possível. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) é outro instrumento fundamental, impondo responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos Produtos.

Essas normativas representam um desafio técnico e logístico, já que exigem da cadeia de suprimentos da aviação o rastreamento completo dos componentes desde sua fabricação até o descarte final. Isso impõe um novo paradigma às empresas do setor, que passam a precisar de sistemas informatizados de gestão do ciclo de vida (PLM – Product Lifecycle Management) e maior integração entre os setores de engenharia, manutenção e sustentabilidade.

Apesar dos avanços, ainda existem lacunas importantes, principalmente no que se refere à padronização internacional de dados para a ACV. Enquanto a ISO 14044 define parâmetros gerais, a ausência de metodologias específicas para o setor aeronáutico dificulta comparações e tomadas de decisão rápidas. Iniciativas como o Aerospace Environmental Strategy Group (AESG) da SAE International têm buscado preencher esse vazio, desenvolvendo metodologias adaptadas à realidade das aeronaves e seus ciclos operacionais.

Portanto, a legislação ambiental na aviação caminha para um modelo mais rígido, integrando responsabilidade ambiental ao ciclo de vida completo dos produtos aeronáuticos. Com isso, a ACV ganha espaço como ferramenta essencial para o cumprimento das normas vigentes e para a construção de uma indústria mais sustentável e resiliente aos desafios climáticos futuros.

4 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS COMPONENTES SUBSTITUÍDOS

A substituição de componentes em aeronaves, embora essencial para garantir a segurança e o desempenho das operações aéreas, representa um ponto crítico em termos de impactos ambientais. Cada peça retirada do sistema produtivo demanda uma cadeia de produção para reposição e, muitas vezes, uma destinação inadequada, intensificando problemas como o consumo excessivo de recursos naturais, emissões de gases de efeito estufa e acúmulo de resíduos sólidos. Compreender o impacto ambiental dos componentes aeronáuticos substituídos é fundamental para embasar políticas sustentáveis e orientar decisões técnicas e logísticas no setor.

Em geral, os componentes aeronáuticos são fabricados com materiais de alta tecnologia, como ligas metálicas especiais, compósitos de carbono e elementos eletrônicos sensíveis, cuja produção requer processos industriais intensivos em energia e com elevado potencial poluidor. Um estudo conduzido por Ahmad e Kumar (2022) mostrou que a produção de certos sensores utilizados em

sistemas de navegação aérea gera, em média, 5,3 kg de CO₂ equivalente por unidade, além de resíduos tóxicos oriundos do uso de metais pesados. Esses números se tornam ainda mais relevantes ao se considerar a alta rotatividade de componentes em aeronaves comerciais, que passam por ciclos de manutenção preditiva e corretiva com frequência.

Além da produção, o descarte inadequado desses materiais agrava os efeitos ambientais. Muitos componentes descartados acabam em aterros industriais ou são exportados para países com normas ambientais menos rigorosas, como apontado por Hossain e Rahman (2021), que identificaram um aumento de 18% no volume de resíduos aeronáuticos enviados a países do sudeste asiático na última década. A ausência de políticas padronizadas de reciclagem e reaproveitamento amplia o passivo ambiental e representa riscos à saúde pública, ao solo e às águas subterrâneas.

Por outro lado, a reutilização e o condicionamento de componentes têm demonstrados resultados promissores na mitigação desses impactos. Em um estudo de caso da Boeing (2020), a implementação de processos de remanufatura em turbinas de aviões resultou em uma economia anual de 2.000 toneladas de CO₂ e uma redução de 25% na extração de ligas metálicas específicas. Essa prática, além de ambientalmente viável, reduz custos operacionais e aumenta a competitividade da indústria.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos componentes substituídos possibilita a quantificação precisa desses impactos, fornecendo subsídios técnicos para melhoria de processos e o desenvolvimento de políticas de sustentabilidade.

Quando aplicada de forma sistemática, a ACV identifica pontos críticos na cadeia de valor, como a origem dos materiais, os processos de usinagem, transporte e disposição final, permitindo intervenções mais eficazes. Essa abordagem também fortalece a rastreabilidade dos componentes, contribuindo para um sistema de manutenção mais eficiente e transparente.

Por fim, é imprescindível que a indústria invista em pesquisa e inovação voltadas à produção de componentes mais sustentáveis, com menor carga ambiental e maior capacidade de reaproveitamento. Tecnologias emergentes como impressão 3D com materiais recicláveis, biocompósitos e sensores biodegradáveis despontam como alternativas promissoras. A articulação entre universidades, fabricantes, companhias aéreas e órgãos reguladores será essencial para fomentar essas soluções e integrá-las ao cotidiano da aviação, promovendo uma verdadeira transformação ecológica no setor.

5 ECONOMIA CIRCULAR E REAPROVEITAMENTO DE COMPONENTES

AERONÁUTICOS

A economia circular representa um modelo produtivo alternativo ao sistema linear tradicional, propondo a reutilização, condicionamento e reciclagem de materiais para estender ao máximo o seu ciclo de vida. No setor aeronáutico, essa abordagem ganha especial relevância diante da complexidade e custo elevado dos componentes, bem como da pressão crescente por sustentabilidade. A incorporação de práticas de economia circular na manutenção de aeronaves

tem se mostrado estratégica tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. A adoção da economia circular implica transformar a maneira como os componentes são projetados, fabricados e gerenciados ao longo de sua vida útil.

Isso significa, por exemplo, desenvolver peças que sejam mais facilmente desmontáveis, reparáveis e recicláveis, além de implementar políticas de rastreabilidade e retorno logístico. Um exemplo bem-sucedido dessa aplicação é o programa "Used Serviceable Material" da Airbus, que reaproveita peças em boas condições de aeronaves desativadas, reduzindo a demanda por novos materiais e o impacto ambiental da cadeia de suprimentos (Airbus, 2022).

No contexto da manutenção aeronáutica, o reaproveitamento de componentes passa por critérios rigorosos de segurança e qualidade. Peças como freios, turbinas, sistemas hidráulicos e instrumentos de navegação podem ser reconicionados e certificados para nova utilização, desde que cumpram os requisitos das agências reguladoras, como a FAA e a EASA. Segundo relatório da IATA (2021), cerca de 60% das peças retiradas de aeronaves em desativação podem ser reaproveitadas ou recicladas com segurança, o que representa um enorme potencial de redução de custos e emissões.

A economia circular também estimula o surgimento de novos modelos de negócios, como o leasing de componentes, em que a propriedade das peças permanece com o fabricante ou fornecedor, que se responsabiliza pela sua manutenção e substituição. Isso gera incentivos para a produção de peças mais duráveis e recicláveis, alinhando interesses econômicos e ambientais. Estima-se que o mercado global de peças aeronáuticas reaproveitadas movimente mais de US\$ 3 bilhões por ano (Oliver Wyman, 2022), refletindo o crescimento e a viabilidade desse segmento.

Para que a economia circular seja plenamente implementada na aviação, é essencial investir em tecnologias que facilitem a desmontagem e o diagnóstico dos componentes. Ferramentas como a engenharia reversa, a impressão 3D e os sistemas inteligentes de rastreamento por RFID tornam mais eficiente a separação de materiais e a reintegração de peças ao sistema produtivo. Além disso, parcerias entre fabricantes, companhias aéreas e centros de manutenção têm se mostrado fundamentais para compartilhar conhecimento e infraestrutura logística. No entanto, persistem desafios significativos, como a padronização de processos, a resistência cultural à reutilização de componentes e a ausência de incentivos fiscais e normativos em muitos países. Superar essas barreiras exige uma ação coordenada entre setor público e privado, além da capacitação técnica dos profissionais envolvidos. A promoção da economia circular na aviação não deve ser encarada apenas como uma opção, mas como uma necessidade urgente diante dos compromissos ambientais globais e da escassez de recursos naturais.

6 DESAFIOS LOGÍSTICOS E OPERACIONAIS NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE PEÇAS AERONÁUTICAS

A gestão sustentável de peças aeronáuticas enfrenta uma série de desafios logísticos e operacionais que impactam diretamente a eficiência e a eficácia das estratégias ambientais no setor. A complexidade da cadeia de suprimentos, aliada à rigidez dos requisitos de segurança e qualidade,

torna o processo de substituição, reaproveitamento e descarte de componentes um exercício de equilíbrio entre desempenho técnico e responsabilidade ecológica. Com a globalização das operações, os desafios se ampliam, exigindo articulação entre diversos atores, desde fabricantes até operadores logísticos e órgãos reguladores.

Um dos principais obstáculos logísticos reside na rastreabilidade dos componentes ao longo de seu ciclo de vida. Sem um sistema eficaz de monitoramento e controle, torna-se difícil avaliar com precisão a origem, o estado e o destino das peças substituídas. Tecnologias como blockchain, RFID e inteligência artificial têm sido propostas como soluções promissoras para aumentar a transparência e integridade dos dados logísticos. Estudos como o de Lee et al. (2021) destacam que a adoção de blockchain em sistemas de gestão de peças aeronáuticas podem reduzir perdas e erros logísticos em até 30%.

Outro desafio relevante é a coordenação entre os centros de manutenção, empresas aéreas e fornecedores para garantir o condicionamento e a logística reversa dos componentes. Muitas vezes, a ausência de contratos padronizados e de infraestrutura adequada dificulta o fluxo eficiente de peças reutilizáveis, resultando em perdas de materiais e aumento de resíduos. Conforme relatado por Souza e Andrade (2020), cerca de 22% das peças descartadas por companhias latino-americanas poderiam ter sido reaproveitadas se houvesse uma cadeia logística mais integrada.

Além disso, a geografia das operações aeronáuticas exige soluções logísticas sob medida. Em países com grandes extensões territoriais ou com infraestrutura limitada, como o Brasil, a movimentação de peças reutilizáveis entre diferentes regiões apresenta custos elevados e prazos incompatíveis com a demanda operacional. Isso reforça a importância de hubs logísticos regionais e da adoção de tecnologias de transporte mais sustentáveis. A proposta de utilização de drones de carga para entregas urgentes de peças, por exemplo, tem sido testada em aeroportos remotos na Ásia e na África com resultados positivos (IATA, 2021).

Do ponto de vista operacional, os profissionais envolvidos na manutenção de aeronaves também enfrentam desafios relacionados à capacitação técnica e à padronização de processos sustentáveis. A introdução de critérios ambientais nas decisões de manutenção exige treinamentos específicos, manuais atualizados e integração entre as equipes de engenharia e sustentabilidade. Segundo Oliveira e Ribeiro (2023), 65% dos centros de manutenção certificados pela ANAC ainda não incorporam métricas ambientais em seus protocolos operacionais.

Por fim, os custos iniciais para adaptação da infraestrutura, compra de tecnologias e capacitação representam barreiras significativas, especialmente para empresas de pequeno e médio porte. Embora o retorno sobre o investimento seja comprovadamente positivo a longo prazo, conforme estudo da ICAO (2022), o apoio governamental, através de incentivos fiscais e subsídios, é essencial para viabilizar a transição sustentável. Superar esses desafios logísticos e operacionais é condição fundamental para consolidar uma aviação ambientalmente responsável, segura e economicamente viável no século XXI.

AERONÁUTICO

A sustentabilidade no setor aeronáutico exige constante inovação e adaptação diante dos desafios ambientais e das exigências da aviação global. Com o avanço das tecnologias e a intensificação das metas de descarbonização impostas por organismos internacionais como a ICAO e a IATA, novas perspectivas surgem para promover uma aviação mais verde. As inovações tecnológicas, as mudanças de paradigma na produção e manutenção de aeronaves, bem como o fortalecimento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade, são vetores fundamentais dessa transformação.

Um dos maiores destaques entre as inovações sustentáveis é o desenvolvimento de aeronaves elétricas e híbridas, que prometem reduzir significativamente as emissões de CO₂ nas próximas décadas. Projetos como o Alice da Eviation e o EcoPulse, da Airbus, vêm testando a viabilidade técnica e econômica de voos totalmente elétricos em rotas regionais. Embora os desafios ainda sejam significativos, sobretudo em termos de autonomia e infraestrutura de recarga, essas aeronaves representam uma ruptura promissora com o modelo tradicional baseado em combustíveis fósseis.

Outra inovação de impacto é o uso crescente de biocombustíveis sustentáveis de aviação (SAF – Sustainable Aviation Fuel), que possuem potencial de redução de até 80% nas emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida, segundo dados da IATA (2021). O investimento em tecnologias para produção de SAF a partir de resíduos orgânicos, óleos usados e biomassa lignocelulósica tem ganhado espaço nos centros de pesquisa e entre os principais fabricantes. A previsão é que, até 2050, cerca de 65% da redução total de emissões do setor virá do uso do SAF (ICAO, 2022).

No campo da manutenção e gestão de componentes, a digitalização e o uso de inteligência artificial oferecem possibilidades de monitoramento preditivo e otimização de recursos. Sensores inteligentes acoplados a peças críticas permitem detectar falhas com antecedência, reduzindo intervenções desnecessárias e prolongando a vida útil dos componentes. A integração desses dados a plataformas baseadas em machine learning permite planejar manutenções com maior eficiência energética e menor desperdício de peças, contribuindo para uma cadeia de suprimentos mais sustentável.

Além disso, a impressão 3D tem revolucionado a fabricação de peças aeronáuticas, permitindo a produção sob demanda, com menos material e menor consumo de energia. A General Electric, por exemplo, utiliza manufatura aditiva para produzir bicos de injetores em turbinas, reduzindo em 25% o peso das peças e em 30% o consumo de matéria-prima (GE Reports, 2021). Essa tecnologia também facilita o reaproveitamento de materiais reciclados na confecção de novas peças, alinhando-se à lógica da economia circular.

As perspectivas futuras também envolvem mudanças nos modelos regulatórios e institucionais. A padronização internacional de normas ambientais, a criação de selos verdes para operadores aéreos e a exigência de relatórios de impacto ambiental detalhados devem tornar-se práticas obrigatórias. O apoio governamental a startups e universidades voltadas à inovação sustentável na aviação

também é essencial. Iniciativas como o Clean Sky 2, financiado pela União Europeia, demonstram como a união de recursos públicos e privados pode acelerar essa transição.

Portanto, o futuro da sustentabilidade na aviação dependerá da combinação entre inovação tecnológica, reconfiguração dos modelos de produção e manutenção, políticas públicas eficazes e a conscientização de todos os atores envolvidos. Ao integrar essas frentes, o setor poderá avançar rumo a uma aviação neutra em carbono, mais eficiente e comprometida com as próximas gerações.

Conclusão

A sustentabilidade na aviação, especialmente no que tange à avaliação do ciclo de vida dos componentes substituídos em manutenção, desponta como um dos maiores desafios e, simultaneamente, uma das maiores oportunidades para o setor. O estudo minucioso de cada etapa do ciclo de vida – desde a fabricação até o descarte ou reaproveitamento – revela não apenas os impactos ambientais associados à operação aeronáutica, mas também abre espaço para a inovação tecnológica, a racionalização dos processos logísticos e a adoção de modelos produtivos mais sustentáveis.

A análise demonstrou que os componentes substituídos representam uma parcela significativa da pegada ambiental da aviação, exigindo novas abordagens na gestão de resíduos, reaproveitamento e recondicionamento de peças. Tecnologias como a impressão 3D, sensores inteligentes, biocombustíveis e blockchain têm potencial para transformar as práticas atuais, tornando o setor mais alinhado às metas globais de redução de emissões e eficiência energética.

Além dos avanços técnicos, destaca-se a necessidade de uma governança ambiental mais integrada, que envolva fabricantes, operadores, centros de manutenção e órgãos reguladores em torno de objetivos comuns. O fortalecimento da economia circular, a padronização de processos e o incentivo à inovação são pilares fundamentais para consolidar práticas sustentáveis em todos os elos da cadeia. Outro ponto de atenção é a qualificação dos profissionais envolvidos, que devem ser capacitados não apenas tecnicamente, mas também ambientalmente. A sustentabilidade precisa ser compreendida como uma competência essencial no setor aeronáutico, perpassando decisões estratégicas, operacionais e técnicas. Assim, será possível criar uma cultura organizacional comprometida com a preservação ambiental e a excelência operacional.

A transição para uma aviação mais sustentável não é um processo simples nem imediato, mas sim uma construção contínua, que exige investimentos, pesquisa e cooperação entre diferentes setores da sociedade. Ao reconhecer os impactos dos componentes substituídos e propor caminhos inovadores e sustentáveis para sua gestão, este artigo contribui com o debate científico e prático sobre os rumos da aviação no século XXI.

Portanto, é possível afirmar que a sustentabilidade na aviação depende da sinergia entre tecnologia, logística, regulação e cultura organizacional. Com base em um modelo de avaliação

do ciclo de vida, o setor poderá tomar decisões mais informadas e eficazes, promovendo uma aviação que respeita o meio ambiente, a segurança operacional e as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. Used Serviceable Material: A solution for sustainable aircraft operations. Toulouse: Airbus, 2022.

GE REPORTS. How 3D printing is transforming aviation. General Electric, 2021.

Disponível em: <https://www.ge.com/reports/>. Acesso em: 20 nov. 2023. IATA – International Air Transport Association. Sustainable Aviation Fuel: Technical Background. Genebra: IATA, 2021.

ICAO – International Civil Aviation Organization. Environmental Report 2022.

Montreal: ICAO, 2022. LEE, D.; BROWN, M.; CARTER, J. Blockchain applications in aircraft parts tracking.

Journal of Air Transport Management, v. 95, p. 102093, 2021. OLIVEIRA, F. S.; RIBEIRO, L. G. Sustentabilidade na manutenção aeronáutica: um estudo sobre práticas e desafios no Brasil. Revista de Engenharia e Meio Ambiente, v. 30, n. 2, p. 145–162, 2023.

OLIVER WYMAN. Global Fleet & MRO Market Forecast 2022–2032. Nova Iorque: Oliver Wyman, 2022.

SOUZA, A. B.; ANDRADE, R. M. Logística reversa na aviação civil: oportunidades e Barreiras. Revista Gestão & Sustentabilidade, v. 10, n. 1, p. 101–119, 2020.