

Estudo do Comportamento de Materiais Compósitos na Fuselagem de Aeronaves: Análise de Resistência à Tração, Compressão e Impacto

Davi Marques Dorateu
davi.dorateu@aluno.ifsp.edu.br

Felipe Rodrigues Cardoso
cardoso.felipe@aluno.ifsp.edu.br



Introdução

- Com avanço da indústria aeronáutica, a busca por materiais que proporcionassem um bom desempenho estrutural, alta resistência mecânica e leveza tem sido muito requisitado. Mediante tais exigências, os materiais compósitos se mostraram uma excelente opção de uso, principalmente na aplicação em fuselagens de aeronaves;
- Devido sua organização interna, com fibras de altas resistência e matrizes poliméricas, resultam em propriedades superiores em comparação com materiais tradicionais da área, como o alumínio, permitindo um equilíbrio entre robustez estrutural e leveza, fatores importantes para a aviação moderna;
- A alta resistência mecânica, torna a aplicação do material ideal para suportar severas condições operacionais, envolvendo pressão, temperatura e carregamento dinâmico.

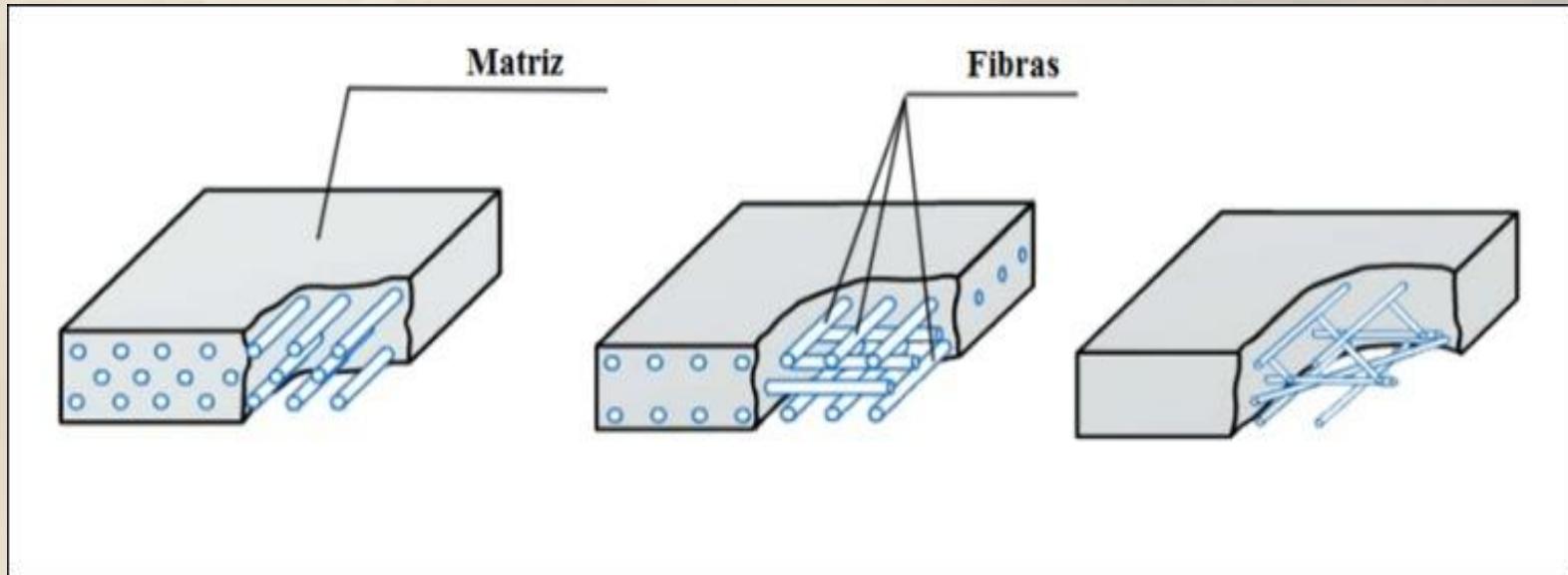


Introdução

- Apesar dos compósitos apresentarem diversas vantagens, a previsão e análise de seu comportamento mecânico em determinadas situações críticas, tem sido um grande desafio técnico e científico para os profissionais da indústria e academia, lidarem com esses materiais, em certos pontos;
- Portanto, o desenvolvimento de um estudo a respeito desse tema, se torna necessário pois, possibilita analisar o desempenho mecânico dos compósitos, com foco na resistência à tração, compressão e impacto em diversos cenários, e então, a partir das investigações realizadas, possibilitar os profissionais desenvolverem projetos mais seguros e eficientes, e integrar análises experimentais e computacionais, sobre suas respostas mecânicas;



Estrutura



 **Figura 1** - Estrutura de materiais compósitos com exemplos de arranjos das fibras.

-  **Matriz:** Material contínuo que envolve as fibras, podendo ser cerâmica, polimérica e metálica;
-  **Fibras:** Conhecida também como reforço, é fase descontínua da estrutura. Pode ser feita de diversos materiais como vidro, carbono e aramida, também, pode ter outros “formatos”, como lâminas partículas.



Referencial Teórico

- **Rêgo, Santos e Marinho (2020)**: Observam que o uso dos compósitos deu simultaneamente com avanços globais, principalmente em tecnológicas militares e posteriormente comerciais;
- **LEITE (2014) e LEITE (2024)**: Por conta das características estruturais próprias desses materiais, as diversas combinações entre materiais e estruturas, em diversos casos, seu uso em aplicações aeronáuticas é necessário e fundamental.
- **Santos (2017), Santos; Shimano (2021) e Alves; Guimarães; Oliveira Filho (2024)**: Análise e desenvolvimento de métodos de produção e fabricação de peças aeronáuticas.

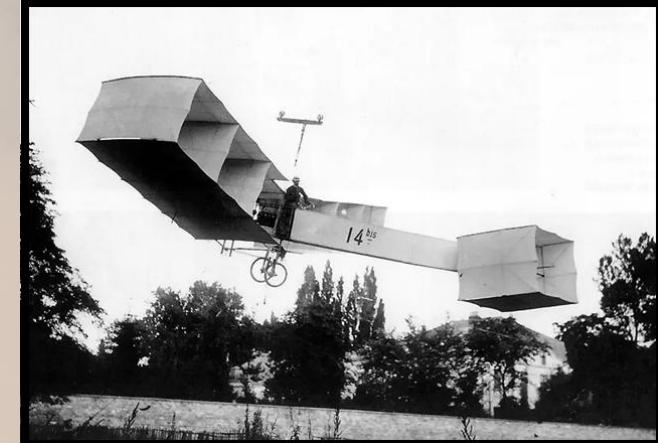


Referencial Teórico

- **MARTINS (2020) e HIPÓLITO (2023):** Análise da imprevisibilidade experimental dos compósitos em situações críticas de impacto, possivelmente solucionada por “Compósitos inteligentes”.
- **COLMANETTI (2019) e DUTRA (2017):** Enfatizam a necessidade do aprofundamento e desenvolvimentos de análises computacionais mais detalhadas, que preveem uso de estruturas dos materiais.
- **SWLING (2018):** Investigação do comportamento mecânico de compósitos em deformação, fratura e fadiga.

Evolução e Aplicação dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica

O Século XX foi marcado globalmente por diversos desenvolvimentos e inovações tecnológicas, durante este período, foi quando os compósitos teve sua grande ascensão em aplicações aeronáuticas;



Até a 1º Guerra Mundial e início da 2º Guerra Mundial, com a existência de motores potentes e a necessidade de resistência estrutural, o uso de metais e posteriormente ligas metálicas, se apresentaram como uma excelente alternativa para época. O uso destes materiais foram a base necessária para a aviação.



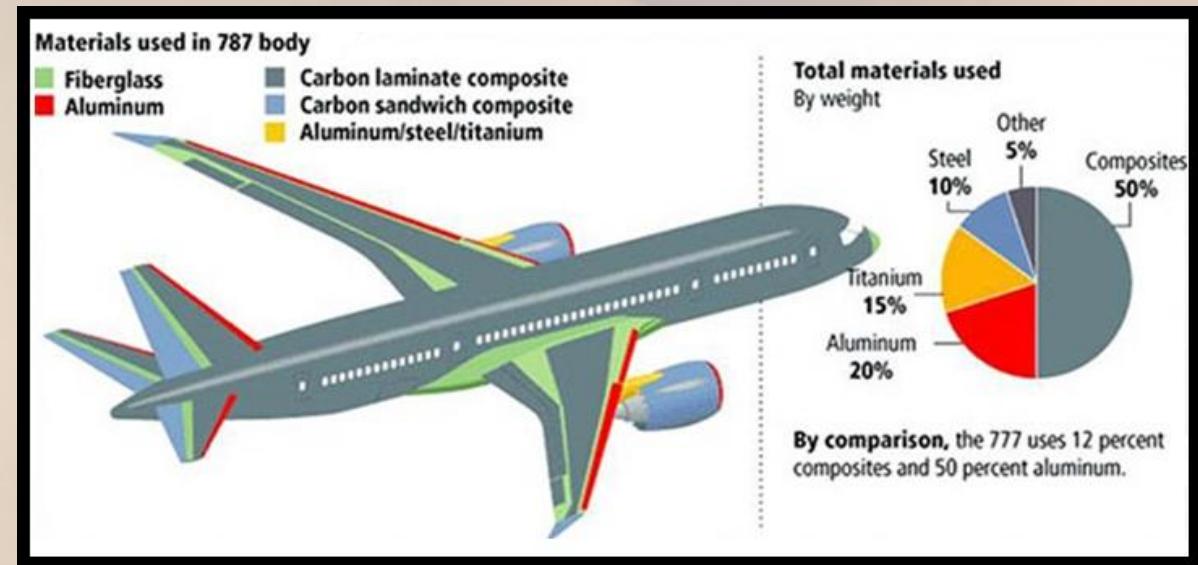


Evolução e Aplicação dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica

- ▶ Entretanto, com o desenvolvimento de novas tecnologias militares, novas demandas começaram a serem exigidas, como, combinar “leveza e resistência” nas estruturas das aeronaves, com isso, aos poucos os compósitos foram introduzidos na aviação militar;
- ▶ Além das demandas atendidas, os compósitos trouxeram outros benefícios diretos, como menor consumo de combustível, maior autonomia e redução do impacto ambiental.

Evolução e Aplicação dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica

A aplicação militar também possibilitou o crescimento da aviação comercial/civil, que demandava de questões como tamanho, carga e passageiros. Esses materiais se tornaram elementos centrais na modernização da indústria, permitindo inovações que ultrapassam o desempenho estrutural, abrangendo também aspectos de aerodinâmica e conforto.



Evolução e Aplicação dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica



Evolução e Aplicação dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica

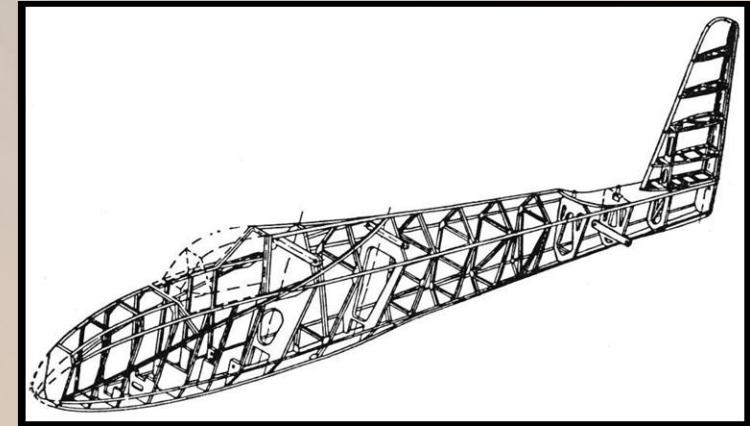
Apesar das diversas vantagens materiais, os compósitos apresentam elevados custos de produção e fabricação complexa. Para estes impasses, alguns dos estudos utilizados apresentam propostas que podem ser uma solução:

- * Uso do processo de “Out-of-Autoclave”;
- * Fabricação aditiva aplicada a componentes de fixação;
- * A aplicação de otimização topológica nos projetos tem buscado equilibrar desempenho e eficiência produtiva (mas ainda enfrenta limitações práticas em larga escala).



Evolução e Aplicação dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica

A evolução dos compósitos mostra tanto suas vantagens quanto os desafios que ainda existem para entender seu comportamento estrutural. Na fuselagem das aeronaves, isso é especialmente crítico, estudar mais profundamente como esses materiais reagem a tração, compressão e impacto. Esses esforços continuam sendo pontos sensíveis no desempenho das aeronaves e justificam a necessidade de mais pesquisas científicas e experimentais.

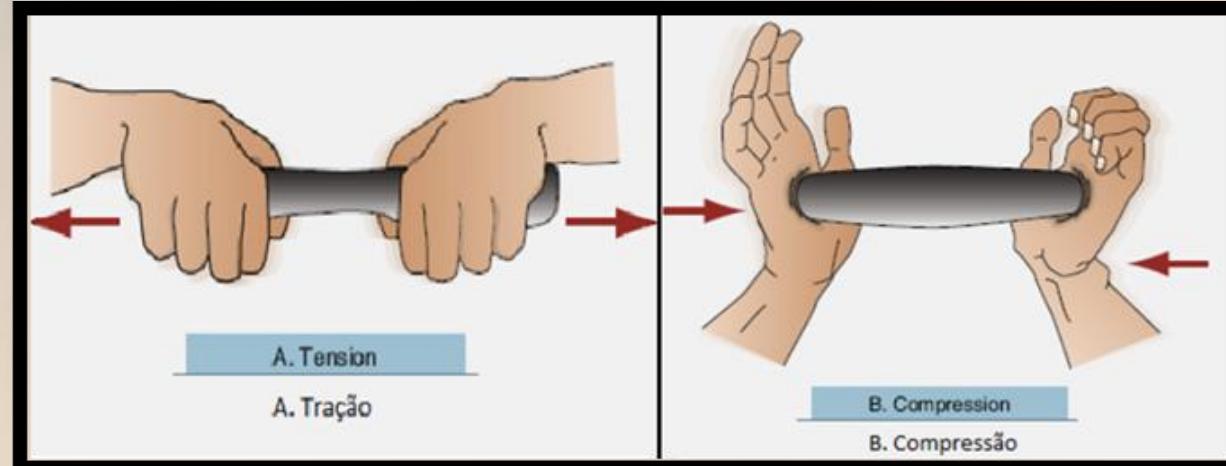


Propriedades Mecânicas: Resistência à Tração, Compressão e Impacto

Resistência à **tração** é a capacidade do material de suportar alongamento sem romper.;

Resistência à **compressão** é a habilidade de aguentar forças que o comprimem, importante em cargas axiais.

Já a resistência ao **impacto** é a capacidade de absorver energia em colisões rápidas, essencial para evitar danos graves.



Propriedades Mecânicas: Resistência à Tração, Compressão e Impacto

Ao contrário dos metais, os compósitos têm comportamento mais complexo, pois suas propriedades variam conforme a orientação das fibras, o tipo de matriz e o processo de fabricação. Isso torna essencial estudar essas propriedades, já que a fuselagem sofre tração, compressão e impactos durante o voo. Compreender essas variáveis é fundamental para prever o desempenho estrutural e garantir segurança e confiabilidade da aeronave.



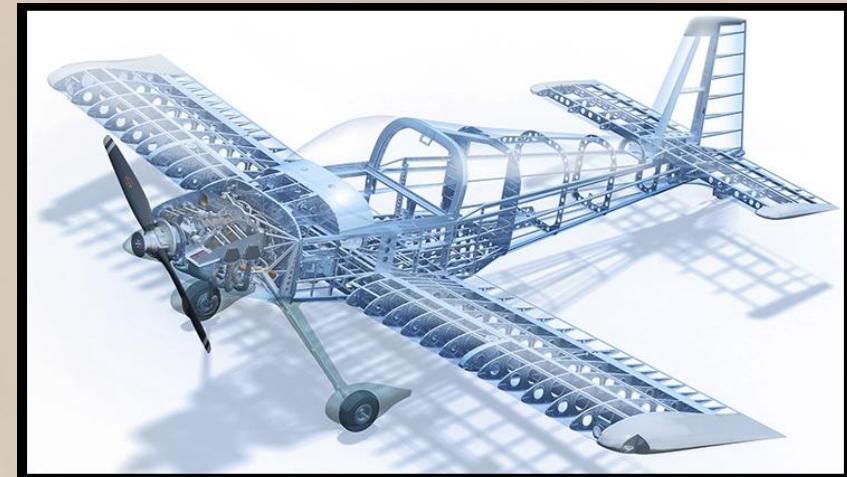
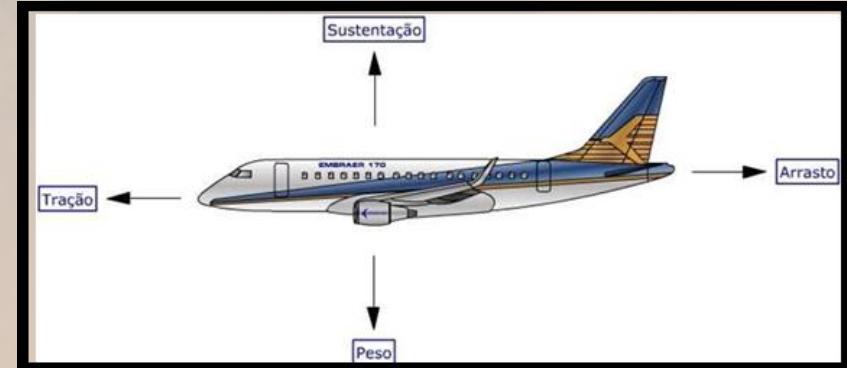
Propriedades Mecânicas: Resistência à Tração, Compressão e Impacto

O artigo destaca que é difícil representar matematicamente o comportamento dos compósitos em modelos computacionais, como os de elementos finitos, devido à sua complexa microestrutura. Esses modelos exigem ajustes constantes e validação experimental. Além disso, o texto reforça a necessidade de mais estudos sobre fixadores e junções estruturais, pois esses pontos podem ser vulneráveis quando submetidos a carregamentos elevados.



Propriedades Mecânicas: Resistência à Tração, Compressão e Impacto

As propriedades de tração, compressão e impacto devem ser analisadas em conjunto, considerando tanto a estrutura interna do material quanto as condições reais de uso. Isso é essencial porque a fuselagem enfrenta vários esforços ao mesmo tempo. Análises mais profundas ajudam a confirmar as vantagens dos compósitos e a revelar desafios que ainda precisam ser superados para seu uso pleno na aviação.





Inovações no Projeto e Fabricação de Fuselagens em Compósitos

- As inovações de fabricação e projeto trazidas pelos compósitos transformaram significativamente o modo de construir aeronaves, com o objetivo de melhorar o desempenho mecânico e diminuir os custos de produção;
- O uso de tecnologias avançadas ampliou a aplicação dos compósitos em diversas partes das aeronaves e até mesmo em fuselagens completas, mudando de forma definitiva a maneira como o setor aeroespacial projeta e constrói suas estruturas.



Inovações no Projeto e Fabricação de Fuselagens em Compósitos

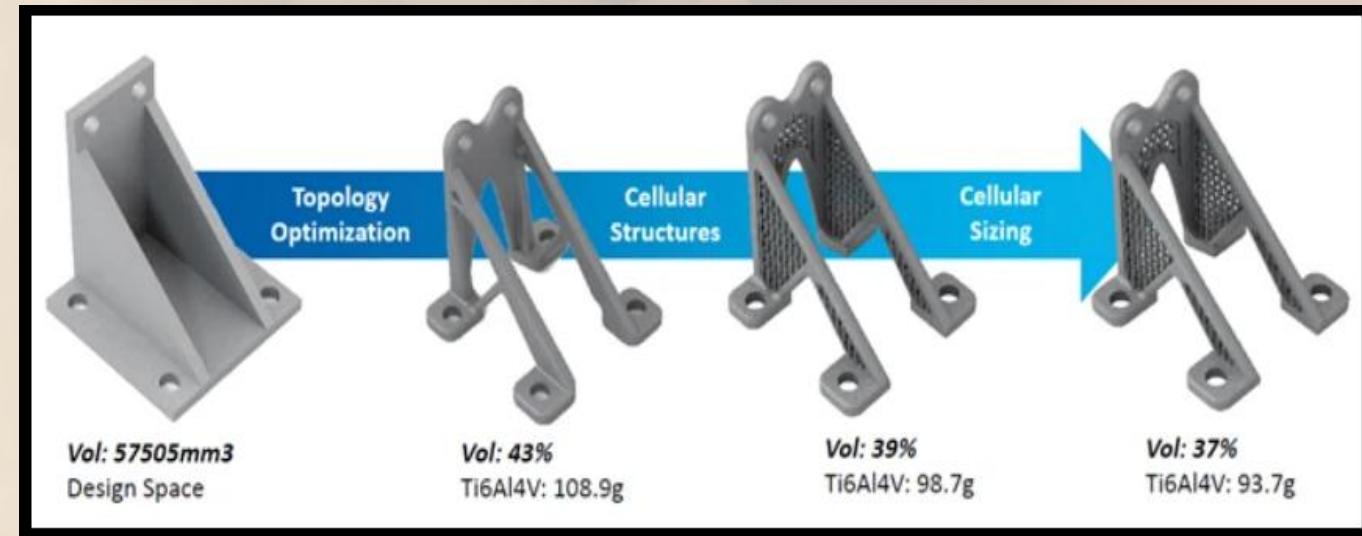
Esse avanço é importante porque ajuda a entender melhor o comportamento dos compósitos sob esforço. Tecnologias como o Out-of-Autoclave surgem para substituir a autoclave tradicional, reduzindo custos e aumentando a escalabilidade, enquanto mantêm segurança e resistência. Isso mostra que a indústria busca métodos mais acessíveis e sustentáveis para fabricar compósitos.



Inovações no Projeto e Fabricação de Fuselagens em Compósitos

Inicialmente a fabricação aditiva, através de impressoras 3D, era usada apenas em peças secundárias, mas aos poucos, começaram a serem aplicadas em componentes estruturais. Estudos mostram que fixadores produzidos por impressão 3D de filamento fundido são viáveis e podem transformar a manutenção e a produção aeronáutica;

Além disso, a otimização topológica permite reduzir massa das fuselagens sem perder resistência, reforçando o papel de softwares avançados e algoritmos no projeto moderno de aeronaves.





Inovações no Projeto e Fabricação de Fuselagens em Compósitos

Embora haja avanços significativos, ainda existem divergências sobre a maturidade das novas tecnologias em compósitos para aplicação em larga escala. Compósitos inteligentes e multifuncionais são vistos como promissores por oferecerem funções como autorreparo e maior absorção de impacto, porém a previsibilidade de seu comportamento ainda é limitada em situações críticas de impacto e deformação. Assim, as inovações avançam, mas ainda não eliminam as incertezas em condições extremas de operação.



Inovações no Projeto e Fabricação de Fuselagens em Compósitos

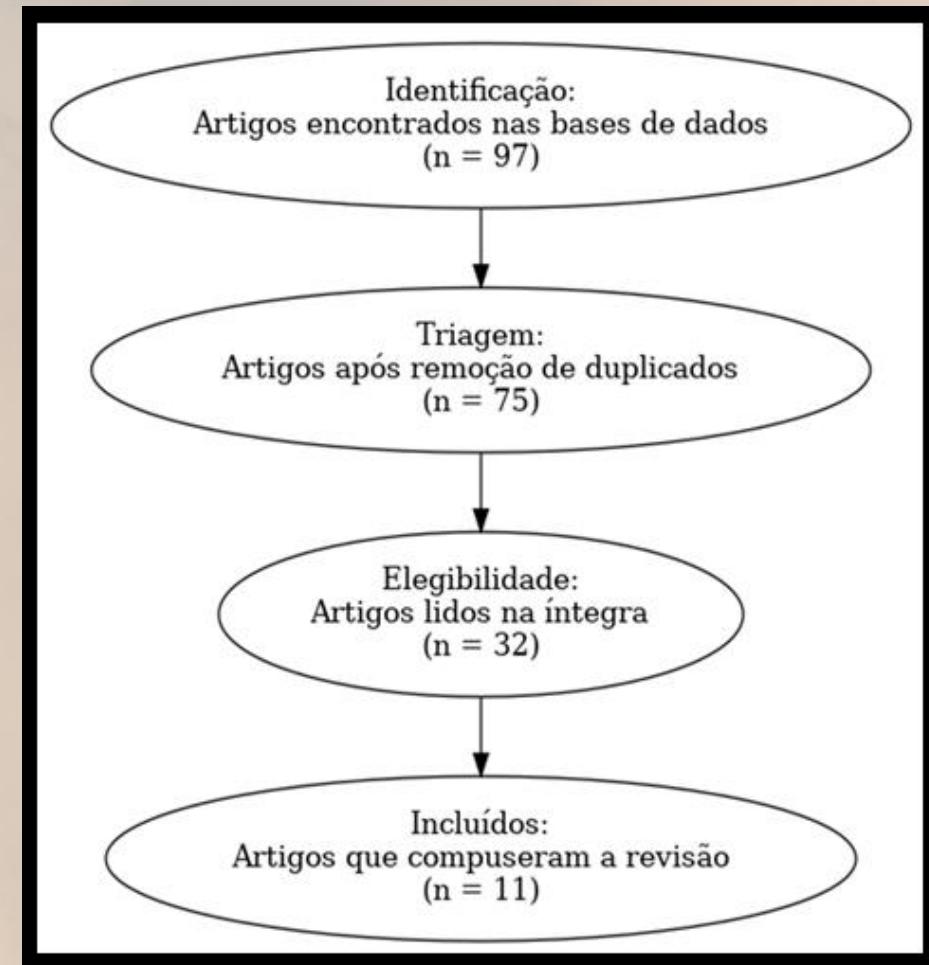
As críticas às inovações em compósitos concentram-se no alto custo e na dificuldade de padronizar processos. Mesmo com avanços em simulações por elementos finitos, ainda há limites na capacidade de modelar falhas complexas e prever o comportamento estrutural sob carregamentos dinâmicos, o que reduz a confiabilidade das novas técnicas. Esses obstáculos mostram que o progresso tecnológico precisa ser acompanhado de métodos experimentais e computacionais mais robustos. Apesar dos ganhos em desempenho e eficiência, a aplicação prática dessas inovações ainda enfrenta incertezas, especialmente porque a fuselagem deve resistir simultaneamente a tração, compressão e impacto.



Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica de caráter exploratório e qualitativo, cujo objetivo consistiu em reunir, organizar e analisar as produções acadêmicas relacionadas ao uso de materiais compósitos na fuselagem de aeronaves, com foco em suas propriedades mecânicas de resistência à tração, compressão e impacto.

Buscas: Google Acadêmico, SciELO e PubMed, bibliotecas virtuais e repositórios digitais de instituições de ensino superior.





Metodologia

Tabela 1 – Estudos selecionados para a revisão bibliográfica.

Autor(es)	Ano	Objetivo	Conclusão
ALVES; GUIMARÃES; OLIVEIRA FILHO	2024	Aplicar otimização topológica no projeto de fuselagem e chassi de veículos de alta eficiência.	A otimização reduziu massa estrutural sem comprometer a resistência, sendo viável para aplicações aeronáuticas.
COLMANETTI	2019	Analizar a integridade estrutural de chassis por elementos finitos e deformação experimental.	A modelagem computacional mostrou correlação com testes, mas ainda requer ajustes em cargas dinâmicas.
DUTRA	2017	Avaliar o comportamento elasto-plástico de chassis sob impacto dinâmico.	Demonstrou dificuldades na previsão de falhas, reforçando a importância de ensaios complementares.
HIPÓLITO	2023	Desenvolver compósito inteligente para proteção contra impacto na indústria aeronáutica.	Os compósitos inteligentes apresentaram absorção superior de energia, aumentando a segurança estrutural.
LEITE, J. P. B. M.	2024	Analizar a aplicação de compósitos na indústria aeronáutica.	Os compósitos ampliaram eficiência estrutural e reduziram custos, consolidando-se no setor.
LEITE, V. R.	2014	Revisar o estado da arte sobre compósitos em aeronaves.	Adoção considerada tendência irreversível, embora ainda existam desafios produtivos.

MARTINS	2020	Estudar o comportamento de painéis compósitos sujeitos a impacto.	Resultados mostraram dependência das condições de impacto, exigindo critérios específicos de projeto.
RÉGO; SANTOS; MARINHO	2020	Traçar um histórico do uso de compósitos na aviação.	Os compósitos migraram de aplicações militares para comerciais, tornando-se centrais no setor.
SANTOS; SHIMANO	2021	Analizar fixadores de fuselagem produzidos por impressão 3D.	Os fixadores apresentaram viabilidade inicial, mas menor resistência em comparação a métodos tradicionais.
SANTOS, R. S.	2017	Avaliar o fabrico de compósitos por processos <i>Out-of-Autoclave</i> .	O processo reduziu custos e aumentou escalabilidade, mas necessita validação em larga escala.
SWLING	2018	Investigar o comportamento mecânico de materiais em deformação, fratura e fadiga.	O estudo destacou a complexidade do comportamento dos compósitos em condições de fadiga.



Resultados e Discussão

- Resultados destacaram que a resistência à tração, compressão e impacto são as características mais críticas quando se trata da aplicação em fuselagens;
- Ensaios experimentais influenciam variáveis externas, como tipo de projétil e taxa de deformação, na resposta dos painéis compósitos sob impacto;
- Análise computacional por elementos finitos ainda apresenta limitações quando se busca prever falhas em situações de carregamentos dinâmicos. Os dados apontam, portanto, que, apesar da superioridade dos compósitos em relação aos metais convencionais, sua previsibilidade estrutural ainda não é plenamente alcançada.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas comparativas de materiais aplicados em fuselagens.

Material	Resistência à Tração (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência ao Impacto (J)
Alumínio Aeronáutico	450	380	25
Compósito de Fibra de Vidro	900	650	40
Compósito de Fibra de Carbono	1500	1200	55



Resultados e Discussão

Os resultados mostram que, apesar dos avanços, ainda há divergências sobre a capacidade das inovações substituírem completamente os métodos tradicionais. Enquanto alguns defendem que os compósitos inteligentes podem superar limitações atuais, outros apontam que a falta de previsibilidade em impactos continua sendo um grande desafio. Essas visões contrastantes evidenciam que o tema é dinâmico e exige constante evolução de métodos experimentais e computacionais.

Tabela 3 – Inovações recentes na fabricação de fuselagens em compósitos.

Inovação Tecnológica	Vantagens	Limitações
<i>Out-of-Autoclave</i>	Redução de custos; escalabilidade	Necessidade de validação em larga escala
Impressão 3D (FFF)	Customização; rapidez de produção	Resistência inferior em comparação a métodos tradicionais
Otimização Topológica	Redução de massa; melhoria do design estrutural	Complexidade de modelagem e validação experimental



Resultados e Discussão

Os resultados mostram que os capítulos se complementam: a evolução e as aplicações confirmam a importância dos compósitos, as propriedades mecânicas revelam tanto seu potencial quanto suas limitações, e as inovações tecnológicas demonstram o esforço contínuo da indústria para superar desafios. No conjunto, fica evidente que, apesar das vantagens, os compósitos ainda exigem pesquisas aprofundadas para garantir segurança estrutural em todas as condições de voo.



Conclusões

O estudo evidencia que os compósitos desempenham papel central na construção de fuselagens, combinando alta resistência, leveza e eficiência estrutural. Sua evolução tecnológica e suas aplicações mostram vantagens claras em relação aos metais tradicionais. Entretanto, ainda existem desafios importantes, como a dificuldade de prever falhas em situações críticas, a heterogeneidade do comportamento sob cargas dinâmicas e limitações nos modelos computacionais atuais. Embora os avanços indiquem grande potencial, especialmente com novas técnicas de fabricação e otimização estrutural, torna-se essencial a continuidade de pesquisas experimentais e simulações mais precisas para garantir confiabilidade, padronização e segurança em todas as condições de voo.

Obrigado Pela Atenção

