

# APLICAÇÕES DE FIBRA DE ARAMIDA EM COMPÓSITOS: UMA REVISÃO DE DISSERTAÇÕES E TESES BRASILEIRAS<sup>1</sup>

## *APPLICATIONS OF ARAMID FIBER IN COMPOSITES: A REVIEW OF BRAZILIAN DISSERTATIONS AND THESES*

Carla Vitória Lemos Pereira<sup>2</sup>, Lucas Repecka Alves<sup>3</sup> e Maira de Lourdes Rezende<sup>4</sup>

### RESUMO

Os materiais poliméricos vêm sendo objeto de pesquisas e extensos estudos devido às suas diversas propriedades e variadas possibilidades de aplicação. A fibra de aramida é um desses materiais, conhecida por suas notáveis propriedades mecânicas e resistência ao impacto, é um material sintético de alto desempenho, composto por polímeros aromáticos heterocíclicos, com variadas aplicações em diversos segmentos industriais. Com o objetivo de aperfeiçoar essas características, pode-se incorporar matrizes para criar compósitos leves e resistentes, além de melhorar sua interação e aprimorar suas propriedades mecânicas. Assim, dentro deste contexto, esse artigo tem como propósito verificar quais são as principais propriedades e aplicações quando se utiliza fibra de aramida com outros materiais. Para tanto, realizou-se uma revisão bibliográfica através da plataforma Biblioteca Digital de Teses e Dissertações no período compreendido entre março e agosto de 2023, com o uso do buscador booleano. Foram identificados 56 trabalhos com o emprego das palavras-chave Fibra de aramida, Fibra de aramidas, Kevlar, Colete balístico e Coletes balísticos. Os resultados obtidos demonstraram que as fibras de aramida com devido tratamento de superfície são facilmente aplicáveis em compósitos evidenciando uma maior prevalência como a melhora das propriedades mecânicas.

**Palavras-chave:** polímeros; compósitos; Fibra de Aramida; Kevlar.

### ABSTRACT

*Polymeric materials have been the subject of research and extensive studies due to their diverse properties and varied application possibilities. Aramid fiber is one of these materials, known for its remarkable mechanical properties and impact resistance, it is a high-performance synthetic material, composed of heterocyclic aromatic polymers, with varied applications in different industrial segments. In order to improve these characteristics, matrices can be incorporated to create lightweight and resistant composites, in addition to improving their interaction and improving their mechanical properties. Therefore, within this context, this article aims to verify the main properties and applications when using aramid fiber with other materials. To this end, a bibliographic review was carried out through the Digital Library of Theses and Dissertations platform in the period between March and August 2023, using the Boolean search engine. 56 works were identified using the keywords Aramid fiber, Aramid fiber, Kevlar, Ballistic vest and Ballistic vests. The results obtained demonstrated that aramid fibers with appropriate surface treatment are easily applicable in composites, showing a greater prevalence and improved mechanical properties.*

**Keywords:** *polymers; composites; Aramid fiber; Kevlar.*

1 Trabalho de revisão bibliográfica.

2 Técnica em Polímeros pela Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales. E-mail: carla13pereira@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1394-3428>

3 Doutorando em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. E-mail: lucasrepecka@estudante.ufscar.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5458-2403>

4 Doutora em Nanociência e Materiais Avançados pela Universidade Federal do ABC. Docente da Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales. E-mail: maira.rezende@fatec.sp.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0677-0068>

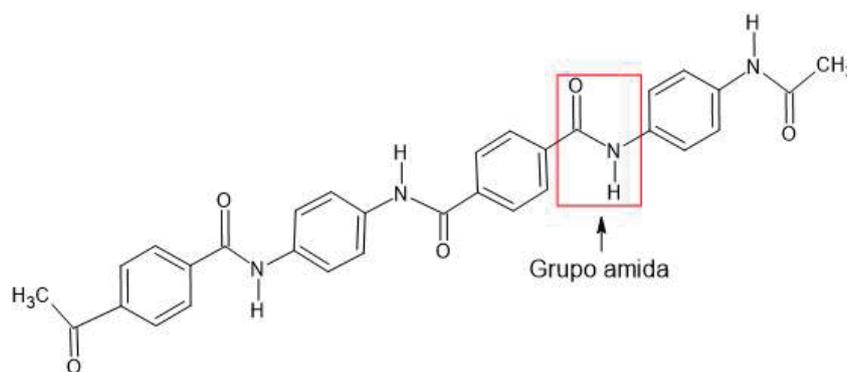
## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas ocorreu um avanço acelerado na evolução de materiais compostos poliméricos fortalecidos por fibras de aramida, acompanhado por um expressivo aumento na utilização desses materiais em várias indústrias, incluindo aeroespacial, automotiva e construção civil (MORAES, 2017).

As fibras de aramida, também chamadas comercialmente de Kevlar, foram descobertas em 1965 em Delaware-USA e se destacam por serem cinco vezes mais resistentes que o aço, as quais revolucionaram a área militar pelos altos valores específicos de resistência à tração e ao módulo de elasticidade. Devido a essas características, estas fibras são utilizadas em produtos especiais com alto valor agregado e grande diferenciação no mercado, apesar de serem bastante conhecidas na indústria de segurança, onde são empregadas na fabricação de coletes a prova de balas, blindagens automobilísticas e luvas de proteção contra cortes. Também possuem aplicações em outras áreas, como na indústria petrolífera, indústria de mineração e até na indústria de pneus. São comercializadas principalmente na forma de roving (feixes de filamentos contínuos), mantas, tecidos e fibras curtas. Os tecidos se cruzam em posições geralmente perpendiculares entre si, alternando entre camadas superiores e inferiores, seguindo um padrão específico (SILVA, 2022).

A aramida é um polímero sintético, pertencente à família das poliamidas aromáticas denominadas poli(p-fenileno tereftalamida), onde por volta de 85% das ligações do tipo amida (-CO-NH-) estão unidas a dois anéis aromáticos, como pode ser observado na Figura 1.

**Figura 1** - Estrutura molecular da para-amida.



Fonte: Construção do autor.

A configuração destas ligações pode ser tanto na posição para ou meta, as quais são utilizadas para classificar o tipo de polímero. (BUFFON JUNIOR, 2018; ERTEKIN, 2017). Apesar de possuir diversas vantagens, o uso da fibra de aramida como reforço de materiais compósitos é limitado pelo fato de possuir fraca interação fibra-matriz, que se deve à sua superfície lisa e estrutura quimicamente inerte, além da alta cristalinidade (SANTOS, 2017; ZHANG *et al.*, 2021). Para modificar o processo

de baixa adesão fibra-matriz, faz-se necessário realizar um tratamento de superfície a fim de se aprimorar a ligação química entre a fibra e matriz, seguido de uma aplicação em compósitos, que é a combinação de dois materiais com propriedades distintas das encontradas em seus componentes individuais, resultando em um novo material (ALVES *et al.*, 2024; CUNHA, 2018; ZHANG *et al.*, 2021).

Logo, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica na biblioteca digital de teses e dissertações, sobre a aplicação da fibra de aramida em compósitos. Além de verificar sua relevância no meio acadêmico atual, espera-se discutir a tendência de suas propriedades e principais aplicações.

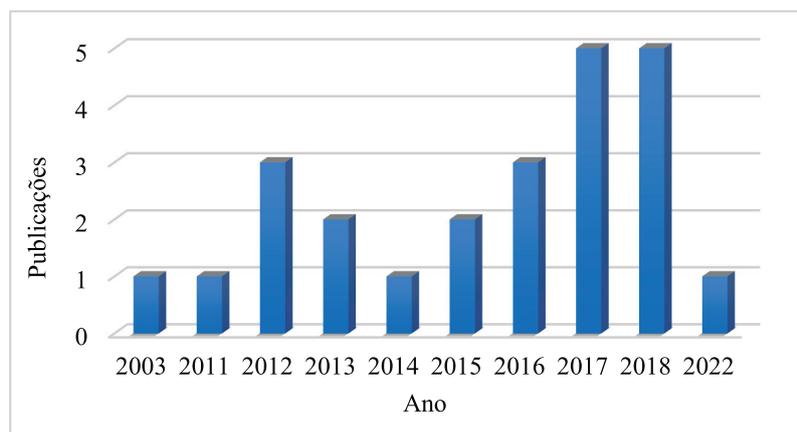
## COLETA DE DADOS

Para a presente pesquisa, foi realizada uma coleta de dados na plataforma da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Para tal, adaptou-se uma metodologia apresentada por Alves *et al.* (2021), em que foi aplicado um operador booleano no campo de pesquisa avançada com a utilização dos termos do objeto de estudo. Com isso, foi utilizado o seguinte buscador booleano em todos os campos “Fibra de aramida” OR “Fibra de aramidas” OR Kevlar OR “Colete balístico” OR “Coletes balísticos”. Após isso, foram analisadas todas as 56 dissertações e teses que o código retornou durante o mês de março de 2023, sem nenhuma delimitação de data, com possibilidade de retorno de qualquer ano.

## OCORRÊNCIA DAS PESQUISAS PUBLICADAS

A Figura 2 apresenta os resultados da coleta de dados realizada durante o mês de março de 2023 na plataforma da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD) por meio de operador booleano, que retornou 56 teses e dissertações.

**Figura 2** - Publicações encontradas exclusivamente sobre aplicações de fibra de aramida em compósitos.



Fonte: Construção do autor.

Após as análises de cada tese e dissertação, foram selecionados 24 trabalhos que focaram em um aumento da interação da fibra-matriz. Observou-se um aumento no desenvolvimento de pesquisas nos anos de 2017 e 2018. Nesse período, foram pesquisados compósitos de fibra de aramida para desenvolvimento nas áreas de proteção balística, mecha híbrida e tecido híbrido. Durante todo o período, nota-se uma média de 2,4 trabalhos desenvolvidos por ano.

## LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Conforme é possível observar, a Tabela 1 apresenta os estudos da fibra de aramida com aplicação em compósitos, bem como a comparação dos materiais e métodos selecionados no desenvolvimento de cada estudo.

**Tabela 1** - Trabalhos que aplicaram fibra de aramida em compósitos e suas respectivas características e aplicações.

Autor	Matriz	Reforço	Estrutura orgânica	Propriedade	Aplicação
Bernardi (2003)	Cimentícia	Aço, sisal, vidro, polipropileno e aramida.	-	Resistência mecânica	Concreto
Oliveira (2016)	Resina epóxi	Nanossílica, nanocerâmica e nanocristais de carbonato de cálcio	-	Resistência mecânica	Proteção balística
Trombetta (2012)	Elastomérica	-	-	-	Bomba de cavidade progressiva
Santos (2017)	-	-	Amina	Molhabilidade resistência mecânica	-
Oliveira (2015)	Elastomérica	Fibra de aramida	Acrlonitrila	Resistência mecânica e química	Mangotes
Pagnoncelli (2017)	Resina éster vinílica	Fibra de aramida	Éster vinílico	Resistência mecânica	Proteção balística
Wirti (2017)	Resina éster vinílica	-	Éster vinílico	Resistência mecânica	Proteção balística
Nunes (2018)	Resina epóxi	-	Epóxi	Resistência mecânica	-
Moraes (2017)	Resina epóxi	Fibra de aramida	Epóxi	Molhabilidade resistência mecânica	-
Loureiro (2016)	Poliamida	Fibra de aramida e Poliamida 6.6	Poliamida	Resistência mecânica	Reciclagem
Lima (2012)	Poliéster	Fibra de vidro	Poliéster	Resistência mecânica	Têxteis técnicos
Silva (2022)	Resina epóxi	Fibra de aramida e vidro	Epóxi	Resistência mecânica	Laminado híbrido
Valença (2014)	Resina epóxi	Fibra de vidro	Epóxi	Resistência mecânica	Têxteis
Buffon Junior (2018)	-	-	Poliuretano, PVC, Nylon	Resistência mecânica	Proteção balística
Cunha (2018)	Éster vinílica	Mecha híbrida e fibra de vidro	Éster vinílico	Resistência mecânica	Mecha híbrida
Azevedo (2017)	Resina ortoftálica	Fibra de aramida e fibra de vidro	Resina ortoftálica	Resistência mecânica	-

Felipe (2012)	Resina poliéster	Tecido híbrido e fibra de vidro	-	Resistência mecânica	Laminado híbrido
Cunha (2015)	Polimérica teraftálica	Laminado híbrido e fibra de vidro	Matriz polimérica teraftálica	Resistência mecânica	Laminado híbrido
Medeiros (2016)	Resina epóxi éster vinílica	Fibra de vidro	Epóxi éster vinílica	Resistência mecânica	Laminado compósito
Nossa (2011)	Resina epóxi	Fibra de carbono e vidro	Epóxi	Resistência mecânica	-
Cougo (2018)	Resina epóxi	Fibra de aramida e nanocargas de carbono	Epóxi	Resistência mecânica	Compósito com várias escalas
Targino (2018)	Resina poliéster ortoftálico	Tecido híbrido e fibra de vidro	Resina poliéster ortoftálico	Resistência mecânica	Tecidos híbridos
Batista (2013)	-	Mecha híbrida, fibra de vidro e carbono	Epóxi éster vinílica	Resistência mecânica	Tecidos híbridos
Oliveira (2013)	Resina epóxi éster vinílica	Tecido híbrido, fibra de vidro e carbono	Epóxi éster vinílica	Resistência mecânica	Tecidos híbridos

Fonte: Construção do autor.

Bernardi (2003) examinou materiais compósitos usando fibra de aramida como reforço em matrizes cimentícias. Para tanto, realizou testes de resistência mecânica com adição da fibra de aramida e impacto sem adição de fibra, comparando corpos de prova com diferentes quantidades de (aço, sisal, vidro, polipropileno e aramida). A adesão da fibra à matriz foi verificada por microscopia eletrônica (MEV). O estudo constatou que a fibra de aramida melhorou a resistência à compressão e reduziu a massa específica dos compósitos. Os compostos com adição de aço e fibra de aramida mostraram melhor desempenho no teste de impacto. Concluiu-se que o kevlar apresenta grande potencial estrutural para diversas aplicações em matrizes cimentícias.

Oliveira (2016) explorou novas aplicações para fibra de aramida provenientes de coletes balísticos vencidos, propondo um laminado híbrido, com fibras de aramida envelhecidas associadas à matriz epoxídica utilizando como nanoreforço (nanocerâmica, nanocristais de carbonato de cálcio e nanossílica) dispersos em etilenoglicol, formando um fluido não newtoniano (STF) que foi incorporado às fibras de aramida por ultrassom e aerógrafo. Análises em nanoescala foram realizadas utilizando MEV para examinar as nanoestruturas e testes balísticos em macroescala seguiram o padrão norte-americano NIJ-0101.4. Os resultados demonstram uma melhoria de 41% no desempenho balístico e um aumento de 25% na resistência à penetração nas fibras com STF, confirmando seu potencial para proteção veicular e escudos balísticos.

Trombetta (2012) e Oliveira (2015) estudaram a incorporação de fibras de aramida em borracha nitrílica (NBR) e borracha nitrílica hidrogenada (HNBR). Trombetta focou na interação eficaz entre fibra e matriz, explorando através de análises morfológicas por MEV e dinâmico-mecânico (DMA), aplicações em bombas de cavidade progressiva para levantamento de petróleo. Oliveira focou no aperfeiçoamento da resistência mecânica e química, através do desenvolvimento de compósitos

preparados em misturador fechado, observando-se o alinhamento das fibras na direção do processamento, resultando em uma boa opção para aplicação em mangotes. Ambos indicaram o potencial das fibras de aramida em melhorar as propriedades dos elastômeros.

Santos (2017) conduziu o tratamento da fibra de aramida com plasma e argônio a vácuo  $8 \times 10^{-1}$  bar com potência de 50 e 100 W, com durações de 1, 3 e 5 minutos. Aplicou ensaios de tração, tensiometria e MEV. E os resultados indicaram que o tratamento com 100 W melhorou a molhabilidade da fibra e, após 3 minutos de tratamento houve um aumento de 47% de sua resistência. No entanto, após 5 minutos, o nível de resistência começou a reduzir. Além disso, o tratamento resultou também na formação de incrustações e aumentou rugosidade na superfície da fibra, possibilitando uma melhoria no intertravamento mecânico entre fibra e matriz.

Pagnoncelli (2017) desenvolveu um trabalho com o objetivo de produzir compósitos de alto desempenho a partir da resina éster vinílica reforçada por 4, 5 e 6 camadas de fibra de aramida. Os compósitos foram submetidos a ensaios de resistência à flexão, tração, impacto, cisalhamento, densidade, análise térmica dinâmico-mecânica (DMTA), ensaio de compressão a elevadas taxas de deformação utilizando a barra hopkinson bi-partida e impacto balístico. Os resultados demonstraram que o aumento do teor de fibras de aramida, resulta em um aumento das propriedades mecânicas, com destaque para o compósito com 6 camadas de kevlar, o qual atingiu o nível I de proteção balística, possibilitando a fabricação deste compósito para aplicação em blindagens multicomponentes.

Wirti (2017) conduziu um estudo de tratamento superficial da fibra de aramida com ligação C-F para melhorar a interação entre fibra e matriz e redução do teor de vazios nos compósitos. Preparou compósitos de aramida e resina éster-vinílica por moldagem de compressão para realização do tratamento. Obteve compósitos com maior adesão fibra-matriz, causando um aumento na rigidez, dissipação de energia, temperatura de transição vítrea, além de menor teor de vazios e movimentação nos segmentos de cadeia. No entanto, concluiu-se que compósitos com fibras tratadas são mais frágeis em testes de impacto balístico em comparação aos compósitos com fibras não tratadas.

Nunes (2018) realizou um estudo sobre o efeito da espessura na fabricação de compósitos através do processo de infusão a vácuo de fibras de aramida com matriz de epóxi. Assim, produziu diferentes compósitos com espessuras de 5 a 28 camadas, os quais foram caracterizados por diversos ensaios mecânicos e impacto de alta e baixa velocidade. Os resultados apontaram para uma distribuição homogênea da matriz ao longo do reforço, com teor da fibra em torno de 60% e alta resistência em ensaios de flexão. Conclui-se que a infusão a vácuo é uma alternativa econômica e viável para a fabricação de compósitos espessos de aramida/epóxi.

Moraes (2017) realizou um estudo utilizando líquidos iônicos (LI) como alternativa para aprimorar a adesão fibra-matriz. Diversos líquidos iônicos foram testados e analisados através da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), termogravimetria (TGA) e MEV. Foram fabricados dois laminados, um com tecido tratado e o outro sem tratamento. Os resultados

mostraram maior molhabilidade, melhor resistência mecânica, cisalhamento e interação fibra-matriz no compósito tratado.

Loureiro (2016) estudou a reutilização de fibras de aramida como reforço para a poliamida 6,6. Foi observado que a fibra de aramida apresenta baixa interação com matrizes poliméricas, por isso realizou um procedimento de lavagem com metanol e hexano para remover os revestimentos e um tratamento químico com hidróxido de sódio (NaOH) para aumentar a adesão entre fibra-matriz. No entanto, os resultados indicaram que o tratamento químico não melhorou as propriedades mecânicas, porém a adição de 10% de fibra de aramida em poliamida 6,6 indicou potencial para a reutilização dessas fibras.

Lima (2012) desenvolveu estruturas têxteis com fibras de aramida e vidro, com o foco de aprimorar as propriedades dos materiais compósitos. Foram criadas estruturas com 100% de fibra de aramida, 100% de vidro, além das híbridas contendo (65% aramida e 35% vidro) para servirem como reforços em compósitos de poliéster. A resistência foi analisada através de testes de tração e MEV, que resultou em reforços eficientes nas estruturas desenvolvidas, apresentando resistência superior à matriz de poliéster, atingindo resistência semelhante à de aço 1020 com valores aproximados de 340 MPa.

Silva (2022) estudou a hibridização entre laminados de fibras de vidro e aramida com o objetivo de aprimorar as propriedades dos compósitos. Foram realizadas análises com diversos laminados de fibra de aramida, fibra de vidro e epóxi em várias camadas, seguidos de testes de permeabilidade, impacto balístico e mecânico com diferentes carregamentos. Os resultados mostraram que a hibridização é uma alternativa eficiente nas aplicações de laminados, pois apresentou aumento da resistência e rigidez, boa absorção de energia e a adição de tecidos de vidro ocasionou um efeito sinérgico que melhorou as propriedades mecânicas.

Valença (2014) estudou o desenvolvimento do tecido de reforço com fibras de kevlar-49 e vidro-S com matriz epóxidica, com objetivo de analisar o desempenho mecânico dos compósitos após envelhecimento natural ao ar livre e na água do mar a 70°C. Foram produzidas três configurações: aramida pura, híbrida de Kevlar e vidro, e outra com variações no entrelaçamento das fibras para a realização de ensaios de tração, flexão e impacto. As composições híbridas demonstraram melhores resultados de resistência mecânica e energia de impacto, mostrando que são mais eficientes para aplicações de engenharia estrutural.

Buffon Junior (2018) abordou a análise da durabilidade de coletes de proteção balística feitas de kevlar® XP S103. Para melhorar a proteção contra o envelhecimento, foi adicionada uma camada de poliuretano (PU) e assim foram expostas à realização de testes balísticos, além das caracterizações por FTIR e MEV, seguindo o padrão NIJ 0101.04. Os resultados mostraram que coletes balísticos revestidos por PU apresentaram um maior desempenho em termos de estabilidade, ultrapassando o nylon/PVC. Conclui-se que quanto mais camadas de tecido, melhores resultados no desempenho balístico.

Cunha (2018) analisou a resistência residual à flexão em três pontos, em uma composição laminada de matriz éster vinílica e tecido de mecha híbrida composto por duas ou mais fibras distintas, os quais foram submetidos a impactos de baixa velocidade (*Drop Test*). Os testes de impacto foram realizados com duas energias diferentes (61 J e 76 J), até a perfuração do material. Os resultados demonstraram que a utilização de mecha híbrida influenciou na redução de danos e aumentou a resistência ao impacto.

Azevedo (2017) conduziu um estudo da resistência residual à flexão em três pontos e compressão após impacto de baixa velocidade. Foram produzidos dois laminados: um de fibra de aramida e o outro de fibra de vidro. Nos testes utilizou-se aproximadamente 96 J de energia nos laminados e os resultados demonstraram que o laminado de vidro manteve sua resistência após o impacto, mas o laminado de Kevlar apresentou uma redução em suas propriedades mecânicas de flexão e compressão devido à delaminação nas interfaces.

Felipe (2012) focou nos efeitos do envelhecimento ambiental e da forma de hibridização dos tecidos de reforço na degradação estrutural e no comportamento mecânico. Dois laminados foram produzidos com resina de poliéster: um com tecido de mecha híbrida com Kevlar 49/vidro-E e o outro com tecido bidirecional de Kevlar 49/Vidro-E. Ambos laminados passaram por radiação UV e umidade para acelerar o envelhecimento antes dos ensaios de tração e flexão. Os resultados mostraram que o modo de hibridização e envelhecimento afeta diretamente as propriedades mecânicas e a degradação dos materiais.

Cunha (2015) estudou as propriedades mecânicas de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de kevlar e fibra de vidro, ao mesmo tempo em que se examinava os efeitos da hibridização. Três laminados com matriz tereftálica foram criados: um híbrido, com fibras de kevlar nas bordas e fibra de vidro no centro, outro com apenas fibra de vidro tipo E. Corpos de prova foram construídos manualmente, cada um com cinco camadas de reforço, submetidos a testes de flexão e tração, bem como imersões em petróleo e água do mar. Os resultados apontaram uma melhoria notável nas propriedades mecânicas dos materiais híbridos, indicando que a combinação de fibras melhorou o desempenho dos materiais sob várias condições industriais.

Medeiros (2016) focou no desenvolvimento de um compósito LC reforçado com fibras de carbono e kevlar com uma resina epóxi éster vinílica, para verificar suas propriedades mecânicas, como resistência e módulo de elasticidade, levando em consideração a anisotropia do material e a presença de uma chama circular. O estudo do comportamento mecânico do LC foi através de abordagens experimentais, analíticas e numéricas, logo realizou exercícios de rotação uniaxial, caracterização física e análise mecânica de fraturas usando o MEV. Os resultados obtidos foram coerentes com os dados experimentais, indicando boas características mecânicas do laminado LC.

Nossa (2011) conduziu um estudo com foco em examinar as interações entre materiais compósitos na tentativa de melhorar as características mecânicas da matriz epóxi reforçada pelas fibras

sintéticas. Analisou as superfícies das fibras para calcular a energia superficial e a adesão fibra matriz usando a Microscopia de Força Atômica (AFM) e o Método do Ângulo de Contato, realizou também o teste de fragmentação de fibra única para obter a resistência da interface. Os resultados permitiram a identificação da melhor interface fibra matriz, que foi então classificada de acordo com a quantidade de estresse transferido, alcançando maior eficácia na adsorção. Essas descobertas têm o potencial de melhorar os materiais compostos e suas aplicações industriais em várias áreas.

Cougo (2018) atendeu à necessidade de estudar materiais com propriedades mecânicas aprimoradas, com leveza e multifuncionais nas áreas militares, aeronáuticas e telecomunicações. Produziu laminados compósitos multiescala utilizando resina epóxi, fibra de aramida e nanocargas de carbono, e em seguida, realizou ensaios de impacto de alta e baixa velocidade e avaliou as propriedades eletromagnéticas. Os resultados demonstraram que a adição de 2% de nanopartículas de carbono no tecido possibilitou mais de 90% de absorção de radiação em uma estreita faixa de frequência e 1% distribuído na forma crescente entre as camadas, resultou em uma melhor absorção e impacto. Conclui-se que a distribuição gradiente é mais eficaz para alcançar os resultados desejados.

Targino (2018) apresentou as dificuldades do comportamento mecânico de laminados compósitos, considerando a anisotropia e descontinuidades geométricas. O objetivo principal foi determinar as propriedades mecânicas e características de fratura de um laminado reforçado com tecidos híbridos de fibras de vidro-E e Kevlar-49, utilizando a resina de poliéster ortoftálica como matriz. Realizou ensaios de tração uniaxial em duas configurações, um corpo de prova orientada ( $0^{\circ}/90^{\circ}$ ) e o outro corpo de prova orientada ( $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ ). Os resultados demonstraram que os corpos de provas  $0^{\circ}/90^{\circ}$  apresentaram maior resistência e rigidez em relação aos corpos de prova  $\pm 45^{\circ}$ , e na presença de descontinuidades geométricas, as fibras orientadas à  $0^{\circ}/90^{\circ}$  apresentaram perda na capacidade de suporte de carga, e as fibras orientadas a  $\pm 45^{\circ}$  não apresentaram perdas.

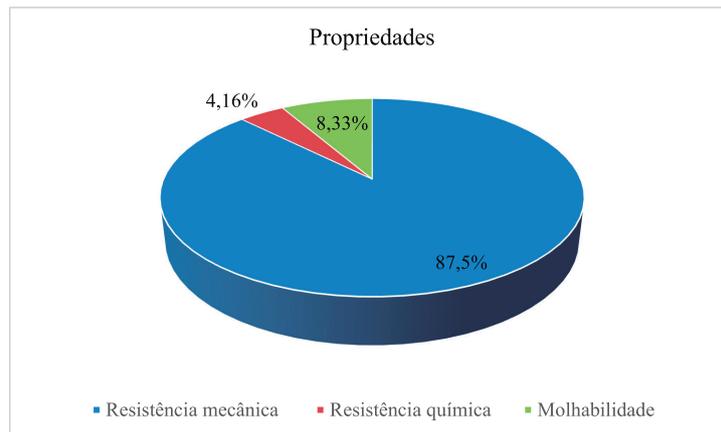
Batista (2013) abordou o estudo da crescente utilização de plásticos reforçados por fibras sintéticas e suas condições ambientais. O foco foi o envelhecimento acelerado, utilizando o vapor aquecido e radiação ultravioleta em dois laminados compósitos poliméricos, reforçados com tecidos híbridos. Um laminado com fibras de vidro-E e fibras de kevlar 49 (LHVK) e o outro com fibras vidro-E e fibras de carbono AS4 (LHVC), ambos adicionados à resina epóxi vinil-éster. Os ensaios de tração uniaxial e flexão em três pontos foram realizados antes e após o envelhecimento, e a análise comparativa mostrou uma superioridade na resistência à flexão em três pontos em relação à tração uniaxial.

Oliveira (2013) investigou os compósitos poliméricos híbridos com tecidos de alto desempenho para elementos estruturais leves. Desenvolveu laminados compósitos com quatro camadas de reforço, combinando fibra de carbono AS4, Kevlar 49 e vidro-E, com matriz de resina epóxi éster vinílica. O estudo analisou os efeitos da anisotropia e geometria normativa na caracterização mecânica e fratura dos compósitos, seguindo as análises por macroscopia, microscopia ótica e MEV. Verificou-se que tecidos híbridos com vidro/carbono apresentaram menor intensidade em todos os ensaios realizados.

## OCORRÊNCIA DAS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

As Figuras 3 e 4 demonstram os resultados do levantamento da coleta de dados sobre os estudos da fibra de aramida com aplicação em compósitos, bem como suas propriedades e aplicações encontradas em cada estudo.

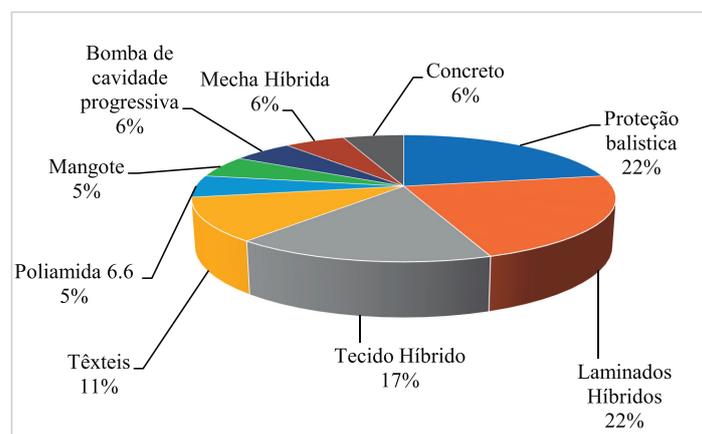
**Figura 3** - Propriedades mecânicas encontradas nos trabalhos.



Fonte: Construção do autor.

Como ilustrado na Figura 3, as propriedades que apresentaram domínio dentro a coleta de dados são as propriedades mecânicas, sendo uma das propriedades mais desejadas ao realizar aplicação de fibra de aramida em compósitos, uma vez que a fibra de aramida apresenta leveza e alta resistência ao impacto, entretanto a mesma possui uma superfície lisa e regular que dificulta a sua interação com uma matriz polimérica, necessitando de algum tratamento superficial para a formação de uma adesão fibra-matriz. Dessa forma os processos de aprimorar as propriedades mecânicas são de grande importância, observando que a revisão constatou que 87,5% dos estudos resultaram em resistência mecânica, 8,33% em molhabilidade e 4,16% resistência química.

**Figura 4** - Aplicações encontradas nos trabalhos.



Fonte: Construção do autor.

Na Figura 4 é possível notar diversas distribuições nas aplicações envolvendo os trabalhos selecionados. As aplicações que apresentaram maior ocorrências foram as proteções balísticas e laminados híbridos com 22% cada, resultando no total de 44%. As aplicações nas áreas de proteção pessoal e laminados híbridos se dá por conta do tratamento da fibra de aramida para se adquirir melhor interação entre fibra-matriz proporcionando uma boa capacidade de absorção de impacto e resistência a cortes. Os demais 56% foram distribuídos em outras áreas, como tecido híbrido 17%, têxteis 11%, concreto 6%, mecha híbrida 6%, cavidade progressiva 6%, mangote 5% e poliamida 6.6 5%.

## CONCLUSÕES

Foi possível verificar que a maioria dos trabalhos analisados se concentra em tratamento da superfície de fibra de aramida aplicada em compósito, tais como o tratamento a plasma e argônio, com ligação C-F e NaOH. A interação fibra-matriz é significativamente influenciada pelo tratamento de superfície, aprimorando suas propriedades mecânicas e aperfeiçoando suas características como resistência mecânica e adesão fibra-matriz, além de apresentar vantagens notáveis, entre elas a leveza e a resistência ao impacto. Foram encontradas diversas aplicações, abrangendo áreas de proteção balística, têxteis e laminados híbridos. É interessante observar que por meio de todas as análises realizadas, nota-se uma alta gama de propriedades e estudos associados à aplicação de fibra de aramida em compósito, que através de sua adesão fibra-matriz, por meio do tratamento de superfície, podem ser mais desenvolvidos e utilizados em variados segmentos, com mérito de suas múltiplas funcionalidades em aplicações envolvendo áreas de segurança e no automobilismo.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L. R. *et al.* Aplicações de hidrogéis como biomateriais: uma revisão de dissertações e teses brasileiras desde 2017. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 22, n. 2, p. 53-79, 2021.

ALVES, L. R. *et al.* Synthesis and characterization of polyurethane and samarium (III) oxide and holmium (III) oxide composites. **Polímeros**, v. 33, p. e20230039, 2024.

AZEVEDO, C. M. D. **Estudo da resistência residual de compósito poliméricos de fibra de vidro-e e kevlar 49 após sofrerem impacto de baixa velocidade.** 2017. 111 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2017.

BATISTA, A. C. M. C. **Envelhecimento ambiental em compósitos poliméricos à base de tecidos de tecidos de reforços híbridos.** 2013. 105 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2013.

BERNARDI, S. T. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de aramida kevlar.** 2003. 179 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS. 2003.

COUGO, C. M. S. **Compósitos multiescala de fibras de poliaramida com nanoaditivos de carbono para aplicações em impacto e eletromagnéticas.** 2018. 94 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, RS. 2018.

CUNHA, R. A. D. **Influência da absorção de umidade no comportamento mecânico nos compósitos poliméricos híbridos kevlar/vidro quando imerso em água do mar e petróleo.** 2015. 104 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2015.

CUNHA, R. D. **Estudo do gradiente de resistência em compósito de mecha híbrida vidro/kevlar após impacto de baixa velocidade.** 2018. 93 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2018.

ERTEKIN, M. Aramid fibers. In: **Fiber technology for fiber-reinforced composites.** Woodhead Publishing, 2017. p. 153-167.

FELIPE, R. C. T. S. **Envelhecimento ambiental acelerado em PRF a base de tecidos híbridos kevlar/vidro: propriedades e instabilidades estruturais.** 2012. 189 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2012.

JUNIOR, S. J. B. **Influência de invólucros de poliuretana e no número de lâminas no desempenho balístico de blindagens de kevlar.** 2018. 105 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, PR. 2018.

LIMA, J. H. B. **Desenvolvimento de têxteis técnicos para reforço de compósitos poliméricos.** 2012. 97 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2012.

LOUREIRO, L. **Reutilização de fibras de para-aramida como reforço mecânico em poliamida 6,6.** 2016. 125 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, SP. 2016.

MEDEIROS, R. J. **Laminado compósito a base de tecido híbrido: anisotropia, furo concêntrico, fratura mecânica e análise por MEF.** 2016. 141 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2016.

MORAES, C. V. **Tratamento superficial de fibras de poliaramida com líquidos iônicos imidazólicos.** 2017. 85 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Minas, Porto Alegre, RS. 2017.

NOSSA, T. S. **Estudo comparativo das tensões na interface de compósitos de resina epóxi reforçados com fibras de carbono, aramida e vidro.** 2011. 98 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Sorocaba, SP. 2011.

NUNES, S. G. **Processamento por infusão a vácuo de compósitos espessos aramida/epóxi e análise do desempenho sob impacto.** 2018. 166 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Minas, Porto Alegre, RS. 2018.

OLIVEIRA, J. F. S. **Plásticos reforçados a base de tecidos híbridos: efeitos da anisotropia e geometria normativa na caracterização mecânica e da fratura.** 2013. 180 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Natal, RS. 2013.

OLIVEIRA, V. **Borracha nítrica reforçada com fibra aramida para aplicação em mangotes.** 2015. 74 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, RS. 2015.

OLIVEIRA, A. M. **Desenvolvimento de compósitos nanomodificados utilizando fibras de aramida envelhecidas.** 2016. 146 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, MG. 2016.

PAGNONCELLI, M. **Desenvolvimento de compósito utilizando resina éster vinílica reforçada por fibra de aramida para aplicação em blindagem de veículos militares.** 2016. 89 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e tecnologias, Caxias do Sul, RS. 2016.

SANTOS, M. O. **Avaliação da resistência mecânica e da molhabilidade de fibras de aramida após o tratamento com plasma de argônio.** 2017. 46 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Rio de Janeiro, RJ. 2017.

SILVA, A. A. X. **Comportamento mecânico e balístico de laminados híbridos de aramida/vidro.** 2022. 66 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, RS. 2022.

TARGINO, T. G. **Estudo do comportamento mecânico em compósito polimérico a base de tecido híbrido.** 2018. 100 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN. 2018.

TROMBETTA, F. **Uso de fibras aramidadas para melhoria de propriedades de composto de borracha nitrílicas.** 2012. 71 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, RS. 2012.

VALENÇA, S. L. **Estudo de envelhecimento e propriedades mecânicas de compósito epóxi reforçado com tecido plano de kevlar e híbrido vidro/kevlar.** 2014. 94 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, São Cristóvão, SE. 2014.

WIRTI, M. **Efeito da fluoração superficial de fibra de aramida em compósitos á base de resina éster vinílica com foco em comportamento de impacto.** 2017. 88 f. Dissertação (mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, Caxias do Sul, RS. 2017.

ZHANG, B. *et al.* Surface and interface modification of aramid fiber and its reinforcement for polymer composites: A review. **European Polymer Journal**, v. 147, p. 110352, 2021.