

CAPÍTULO 4

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA ESTUDAR CONCEITOS DE AERODINÂMICA NO ENSINO MÉDIO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.033112529044>

Data de aceite: 01/08/2025

William Almeida Vieira

Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará

Luiz Moreira Gomes

Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará

Dannilo Vieira Alves

Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará

Maria das Graças Dias da Silva

Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará

Saymon Henrique Santos Santana

Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará

Jorge Everaldo de Oliveira

Universidade Federal do Sul e
Sudeste do Pará

Maria Liduína das Chagas,

Universidade do Estado do Rio
Grande do Norte

Thiago Rafael da Silva Moura

Universidade Federal do Pará

RESUMO: O ensino de Física no nível médio costuma ser puramente teórica e abstrata, sobretudo por meio de aulas expositivas e resolução de exercícios, criando barreiras no ensino de Física. Essa metodologia de ensino muitas vezes ignora aspectos didáticos fundamentais, especialmente no que diz respeito à motivação e ao envolvimento dos alunos, resultando em uma aprendizagem mecânica e pouco relevante do ponto de vista do estudante. Este trabalho, tem como o objetivo principal, apresentar um o caráter prático da Física, para isso elaboramos produto educacional que pudesse facilitar a visualização dos conceitos de forma experimental, foi necessário a criação de uma sequência didática focada em conceitos básicos das forças aerodinâmicas envolvidas no voo de aviões, a aula e o produto educacional foram voltados para a alunos do 1º ano do ensino médio, este artigo busca discutir sobre os desafios de conceitos de aerodinâmica. Nesse sentido, iniciamos a intervenção, aplicando uma avaliação diagnóstica por meio de questionário, buscando identificar as concepções prévias dos estudantes sobre aerodinâmica, em seguida, desenvolveu-se o arcabouço teórico dos conceitos aerodinâmicos, relacionando-os às Leis de Newton, à teoria de Bernoulli e

ao Efeito Coanda. Por fim, a proposta foi consolidada com a construção de um aeromodelo em depron e polipropileno, seguida de lançamento e competição. Em linhas gerais, observamos que os resultados evidenciaram que aulas práticas despertam maior interesse, curiosidade e participação dos alunos, além de promover o desenvolvimento de noções fundamentais sobre aerodinâmica, área essencial no estudo da Física.

PALAVRAS-CHAVE: aerodinâmica, leis de Newton, Ausubel, Avaliação diagnóstica

INTRODUÇÃO

A Física é uma das áreas da ciência que se encarrega de observar, interpretar a natureza. Ela nos traz numa formação básica, a capacidade crítica de sermos “observadores da natureza”. Porém, o significado das observações ganha obstáculos no decorrer em que a humanidade evolui. O observar vai além do sentido biológico (órgãos do sentido), trata de uma expansão de ferramentas desenvolvidas para que a natureza seja mais compreensível, apesar de todos os seus mistérios. Diante esta característica, esse ramo da ciência torna-se pouco atrativa. Numa perspectiva educativa, os conteúdos físicos vêm sendo inseridos na formação básica do cidadão, em articulações entre métodos de ensino inovadores (Susanne e Per, 2022), onde a aprendizagem se torne atrativa e significativa, guiados por experimentos virtuais (programas computacionais) e reais (abrangência da física do dia a dia como um grande laboratório). No entanto, o conflito entre o ensino tradicional e “moderno” (articulados com as realidades dos educandos) ainda é evidente na educação brasileira, segundo Siswanto et al (2022), embora alguns educadores valorizem os métodos tradicionais de ensino (métodos que encarra a física como uma disciplina decorativa e vista por muitos como chata), tem havido uma ênfase crescente na participação dos alunos, no prazer pela física e na colaboração em contextos modernos de ensino de física.

Outro ponto importante discutido no ensino de física é o papel do professor na aprendizagem de seus alunos. Segundo Ashworth (2022), o papel dos professores de física na aprendizagem é crucial, exigindo um gerenciamento eficaz da sala de aula, o desenvolvimento de habilidades em processos da ciência e o uso de tecnologia para melhorar a qualidade do aprendizado. Assim, os educadores devem ser incentivados a utilizar técnicas pedagógicas apoiadas por pesquisas científica, para melhorar as práticas de ensino e as experiências de aprendizagem dos alunos.

Levados a necessidade de um ensino motivador, multidisciplinar que aproxime os estudantes ao objeto estudado, escolhemos a aerodinâmica como foco investigativo, onde uma proposta didática fosse sugerida e testada. É pertinente que o assunto seja ensinado de forma didática e com abordagens diferenciadas para o ensino de física nos aviões. Nossa proposta é utilizando-se da observação de um protótipo aéreo para aprender sobre aerodinâmica. Para que um avião alcance sustentação, é essencial que uma força específica supere ou neutralize seu peso. Será verificado neste estudo o que acontece

fisicamente quando ele está em movimento, originando e explicando os fenômenos, na qual as asas, também chamadas de aerofólios serão objeto de estudo. A aviação está baseada em vários princípios de física, o que torna relevante toda a explicação para a realização desse objeto de estudo, muitas vezes, quando as pessoas veem uma aeronave decolando ou pousando em um aeroporto, ficam curiosas para entender como esse equipamento com muitas toneladas consegue subir e se sustentar a grandes altitudes.

No decorrer do texto, encontraremos uma proposta que combina o conhecimento teórico e ação didático-pedagógica como elementos de transformação na experiência educacional, tornando-a mais interativa e relevante para os alunos. Trata de um estudo quanti-qualitativo da aerodinâmica em aeromodelos, onde é destacado a importância de métodos de ensino que vão além da memorização de fórmulas, como também nos traz uma compreensão dos princípios físicos e sua aplicação no mundo real.

REFERENCIAL TEÓRICO

Integração de Métodos Práticos como Estratégia para Melhorar o Ensino

Métodos práticos, como experimentos, projetos, simulações e estudos de caso, permitem que os alunos visualizem e interajam com os conceitos físicos, facilitando uma aprendizagem mais ativa e engajada.

Segundo Dedi e Eka (2023) o uso de práticas experimentais no ensino de física não apenas ilustra a aplicabilidade das teorias, mas também promove habilidades importantes como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a habilidade de aplicar o conhecimento científico a situações reais.

Além disso, de acordo com as pesquisadoras Barbara et al. (2023), Halyna e Lishchynskyy (2023) e Amusa (2022) atividades práticas podem despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, elementos que são cruciais para o aprendizado autônomo e contínuo. Essa abordagem também permite que os estudantes vejam o impacto e a relevância da Física no mundo real, aumentando sua motivação e o valor percebido da matéria.

Além de enriquecer a experiência de aprendizagem, a integração de métodos práticos no ensino de física pode ajudar a superar a inércia do aprendizado passivo, transformando os alunos de receptores passivos de informação em participantes ativos no processo de descoberta científica.

Esse tipo de transformação é fundamental numa época em que a capacidade de inovar e resolver problemas complexos é mais valorizada do que nunca no mercado de trabalho e na sociedade.

Portanto, a incorporação de atividades experimentais no currículo de física não só melhora o entendimento dos estudantes sobre os conceitos físicos, mas também

desenvolve competências que são essenciais para o século XXI, como colaboração, pensamento crítico e capacidade de aplicar conhecimentos teóricos em contextos práticos.

Ao fazer isso, o ensino de física pode ser transformado de uma disciplina frequentemente temida e mal compreendida em uma jornada empolgante cuja exploração e descoberta preparam melhor os alunos para os desafios do futuro.

Métodos Tradicionais versus Experimentos no Ensino de Ciências

A literatura educacional é rica em debates sobre as eficácia relativas dos métodos tradicionais e práticos de ensino de ciências.

Os métodos tradicionais, caracterizados por aulas expositivas e a aprendizagem baseada em memorização de fórmulas e definições, têm sido a norma em muitos sistemas educacionais ao redor do mundo.

Esta abordagem é frequentemente criticada por ser descontextualizada e por não promover uma compreensão profunda dos conceitos científicos, além de raramente estimular o pensamento crítico ou a aplicação prática do conhecimento (Johnstone & Al-Shuaili, 2001).

Por outro lado, os métodos práticos, que incluem experimentos, projetos de grupo, simulações computacionais e estudos de caso, são defendidos por proporcionarem uma experiência de aprendizado mais rica e engajadora (Janet et al., 2022; Diana et al., 2020). Tais métodos permitem aos alunos a oportunidade de explorar conceitos científicos de forma ativa, aplicando-os em situações práticas e visualizando suas manifestações no mundo real.

A pesquisa científica demonstra que quando os alunos participam ativamente no processo de aprendizado, eles tendem a desenvolver um entendimento mais robusto e duradouro dos conteúdos abordados (Freeman et al., 2014).

Um estudo conduzido por Hake (1998) sobre o uso de métodos interativos em aulas de física mostrou que essas estratégias, em comparação com as aulas tradicionais, significativamente melhoraram a compreensão dos alunos sobre os conceitos de Física fundamentais.

Esses resultados são reforçados por outros estudos que encontraram correlações positivas entre o uso de metodologias ativas e o desempenho dos alunos em ciências físicas, sugerindo que tais abordagens não só melhoraram a compreensão conceitual como também aumentam a retenção de conhecimento a longo prazo (Prince, 2004).

Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel

David Ausubel, através de sua teoria da aprendizagem significativa, oferece um importante suporte teórico para a utilização de métodos práticos no ensino. Segundo ele, a aprendizagem é mais eficaz quando novas informações são relacionadas de forma substantiva (não arbitrária) ao que o aluno já sabe.

Isso significa que o aprendizado ocorre melhor quando os novos conhecimentos podem ser ancorados em conceitos prévios na estrutura cognitiva do aluno (Ausubel, 1968). A aprendizagem significativa contrasta com a aprendizagem mecânica, na qual a informação é memorizada de forma isolada sem ligação com o conhecimento preexistente.

No contexto do ensino de Ciências, isso implica em conectar os conceitos científicos a experiências reais e observáveis, permitindo que os alunos “vejam” a ciência em ação. Este processo não só ajuda na retenção de informações como também facilita a habilidade dos alunos de aplicar o conhecimento em diferentes contextos, os quais representam um aspecto crucial da alfabetização científica. A figura 1 apresenta as cinco etapas do processo de pesquisa:

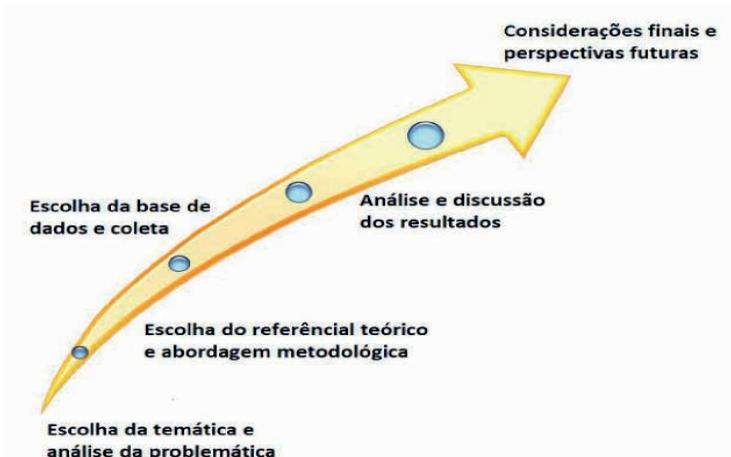


Figura 1- Etapas da pesquisa

Fonte: Elaborada pelo autor

- I. **Temática e análise do problema:** é a etapa inicial onde se identifica e explora o tema de interesse, formulando as questões pertinentes da pesquisa. O conhecimento prévio é essencial para ancorar novas informações, representando o ponto de partida para a construção de novos conhecimentos.
- II. **Referencial teórico e abordagem metodológica:** Neste estágio, seleciona-se um quadro teórico e uma metodologia que guiarão a coleta e análise de dados. Esta etapa é crucial, pois permite relacionar novos conceitos com estruturas cognitivas existentes, facilitando a aprendizagem significativa.
- III. **Base de dados e coleta:** Nesta parte, coletam-se dados relevantes para a pesquisa. A aprendizagem é mais eficaz quando se consegue relacionar novas informações de maneira substantiva com conhecimentos prévios, e a coleta de dados é uma oportunidade para aplicar esse princípio.

IV. Análise e discussão dos resultados: são analisados os dados coletados e as descobertas são discutidas, integrando novas informações ao conhecimento prévio. Esta é uma fase de reestruturação cognitiva, onde ocorre a aprendizagem significativa à medida que se interpretam os resultados à luz dos conhecimentos anteriores.

V. Considerações finais e perspectivas futuras: A última etapa envolve a reflexão sobre o aprendizado e a avaliação das implicações para futuras pesquisas. É o momento em que se consolida o conhecimento e se comprehende como ele pode ser aplicado em novos contextos, um aspecto fundamental da aprendizagem significativa de Ausubel.

A partir das etapas discutidas, pode-se verificar que a Teoria de Ausubel sugere que os educadores devem se esforçar para identificar os conhecimentos prévios dos alunos e apresentar novos conteúdos de maneira que estes sejam claramente relacionados aos conhecimentos já existentes. Isto pode ser particularmente eficaz em Ciências, onde conceitos muitas vezes abstratos podem ser ilustrados através de experimentos simples ou simulações que tornam aquele conceito abstrato em um conceito tangível.

METODOLOGIA

A equação do movimento

A equação do movimento de uma aeronave, que envolve vetores de deslocamento, velocidade, aceleração e força aplicada, pode ser expandida para incluir matrizes de massa (M), amortecimento (C) e rigidez (K) (Douglas e Moulton, 2023; Ritter e Dillinger, 2010). Segundo Boguslavsky (2012), essa abordagem é especialmente importante na análise dinâmica de aeronaves flexíveis, onde é fundamental separar a dinâmica do corpo rígido da dinâmica estrutural. Esta equação (1) é utilizada para calcular a força aplicada em uma aeronave (Segunda lei de Newton):

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \mathbf{x} = \mathbf{F}(t) \quad (1)$$

onde:

- \mathbf{x} é o vetor de deslocamento,
- $\dot{\mathbf{x}}$ é o vetor de velocidade,
- $\ddot{\mathbf{x}}$ o vetor de aceleração,
- $\mathbf{F}(t)$ é o vetor de força aplicada que depende do tempo.

Nesta equação tem-se as matrizes de Massa (M), Amortecimento C e Rigidez (K), onde:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}, \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 \\ 0.5 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{K} = \begin{bmatrix} 20 & -10 \\ -10 & 10 \end{bmatrix}$$

M: Representa a massa da aeronave. Maiores valores indicam mais inércia.

C: Representa o amortecimento, que ajuda a reduzir a resposta da aeronave a perturbações.

K: Representa a rigidez, que determina como a aeronave resiste a mudanças no deslocamento.

Aqui são inseridos alguns valores para exemplificar o uso de cada uma das matrizes:

Cenários de Força

A seguir são apresentados alguns cenários de força possíveis para a aeronave.

a) Voo Estável:

Voo estável(t) = [1, 1]: Forças constantes representando um voo estável.

b) Turbulência Moderada:

Turbulência moderada(t) =: Forças oscilantes representando turbulência.

c) Manobra Agressiva:

Manobra agressiva(t)

- Se $t < 10s$: forças representadas por [10, 10].
- Se $10s \leq t < 20s$: forças representadas por [-10, -10].
- Se $t \geq 20s$: forças representadas por [0, 0].

Verifica-se que essas forças mudam abruptamente representando uma manobra agressiva. A figura a seguir representa os três cenários. Os deslocamentos e são pontos quaisquer na fuselagem e na cauda da aeronave.

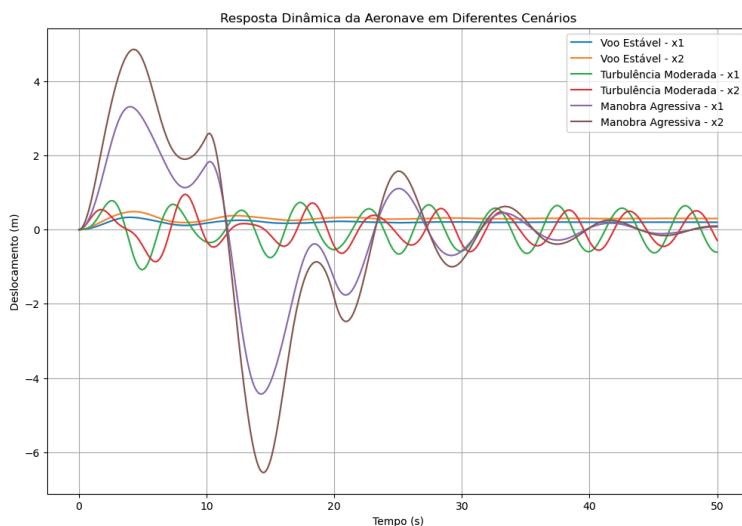


Figura 2- Resposta dinâmica da aeronave em diferentes cenários

Fonte: Elaborada pelo autor

Coeficiente de sustentação (C_L) e o ESTOL

O coeficiente de sustentação (C_L) é calculado com base no ângulo de ataque α . O coeficiente de sustentação é uma medida da força de sustentação gerada por uma aeronave em relação à força dinâmica do ar que ela está enfrentando. A função assume que o C_L aumenta linearmente com o ângulo de ataque até 15 graus (o ponto de estol), após o qual ele começa a diminuir. A equação usada aqui é uma simplificação e não reflete o comportamento real de uma aeronave. A equação para C_L é:

$$0.1\alpha, \quad \text{se } \alpha < 15 \quad (2)$$

$$0.1(15 - (\alpha - 15)^{1.5}), \text{ se } \alpha \geq 15; \quad (3)$$

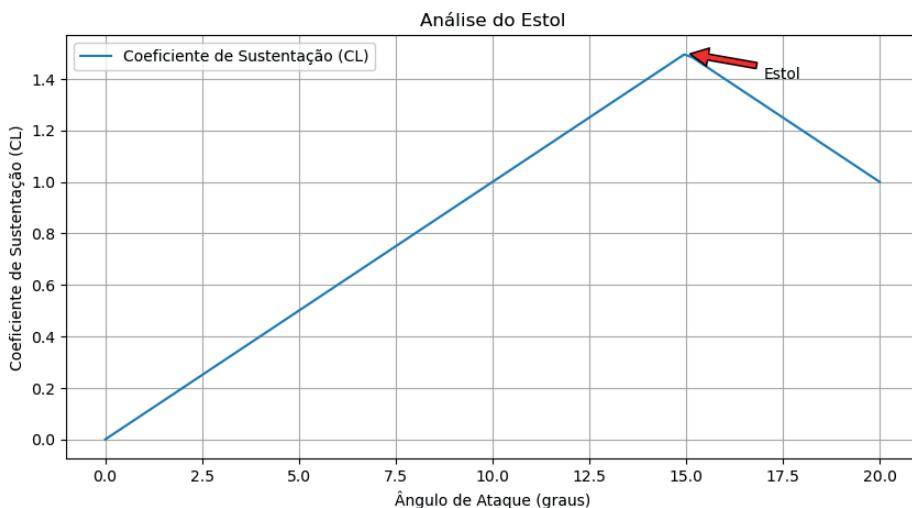


Figura 3- C_L em função do ângulo de ataque. Estol.

Fonte: Elaborada pelo autor

Esses conceitos foram explicados qualitativamente para os alunos.

Forças Aerodinâmicas

A construção de aeromodelos foi escolhida como ferramenta didática central neste estudo visando facilitar a aprendizagem prática dos conceitos de aerodinâmica entre os alunos do ensino médio. O processo começou com uma introdução teórica aos conceitos básicos de aerodinâmica, incluindo as forças que atuam em um avião durante o voo, como sustentação, arrasto, peso e empuxo. A figura 4 a seguir apresenta as principais forças agindo em um avião.

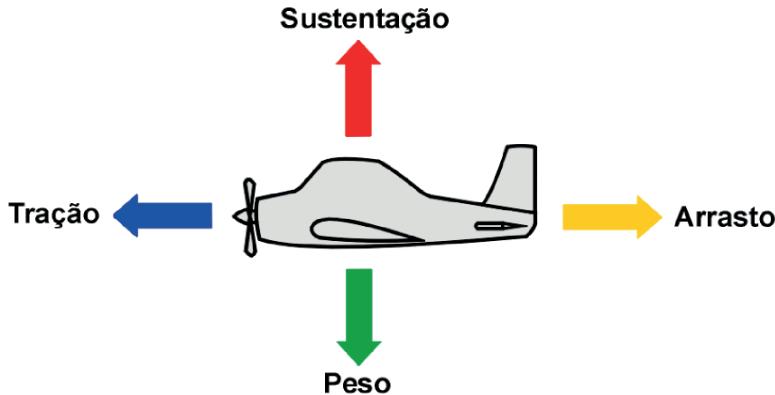


Figura 4- Principais forças agindo em um avião

Fonte: Sampaio, 2019.

A Tabela 1 apresenta as principais forças aerodinâmicas envolvidas no voo de uma aeronave, detalhando suas descrições, fórmulas matemáticas e variáveis associadas. Essas forças são fundamentais para compreender a dinâmica de voo e o comportamento das aeronaves em diferentes condições.

Força	Descrição	Equações	Variáveis
Força de Sustentação	Acontece graças aos caminhos que o ar percorre pela aeronave, gerando diferenças de pressão.	$= 0.5\rho v^2 S C_L = 0.5\rho v^2 S C_L$	L: Força de sustentação ρ : Densidade do ar v: Velocidade do ar S: Área da asa C_L : Coeficiente de sustentação
Força de Arrasto	Força aerodinâmica devido à resistência do ar, que se opõe ao avanço de um corpo.	$D = 0.5\rho v^2 S C_D$	D: Força de arrasto ρ : Densidade do ar v: Velocidade do ar S: Área frontal C_D : Coeficiente de arrasto
Peso	Relacionado com a força da gravidade, a qual atrai todos os corpos que estão no campo gravitacional terrestre.	$P = m g$	P: Peso m: Massa g: Aceleração da gravidade
Força de Traction	Força responsável por impulsionar a aeronave para frente, sendo originada pelo motor, explicado pela 3 ^a lei de Newton.	$T = m a$	T: Força de tração m: Massa a: Aceleração
Princípio de Bernoulli	Lei que descreve o movimento de fluidos, onde a rapidez do fluido cresce a pressão interna do mesmo decresce e vice-versa.	$P + 0.5\rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$	P: Pressão ρ : Densidade do ar v: Velocidade do ar g: Aceleração da gravidade h: Altura

Efeito Coanda	Efeito no fluxo de um fluido em que seu escoamento próximo às superfícies limitantes acompanha as suas formas se as superfícies forem suavemente curvas.	(Sem fórmula específica)	-
Inércia	Tendência natural de um objeto em resistir a alterações em seu estado original de repouso ou movimento.	$F = m \cdot a$	F: Força m: Massa a: Aceleração
Ação e Reação	A toda ação existe uma reação de mesma intensidade e direção, mas de sentido oposto.	$F = -F$	F: Força

Tabela 1: Descrição e Relações das Principais Forças Aerodinâmicas

A Figura 5 ilustra dois fenômenos distintos de fluidodinâmica. Em “a”, o “Princípio de Bernoulli” é demonstrado. Este princípio estabelece que, em um fluxo constante, a pressão de um fluido diminui à medida que sua velocidade aumenta. No diagrama, isso é visível pelo estreitamento do tubo, que acelera o fluxo de fluido e resulta em uma queda de pressão. Na parte “b”, o “Efeito Coanda” é exemplificado. Este efeito descreve a tendência de um fluxo de fluido em seguir uma superfície curvada adjacente devido à adesão do fluido à superfície. Isso é mostrado pela forma como o fluxo de fluido adere à curva do tubo, desviando seu trajeto original. Ambos os efeitos são fundamentais para a compreensão e aplicação em várias áreas da engenharia e tecnologia de fluidos.

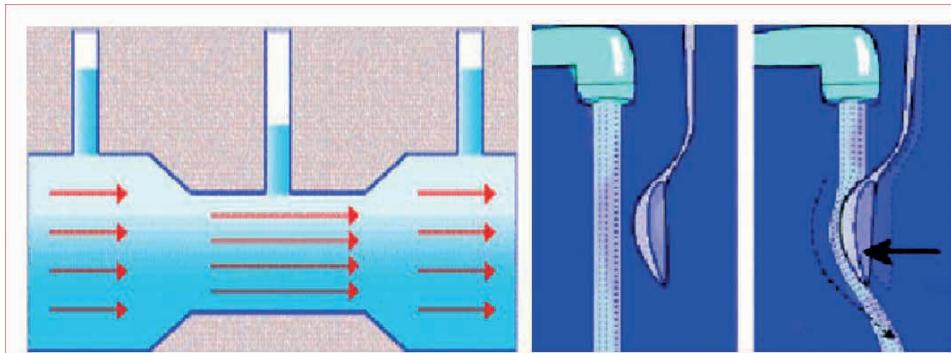


Figura 5- a) Princípio de Bernoulli. b) Efeito Coanda.

Fonte: Nussenzveig, 2004.

Construção dos aeromodelos

Após a introdução dos conceitos, os alunos foram divididos em pequenos grupos para começar a construção dos modelos.

Os materiais utilizados na construção dos aeromodelos incluíam:

- Placas de poliestireno

- Tubos de cola
- Tesouras
- Cortadores
- Motores pequenos de DC (facilmente adquiridos em lojas de eletrônicos ou reciclados de equipamentos antigos)

Cada grupo recebeu um conjunto de instruções detalhadas, que abrangia:

- Planos de corte
- Sugestões de design para minimizar o arrasto e maximizar a sustentação
- Dicas para equilibrar o modelo e garantir um voo estável

Durante a construção, os alunos aplicaram conceitos de física para entender como diferentes alterações no design dos aeromodelos poderiam impactar seu desempenho. Eles investigaram como mudanças no ângulo das asas, no peso e no centro de massa influenciavam a sustentação e a estabilidade do modelo.

Após a construção, houve uma fase de testes em que os alunos puderam lançar seus modelos em um ambiente controlado. Isso permitiu que observassem o comportamento de voo e realizassem ajustes conforme necessário para melhorar o desempenho dos aeromodelos.

A Figura 6 apresenta os aeromodelos construídos, evidenciando a criatividade e a aplicação prática dos conceitos de aerodinâmica discutidos em sala de aula. Esses modelos, feitos com placas de poliestireno, motores de DC e outros materiais simples, representam a culminância do trabalho em grupo e das habilidades de construção desenvolvidas pelos participantes. A diversidade nos desenhos e formas dos aeromodelos reflete as diferentes abordagens e soluções encontradas para otimizar o desempenho dos modelos.

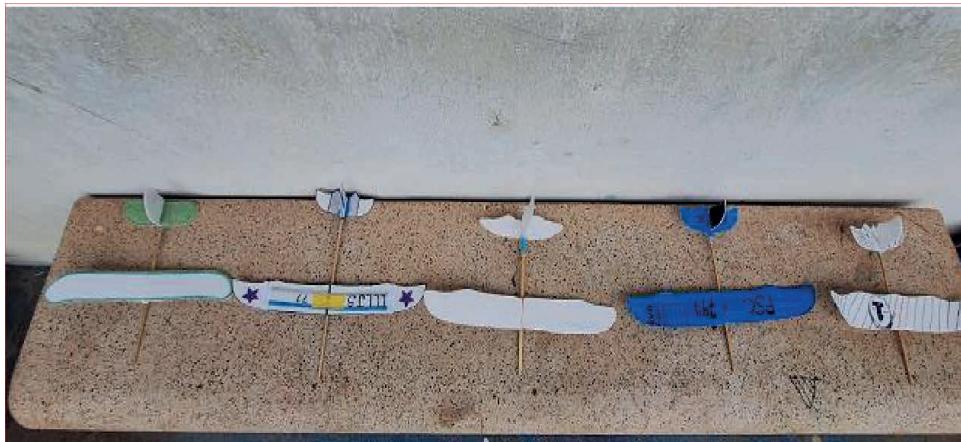


Figura 6- Os aeromodelos construídos

Fonte: Elaborada pelo autor

Nas Figuras 7a e 7b observa-se o lançamento dos aeromodelos, realizado no pátio da escola. Esse ambiente amplo possibilitou a observação prática das forças atuantes nos modelos durante o voo. A competição, focada na modalidade de distância, incentivou a aplicação e ajuste dos princípios de aerodinâmica aprendidos, como a minimização do arrasto e a maximização da sustentação, para alcançar os melhores resultados. Essas atividades práticas foram essenciais para reforçar o aprendizado teórico e promover o desenvolvimento de habilidades práticas e analíticas.



Figura 7- Lançamento dos aeromodelos

Fonte: Elaborada pelo autor

Abordagem das Dinâmicas de Sala de Aula e Interações Durante a Construção e Testes dos Modelos

A dinâmica da sala de aula foi transformada pela introdução desta atividade prática. O ambiente usualmente silencioso e passivo deu lugar a uma atmosfera de colaboração e engajamento. Os alunos foram encorajados a discutir suas estratégias de construção, trocar ideias e ajudar uns aos outros nas montagens e nos ajustes dos aeromodelos.

Essa interação fomentou um ambiente de aprendizado cooperativo, onde o conhecimento era construído socialmente entre os participantes. Os professores assumiram o papel de facilitadores durante estas sessões. Eles circulavam pela sala, oferecendo orientação técnica e encorajamento, além de provocar discussões que aprofundavam a compreensão dos alunos sobre os princípios físicos em jogo.

Questões sobre como e por que certos designs funcionavam melhor que outros eram comuns, levando os alunos a aplicarem o método científico de forma prática. Durante os testes dos aeromodelos, os alunos registraram diversos dados, como distância de voo, estabilidade e comportamento em diferentes velocidades e ângulos de lançamento. Esses dados foram posteriormente utilizados para discutir o desempenho dos aeromodelos em relação aos conceitos teóricos aprendidos.

A análise e discussão desses resultados proporcionaram uma aplicação real dos conceitos de física, reforçando o conhecimento de forma significativa. Essa metodologia,

portanto, não apenas promoveu uma compreensão mais profunda dos conceitos de aerodinâmica, mas também desenvolveu habilidades de trabalho em equipe, comunicação e pensamento crítico.

A construção e teste de aeromodelos como estratégia didática tem potencial para uma abordagem eficaz visando engajar os alunos no estudo da física, evidenciando que a aprendizagem pode ser tanto divertida quanto informativa.

O estudo foi conduzido na Escola Estadual de Ensino Médio “O Pequeno Príncipe”, situada em Nova Marabá, Pará. A pesquisa envolveu a participação da turma do 1º ano B do período matutino, composta por 27 alunos com idades entre 13 e 17 anos. Esses estudantes são oriundos de escolas públicas e residem predominantemente em bairros no entorno da escola.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise do Impacto do Projeto na Compreensão dos Alunos

O projeto de construção e teste de aeromodelos teve um impacto significativo na compreensão dos alunos sobre os conceitos de aerodinâmica.

Para avaliar este impacto, foram administrados testes pré e pós-projeto, além de avaliações formativas ao longo das sessões de construção e teste. A Tabela 2 ilustra tal impacto da aplicação da metodologia de ensino prática no desempenho dos alunos em várias dimensões da aprendizagem. Esta tabela compara indicadores-chave antes e depois da implementação do projeto, destacando melhorias substanciais em conhecimento teórico, interesse dos alunos, engajamento nas aulas, habilidades práticas e compreensão conceitual.

<i>Indicadores</i>	<i>Pré-Projeto</i>	<i>Pós-Projeto</i>
<i>Conhecimento Teórico</i>	Baixo	Alto
<i>Interesse dos Alunos</i>	Moderado	Muito Alto
<i>Engajamento nas Aulas</i>	Baixo	Muito Alto
<i>Habilidade Prática</i>	Muito Baixo	Alto
<i>Compreensão Conceitual</i>	Baixo	Muito Alto

Tabela 2: Impacto da Metodologia de Ensino Prático no Desempenho dos Alunos

Os resultados dos testes mostraram um aumento notável na compreensão dos conceitos chave, como as forças de sustentação e arrasto, a importância do centro de massa e o papel da forma e do ângulo das asas na estabilidade do voo.

Além das avaliações formais, observações durante as sessões de laboratório indicaram que os alunos estavam aplicando os conceitos aprendidos de maneira prática. Eles discutiam entre si como variações no design poderiam alterar o desempenho do voo, demonstrando uma compreensão que transcendia a memorização superficial de definições e fórmulas.

Esta aplicação prática e discussão ajudaram a consolidar o conhecimento teórico em um contexto prático, facilitando uma aprendizagem mais profunda e duradoura.

Observações de Engajamento e Interesse

O feedback dos alunos foi extremamente positivo. Muitos expressaram que a oportunidade de construir e testar seus próprios modelos proporcionou uma conexão mais clara entre a teoria física e suas aplicações práticas. Além disso, a natureza hands-on do projeto permitiu que eles visualizassem conceitos que anteriormente pareciam abstratos e distantes de suas experiências cotidianas.

Durante o projeto, foi notável o aumento no engajamento e interesse dos alunos. Mesmo aqueles que inicialmente mostravam pouco interesse por física estavam ativamente envolvidos nas discussões e na solução de problemas durante a construção e os testes dos aeromodelos.

Este engajamento foi evidenciado não apenas pela participação ativa nas atividades propostas, mas também pelo aumento na frequência e qualidade das perguntas feitas aos professores e colegas, indicando uma curiosidade e um desejo de explorar os conceitos de física mais profundamente.

Os professores observaram que os alunos que participaram do projeto demonstraram uma maior confiança em suas habilidades de resolver problemas e uma melhor capacidade de trabalhar cooperativamente em equipe. Muitos alunos também relataram que o projeto havia despertado um novo interesse pela física e pela ciência em geral, com alguns expressando o desejo de explorar tópicos relacionados em projetos futuros ou até mesmo considerar carreiras em campos relacionados à ciência, tecnologia e engenharia.

A implementação do projeto de aeromodelos como ferramenta didática para o ensino de conceitos de aerodinâmica provou ser altamente eficaz. Não apenas melhorou a compreensão dos alunos sobre tópicos importantes, mas também aumentou significativamente seu engajamento e interesse pelo estudo da física. Estes resultados destacam o potencial de métodos de ensino práticos para enriquecer o aprendizado dos alunos e estimular seu interesse e entusiasmo pelas ciências.

Comparação de Aprendizado Teórico Versus Prático

A análise dos dados coletados ao longo do projeto de construção de aeromodelos oferece insights valiosos sobre a eficácia relativa dos métodos de ensino teórico e prático.

O ensino teórico, predominantemente baseado na transmissão direta de conhecimentos através de aulas expositivas, tem seu valor no estabelecimento de uma base sólida de conhecimento fundamental.

No entanto, os resultados deste projeto indicam que a incorporação de métodos práticos pode significativamente aprimorar a compreensão e retenção de conceitos complexos como os envolvidos na aerodinâmica.

A Figura 8 apresenta os resultados da avaliação diagnóstica realizada antes da aplicação do produto educacional, destacando os níveis de acertos e erros dos alunos em diferentes conceitos relacionados à física e aerodinâmica.

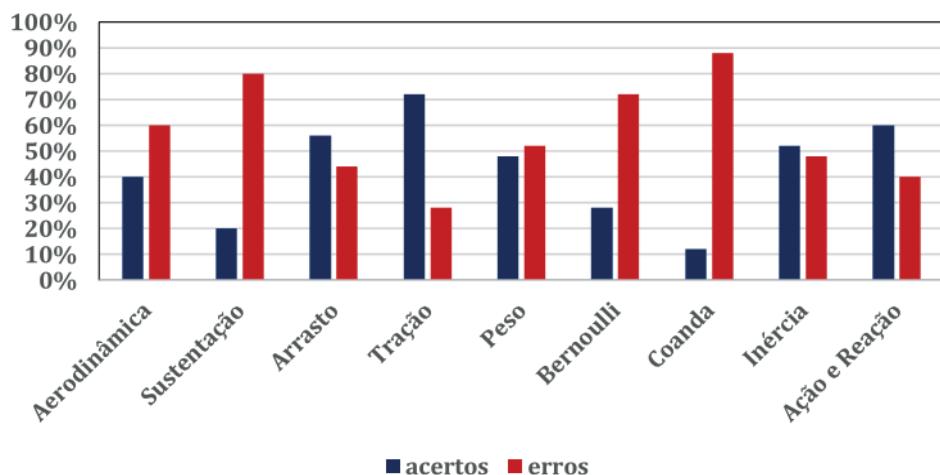


Figura 8: Resultados da avaliação diagnóstica antes da aplicação da metodologia de ensino com uso dos aeromodelos

Fonte: Elaborada pelo autor

Os dados revelam uma alta taxa de erros em conceitos como “Sustentação” e “Efeito Coanda”, indicando que esses tópicos foram particularmente desafiadores, com cerca de 80% e 90% de erros, respectivamente. Em contrapartida, conceitos como “Ação e Reação” e “Tração” mostraram uma proporção maior de acertos, refletindo um melhor entendimento, com aproximadamente 60% e 70% de acertos, respectivamente.

Os resultados obtidos também apontam para um equilíbrio relativo entre acertos e erros em tópicos como “Arrasto”, “Peso” e “Inercia”, sugerindo uma compreensão mediana desses conceitos. A “Inercia” e o “Peso” apresentaram uma distribuição mais equilibrada entre acertos e erros, com uma ligeira predominância de erros, sugerindo áreas que ainda requerem atenção.

Esses diagnósticos são essenciais para identificar as áreas de maior dificuldade e direcionar o foco da metodologia para melhorar a compreensão e o desempenho nos conceitos mais desafiadores.

Os alunos envolvidos no projeto demonstraram uma compreensão mais aprofundada e duradoura dos princípios de aerodinâmica comparados aos que receberam instrução apenas em formato tradicional.

Isso foi evidenciado não apenas nos testes e avaliações, mas também na capacidade dos alunos de aplicar esses conceitos em cenários práticos durante a construção e o teste dos aeromodelos.

Essa abordagem prática incentivou os alunos a pensar de forma mais crítica e criativa sobre como os princípios físicos se aplicam no mundo real, uma habilidade essencial para a aprendizagem científica efetiva.

A Figura 9 apresenta os resultados da avaliação diagnóstica realizada após a aplicação da metodologia educacional, contrastando significativamente com os resultados observados na Figura 8. Na avaliação inicial, a Figura 8 indicava altos índices de erros em conceitos como “Sustentação” e “Efeito Coanda”, enquanto a Figura 9 demonstra uma expressiva melhora no desempenho dos alunos em todos os conceitos avaliados, com taxas de acertos variando entre 90% e 100%.

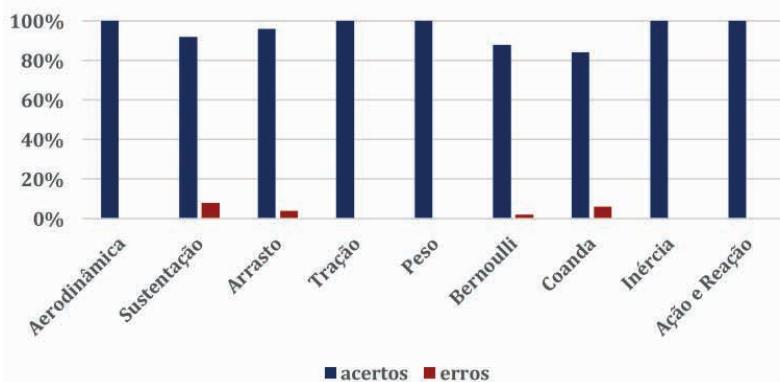


Figura 9- Resultados da avaliação diagnóstica depois da aplicação do produto educacional

Fonte: Elaborada pelo autor

Essa transformação pode ser explicada à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. De acordo com Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conceitos são relacionados de maneira substantiva e não arbitrária ao conhecimento pré-existente do aluno. A metodologia educacional aplicada, que incluiu atividades práticas e a construção de aeromodelos, facilitou essa ligação, permitindo que os alunos integrassem novos conhecimentos de maneira mais eficaz.

Na avaliação pós-metodologia, conceitos previamente desafiadores como “Sustentação” e “Efeito Coanda” apresentaram altas taxas de acertos, refletindo uma compreensão mais profunda e duradoura. A abordagem prática proporcionou aos alunos oportunidades para observar e aplicar os princípios teóricos em situações reais, alinhando-se com a perspectiva de Ausubel de que a aprendizagem deve ser contextualizada e relevante para ser significativa.

Essa melhoria substancial sugere que a metodologia adotada não só esclareceu os conceitos, mas também melhorou a retenção do conhecimento. A baixa taxa de erros em todos os tópicos avaliados reforça a eficácia de métodos de ensino que incentivam a aplicação prática dos princípios teóricos, promovendo uma aprendizagem científica mais robusta e eficaz.

Implicações para Práticas no Ensino de Física

Os resultados deste estudo apresentam implicações significativas para as práticas futuras no ensino de física. Os achados reforçam a necessidade de uma integração mais profunda das atividades práticas no currículo regular de física, posicionando-as como um componente central do processo de ensino-aprendizagem.

A Tabela 3 apresenta recomendações para a melhoria do ensino de física, destacando a importância da integração de atividades práticas, a alocação adequada de recursos e a adaptação de estratégias de ensino. Cada recomendação é embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que enfatiza a importância da ligação substantiva de novos conhecimentos ao conhecimento pré-existente para promover uma aprendizagem mais profunda e eficaz.

Aspecto	Recomendação	Embasamento ASA
Integração de Atividades Práticas	- Transformar atividades práticas em um componente central do ensino-aprendizagem. - Superar barreiras do aprendizado puramente teórico.	Facilita a ligação substantiva de novos conhecimentos ao conhecimento pré-existente.
Materiais e Espaços	- Investir em materiais apropriados e espaços dedicados à experimentação. - Prover infraestrutura adequada para atividades práticas.	Proporciona um ambiente adequado para a aplicação prática dos conceitos teóricos, reforçando a aprendizagem.
Formação de Professores	- Proporcionar formação contínua para professores. - Capacitar educadores para integrar teoria e prática de forma eficiente.	Permite aos professores integrar teoria e prática, promovendo uma aprendizagem mais profunda e significativa.
Cultura de Curiosidade e Inovação	- Desenvolver estratégias de ensino que fomentem curiosidade e inovação. - Inspirar alunos a explorar e questionar o mundo ao seu redor.	Fomenta a curiosidade e inovação, elementos essenciais para a aprendizagem significativa e duradoura.

Tabela 3: Recomendações para a Melhoria do Ensino de Física com Embasamento na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel potencialmente favoráveis e não favoráveis para a utilização da maquete no processo de ensino-aprendizagem.

A partir dos resultados sintetizados na tabela se evidencia uma argumentação convincente para uma revisão das abordagens pedagógicas no ensino de física. Sugerem uma mudança em direção a um modelo mais integrado e prático, capaz de engajar e

inspirar os alunos. Esta abordagem, embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, enfatiza a ligação substantiva de novos conhecimentos ao conhecimento pré-existente, demonstrando ser eficaz para promover uma aprendizagem científica robusta e efetiva.

CONCLUSÃO

Benefícios do Aprendizado Prático

O projeto de construção e teste de aeromodelos como ferramenta didática no ensino de física demonstrou vários benefícios significativos do aprendizado prático.

Primeiramente, o envolvimento ativo dos alunos no processo de aprendizagem por meio de atividades práticas promoveu uma compreensão mais profunda dos conceitos de aerodinâmica. Isso não apenas melhorou a capacidade dos alunos de reter informações, mas também estimulou a aplicação de conhecimentos em situações práticas, uma habilidade crítica para o aprendizado eficaz.

Além disso, o aprendizado prático encorajou os alunos a desenvolverem habilidades essenciais como pensamento crítico, resolução de problemas e trabalho em equipe. Ao lidar com a construção física dos modelos e ajustar variáveis para otimizar o desempenho de voo, os alunos foram desafiados a pensar de forma inovadora e colaborativa.

Essas habilidades são inestimáveis não apenas no contexto acadêmico, mas também em suas futuras carreiras profissionais. Por fim, o projeto aumentou significativamente o engajamento e o interesse dos alunos pela física.

Ao verem os conceitos teóricos se transformarem em resultados práticos e tangíveis, os alunos puderam perceber o valor real e a relevância da física, o que potencialmente aumenta a motivação para futuros estudos e explorações na área.

Recomendações para Incorporar Projetos Práticos no Currículo de Física

Baseado nos resultados positivos deste projeto, recomenda-se a incorporação mais ampla de projetos práticos no currículo de física. Para implementar efetivamente essa mudança, algumas estratégias específicas incluem (tabela 4):

Temas	Descrição	Passos	Exemplo
Integração Curricular	Projetos práticos não devem ser vistos como complementos ocasionais ao currículo tradicional, mas como componentes integrais do ensino de física. Eles devem ser cuidadosamente alinhados com os objetivos de aprendizagem e integrados de maneira a reforçar os conceitos teóricos.	1. Identificar os objetivos de aprendizagem. 2. Planejar projetos que reforcem os conceitos teóricos. 3. Integrar os projetos no currículo.	Desenvolver um projeto sobre leis de Newton, onde os alunos constroem e testam protótipos de veículos.
Formação de Professores	Os educadores devem receber formação específica sobre como integrar atividades práticas ao ensino de conceitos teóricos. Isso inclui treinamento em métodos pedagógicos ativos e no uso de tecnologias e materiais que facilitam o aprendizado prático.	1. Oferecer workshops de formação. 2. Instruir sobre métodos pedagógicos ativos. 3. Ensinar o uso de tecnologias educativas.	Workshop sobre como usar kits de robótica para ensinar conceitos de eletricidade e magnetismo.
Recursos Adequados	As escolas devem garantir que haja recursos adequados, como materiais, ferramentas e espaços para a realização de projetos práticos. Isso também inclui acesso a tecnologia e suporte técnico quando necessário.	1. Avaliar as necessidades de recursos. 2. Adquirir materiais e ferramentas. 3. Prover suporte técnico contínuo.	Criar um laboratório de ciências equipado com kits de experimentos, computadores e software de simulação.
Avaliação Apropriada	Métodos de avaliação devem ser adaptados para considerar tanto o conhecimento teórico quanto as habilidades práticas desenvolvidas pelos alunos. A avaliação deve refletir a compreensão conceitual assim como a capacidade de aplicação prática.	1. Desenvolver critérios de avaliação. 2. Implementar avaliações práticas e teóricas. 3. Revisar e ajustar os métodos conforme necessário.	Avaliar um projeto de construção de ponte considerando tanto o relatório teórico quanto a resistência da ponte construída.
Colaboração e Compartilhamento	Incentivar a colaboração entre escolas, universidades e a indústria pode enriquecer o currículo de física com projetos inovadores e relevância prática, oferecendo aos alunos uma visão mais ampla das aplicações da física no mundo real.	1. Estabelecer parcerias com instituições. 2. Planejar projetos conjuntos. 3. Compartilhar recursos e conhecimentos.	Projeto colaborativo com uma universidade local para desenvolver experimentos em astrofísica.

Tabela 4: Estratégias para a Integração de Projetos Práticos no Ensino de Física

A integração de projetos práticos no ensino de física oferece uma oportunidade valiosa para enriquecer a experiência educacional dos alunos. Essa abordagem promove habilidades essenciais, como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a aplicação prática dos conceitos teóricos. Além disso, aumenta significativamente o interesse e o engajamento dos estudantes pela ciência.

Ao adotar uma metodologia que inclui atividades práticas, formação contínua para professores, alocação adequada de recursos e avaliação apropriada, as instituições educacionais podem criar um ambiente de aprendizado mais dinâmico e eficaz. Isso não só prepara melhor os alunos para os desafios acadêmicos e profissionais do futuro, mas também fomenta uma cultura de curiosidade e inovação.

Implementar essas estratégias de forma sistemática e integrada é fundamental para o desenvolvimento de uma educação científica robusta. Com uma abordagem

pedagógica que valoriza a aprendizagem significativa e prática, as escolas podem contribuir significativamente para a formação de uma nova geração de cientistas, engenheiros e inovadores, prontos para enfrentar os desafios do mundo moderno.

REFERÊNCIAS

- ASHWORTH, Stephen H. The science of learning physics. *Contemporary Physics*, 2022. doi: 10.1080/00107514.2022.2128880.
- AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- Barbara, Casarin, Henrique-Sanches., Luís, Expedito, Sabage., Raphael, Raniere, de, Oliveira, Costa., Rodrigo, Guimarães, dos, Santos, Almeida., Roberson, A., Moron., Alessandra, Mazzo. Implications of practical activities in the Skills and Simulation Laboratory on students' motivation and feelings. *Revista Latino-americana De Enfermagem*, 2023. doi: 10.1590/1518-8345.6397.3902.
- Dedi, Holden, Simbolon., Eka, Kartika, Silalahi. Physics Learning Using Guided Inquiry Models Based on Virtual Laboratories and Real Laboratories to Improve Learning. *Journal for Lesson and Learning Studies*, 2023. doi: 10.23887/jlls.v6i1.61000.
- Diana, Carolina, Peralta, Lara., Verónica, Jacqueline, Guamán, Gómez. Metodologías activas para la enseñanza y aprendizaje de los estudios sociales. 2020. doi: 10.51247/ST.V3I2.62.
- Douglas, F., Hunsaker., Ben, Moulton. An Alternate Dimensionless Form of the Linearized Rigid-Body Aircraft Equations of Motion with Emphasis on Dynamic Parameters. 2023. doi: 10.2514/6.2023-1366.
- ENGSTRÖM, Susanne; NORSTRÖM, Per. How Physics Courses Can Make Highly Valued Strategies and Dispositions Visible to Physics Teacher Students. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 2022. doi: 10.30935/scimath/12078.
- FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415, 2014.
- HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74, 1998.
- Halyyna, Voitkiv., I., Lishchynskyy. Practical works in primary school physics course. *Scientific Journal of Polonia University*, 2023. doi: 10.23856/5514.
- I., A., Boguslavsky. An Algorithm for Parameters Identification of an Aircraft's Dynamics. 2012. doi: 10.5772/36610.
- JANET, Movladievna, Magamedova. Methods For Learning Programming. *The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 2022. doi: 10.15405/epsbs.2022.11.55.
- JOHNSTONE, A. H.; AL-SHUILI, S. N. Learning in the laboratory; some thoughts from the literature. *University Chemistry Education*, 5(2), 42-51, 2001.
- Markus, Ritter., Johannes, Dillinger. Nonlinear numerical flight dynamics for the prediction of maneuver loads. 2010.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de Física Básica* 2. 4 ed. rev. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231, 2004.

SISWANTO, Joko; TRI, Aris; JAKA, Harjanta; KURNIA, Prahani Binar; SUMINAR, Indah. The Role of Physics Teachers in Digital Learning. *KnE Social Sciences* , 2022. doi: 10.18502/kss.v7i14.12048.

SAMPAIO, Ícaro Marcolin; Aerodinâmica: o desenvolvimento de dispositivos hipersustentadores. Orientador: Prof. MSc. Angelo Damigo Tavares. 2019. 44 f. TCC (Graduação)(2022). Practical Electronics as a Tool for Enhancing Physics Students' Interest in Learning the Concept of Electricity in Lagos, Nigeria. *International Journal of Educational Research Review*, doi: 10.24331/ijere.1029589.

VIEIRA, William Almeida. Novas Práticas para o Ensino das Forças Aerodinâmicas em Aeronaves. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2024.