

ABORDAGEM DIDÁTICA INTERDISCIPLINAR ACERCA DO IMPACTO DE ATIVIDADES HUMANAS NO AMBIENTE ESPACIAL

INTERDISCIPLINARY DIDACTIC APPROACH ABOUT THE IMPACT OF HUMAN ACTIVITIES IN THE SPACE ENVIRONMENT

Lucas de Lima Vieira Campos¹, Roberto Vinícios Lessa do Couto², Marcello Ferreira³

Recebido: fevereiro/2025 - Aprovado: março/2026

RESUMO: A abordagem didática interdisciplinar sobre o impacto das atividades humanas no ambiente espacial articula epistemologias, teorias e metodologias de Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais, visando à aprendizagem significativa. Direcionada a estudantes de ciências do Ensino Fundamental, foca na problemática do lixo espacial, suas origens e impactos, para elaborar estratégias hipotéticas de mitigação. A pesquisa é translacional e fundamentada na teoria ausubeliana da aprendizagem significativa, estruturada como uma sequência didática investigativa, interdisciplinar e mediada por tecnologias digitais, com dez aulas. Procedimentalmente, foram realizadas ações de levantamento de subsunçores, organização avançada, incursões conceituais, simulações, debates e projetos em grupo, culminando em apresentações de soluções inovadoras. O professor-pesquisador mediou todo o processo com planejamento estratégico e abordagens discursivas e de autonomia. A avaliação empregou instrumentos e indicadores alinhados ao referencial teórico. Os resultados apontam avanços no pensamento reflexivo, criativo e crítico, na argumentação e cooperação entre estudantes e indícios de aprendizagem significativa. Limitações e agendas futuras incluem a necessidade de multimétodos, ampliação de escopo e amostra, análises longitudinais e aperfeiçoamento do modelo em diferentes contextos. A praxiologia resultante contribui para abordagens interdisciplinares no ensino de ciências.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino Fundamental, Física, Gravitação, interdisciplinaridade, lixo espacial.

ABSTRACT: The interdisciplinary didactic approach to the impact of human activities on the space environment integrates epistemologies, theories, and methodologies from Physics, Environmental Sciences, Engineering, Ethics, and International Policies to foster meaningful learning. Aimed at elementary science students, it focuses on space

- 1 <https://orcid.org/0009-0007-5867-3741> - Especialista em Ensino de Ciências pela Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brasil. Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP:70910-900, Brasília-DF, Brasil. E-mail: lucas_lv72@hotmail.com.
- 2 <https://orcid.org/0000-0001-9393-917X> - Doutorando em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Rua R. Ramiro Barcelos, 2600 - sala 634, 6º andar - Santa Cecília, CEP: 97390-000, Porto Alegre-RS, Brasil. E-mail: robertovinicios86@gmail.com.
- 3 <https://orcid.org/0000-0003-4945-3169> - Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor no Instituto de Física (IF) da Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brasil. Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP:70910-900, Brasília-DF, Brasil. E-mail: marcellof@unb.br.





debris, its origins, and impacts to develop hypothetical mitigation strategies. The research is translational, grounded in Ausubel's contributions and those of collaborators and interpreters of meaningful learning. It is structured as an investigative, interdisciplinary, and digitally mediated didactic sequence of ten lessons. Procedurally, actions included surveying subsumers, advanced organization, conceptual explorations, simulations, debates, and group projects, culminating in presentations of innovative solutions. The teacher-researcher fully mediated and supervised the process through strategic planning and approaches that promote discursive development and autonomy. The evaluation employed instruments and indicators aligned with the objectives and theoretical framework. Results showed advances in reflective, creative, and critical thinking, enhanced argumentation, improved student cooperation, and evidence of meaningful learning. Limitations and future research directions include the need for multimethod approaches, broader scope and sample size, longitudinal analyses, and model refinement through testing in various contexts. This research's praxeology contributes to developing interdisciplinary approaches to science education.

KEYWORDS: elementary education, Physics, Gravitation, interdisciplinarity, space debris.

Introdução

Astronomia, uma das mais antigas ciências da humanidade, é responsável por milênios de observações do céu e por grandes avanços sociais. Dentre outras de suas contribuições, o homem pôde determinar a época mais propícia para o início do plantio e para a colheita e o tempo mais apropriado para a caça e a pesca, em decorrência de melhor entendimento acerca das estações do ano. Ela também é responsável pela elaboração de calendários complexos, baseados nos movimentos cíclicos dos planetas, tema que faz parte do imaginário popular e desperta fascinação pela ciência (Couto, 2020). Nesse espectro, o ambiente espacial, que compreende tudo que está além da atmosfera da Terra, é tema de crescente interesse à comunidade científica e a públicos amplos. Desde as históricas missões lunares, o espaço tem sido foco de interesse humano, marcado por atividades úteis ao desenvolvimento científico e tecnológico, tais como: lançamento de satélites, missões tripuladas e exploração de recursos extraterrestres. Essa relação, no entanto, impõe significativos desafios à geopolítica, como o acúmulo de lixo espacial, uma ameaça crescente para a segurança e a sustentabilidades de futuras operações espaciais (UNOOSA, 2010).

O lixo espacial é definido como qualquer objeto humano que orbita a Terra sem funcionalidade, a exemplo de detritos orbitais, fragmentos de missões ou satélites que já expiraram sua vida útil (Klinkrad, 2006). Sua presença descontroladamente crescente levanta preocupações ambientais e éticas que podem ser exploradas em contextos educativos numa perspectiva de formação científica como dispositivo cultural. De acordo com a Agência Espacial Europeia (ESA), estima-se orbitar a Terra cerca de 36.500 detritos maiores que 10 cm, 1 milhão com dimensões entre 1 cm e 10 cm e 130 milhões medindo entre 1 mm e 1 cm (ESA, 2022). Além disso, o número de satélites em órbita aumentou significativamente nos últimos anos, especialmente com o advento de megaconstelações como a Starlink⁴, da SpaceX, que, até 2023, já

⁴ Em estudos recentes, Vruno et al. (2023) e Bassa et.al. (2024) verificaram que os satélites da rede Starlink emitiam radiação eletromagnética que pode ser captada no espectro de operação de radiotelescópios instalados na Terra, ofuscando sua visão do espaço. Essa constatação



teria lançado mais de 4.000 satélites (SpaceX, 2023). As missões chinesas também contribuíram para o aumento de objetos em órbita, intensificando a preocupação com a congestão espacial (Gan, 2024).

Na Base Nacional Comum Curricular – BNCC (Brasil, 2018), o principal documento curricular brasileiro vigente, a integração do tema lixo espacial no conteúdo escolar, mesmo que indiretamente, é fundamental para mediar conhecimentos, reflexões e posicionamentos entre os estudantes. Sua adequada articulação pedagógica é potente à formação de sujeitos cientificamente cultos, conscientes, capazes de enfrentar desafios científicos, tecnológicos e ambientais do século XXI de maneira reflexiva, criativa e crítica. Isso pressupõe a adesão a uma perspectiva de ensino-aprendizagem de ciências como cultura, o que é decididamente favorecido por articulações interdisciplinares, vez que os problemas contemporâneos reivindicam tratamentos consistentes à natureza complexa e necessidade de integração de campos dos saberes – de maneira prolongada, sistemática, dedicada à solução de problemas multiaxiais e com a incorporação de epistemologias, teorias e metodologias havidas no interior das interdisciplinas (Sommerman, 2015; Silva Filho; Ferreira, 2018; Gulis *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022a).

Adotar-se-á por noção aproximativa de interdisciplinaridade a integração sistemática e prolongada entre epistemologias, teorias e metodologias de diferentes campos disciplinares articulados à solução de um problema via confluência discursiva. Além disso, o processo cognitivo associado à aprendizagem significativa será assumido como a articulação entre objetos conceituais progressivamente diferenciados ou integrativamente reconciliados, com diferentes dosimetrias de processos de ancoragem e organização avançada (Ferreira *et al.*, 2020; Ferreira, *et al.*, 2021; Silva Filho; Ferreira, 2022a). O objetivo desse amalgama teórico, como ficará evidente na proposição metodológica, é o de formular, aplicar e avaliar abordagem didática com tal articulação, buscando uma praxiologia investigativa e dialógica com vistas ao desenvolvimento de relações reflexivas, criativas e críticas que estudantes de ciências do Ensino Fundamental possam adotar em face de questões relativas ao impacto humano no ambiente espacial (Ferreira *et al.*, 2022a; Ferreira; Silva; Silva Filho, 2022; Strapasson *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2023c).

Para isso, serão articulados conhecimentos prévios de Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais, promovendo situações didáticas contextualizadas, relevantes e com potencial desenvolvimento de aprendizagens significativas (Silva Filho; Ferreira, 2018; Silva Filho; Ferreira, 2022). A epistemologia interdisciplinar como abordagem didática, portanto, configura-se como tecnologia educacional capaz de mobilizar a construção de soluções para determinada situação-problema a partir de uma interação prolongada, qualificada, organizada e que produza discurso explicativo a partir do acionamento de epistemologias, teorias e métodos de áreas distintas do conhecimento (Sommerman, 2015).

Sob esses pressupostos, a propósito de uma pesquisa translacional, este artigo busca responder à seguinte questão de pesquisa: em que medida uma sequência didática interdisciplinar, mediada por tecnologias digitais e fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, favorece a aprendizagem significativa e o desenvolvimento de pensamento reflexivo, crítico e criativo de estudantes do



9º ano do Ensino Fundamental diante da problemática do lixo espacial? Articula, para tal, epistemologias, teorias e metodologias dos referidos campos do conhecimento, com vistas à promoção de aprendizagem significativa por parte de estudantes de ciências do Ensino Fundamental, adotando ações de levantamento de subsunçores, organização avançada, incursões conceituais, simulações de fenômenos físicos, debates e desenvolvimento de projetos em grupo, com culminância em apresentações de soluções inovadoras.

Constituíram objetivos da abordagem didática: 1) compreender conceitos fundamentais: buscar compreensão sólida de conceitos de gravidade, órbitas e dinâmica espacial; 2) conectar conhecimentos: utilizar a Teoria da Aprendizagem Significativa para facilitar a assimilação e a retenção de novos conhecimentos, vinculando-os aos anteriores (Ferreira *et al.*, 2020; Ferreira; Silva; Silva Filho, 2022); desenvolver pensamentos analíticos e de modulação: estimular o pensamento reflexivo, crítico e criativo acerca das consequências das atividades humanas no ambiente espacial (Silva Filho; Ferreira, 2018); e 4) promover a interdisciplinaridade: integrar as disciplinas Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais, oferecendo aos estudantes a possibilidade de uma compreensão abrangente do problema (Sommerman, 2015; Gulis *et al.*, 2021).

A investigação é caracterizada como translacional (Couto, 2020; Ferreira *et al.*, 2023b), uma vez que se estabeleceu sob o binômio pesquisa-prática escolar com horizontalidade e retroalimentação. Procedimentalmente, estrutura-se como uma sequência didática (Ferreira; Silva Filho, 2019) que busca mobilizar aprendizagens significativas caracterizadas, fundamentalmente, pelo desenvolvimento habilidades reflexivas, criativas e críticas, incentivando postura ativa na compreensão da problemática e na atuação para a preservação sustentável do ambiente espacial. As unidades didáticas englobam exposições teóricas, demonstrações, atividades práticas, como simulações de órbitas e debates acerca de políticas de mitigação do lixo espacial, e culminam em avaliação balizada por instrumentos e indicadores conectados com os objetivos precípuos desta praxiologia.

Fundamentação teórica

A pesquisa aqui relatada fundamentou-se na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (2000) e colaboradores (Ausubel; Novak; Hanesian, 1968) e na tecnologia educacional da interdisciplinaridade, que se estabeleceu como princípio metodológico essencial para o ensino de temas complexos de largo espectro de imbricamentos, como é o caso do impacto de atividades humanas no ambiente espacial.

Segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa, novos conhecimentos se tornam estáveis quando se ancoram, de modo não arbitrário e substantivo, em conceitos relevantes já presentes na estrutura cognitiva. Para viabilizar a ancoragem, operam-se organizadores avançados (expositivos ou comparativos), diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Já a interdisciplinaridade, tomada como tecnologia educacional, convoca epistemologias, teorias e métodos de diferentes áreas em torno de problemas complexos, superando a fragmentação curricular. O entrelaçamento desses referenciais



sustenta experiências de ensino investigativas, contextualizadas e intelectualmente exigentes, orientadas à construção de significados, e não à mera memorização.

Breves noções da TAS

Ausubel, Novak e Hanesian (1968) e Ausubel (2000) propõem que a aprendizagem significativa ocorre quando, em dada estrutura cognitiva, novos conhecimentos se conectam de maneira não arbitrária e não literal – portanto, substantiva – aos prévios, por eles definidos como subsunçores. Estes, por seu turno, constituem-se de âncoras para a apropriação da unidade mínima da estrutura cognitiva postulada pelos autores como objeto conceitual. De fato, ao aprofundar a visão cognitiva acerca da aquisição e da retenção do conhecimento, enfatizam a importância dos subsunçores como requisitos à integração de novos conceitos.

Para que essa integração ocorra, o conteúdo deve ser organizado de maneira lógica e os sujeitos cognoscentes⁵ precisam estar motivados a assimilá-lo. Para facilitar essa integração, Ausubel introduz o conceito de organizadores avançados, materiais que possibilitam a conexão entre a estrutura cognitiva do sujeito e o novo tema, de maneira acessível e preparatória, tais como mapas conceituais, vídeos e simulações (Ausubel; Novak; Hanesian, 1968; Ausubel, 2000).

A Teoria da Aprendizagem Significativa orienta a proposta didática apresentada e refletida neste artigo, fundamentando-se em princípios que favorecem a assimilação e a retenção de conhecimentos de maneira significativa. De acordo com Silva Filho e Ferreira (2018), esse corpo teórico destaca-se por proporcionar meios de mobilização de uma compreensão mais profunda de conceitos, permitindo que estudantes construam significados a partir da interação com os conhecimentos. Em particular, são relevantes os seguintes aportes (Silva Filho; Ferreira, 2018; Silva Filho *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022a; Ferreira *et al.*, 2022b; Ferreira; Silva; Silva Filho, 2022):

- **Assimilação:** promovida ao integrar novos conhecimentos com os que os estudantes já sabem, reforçando a compreensão conceitual.
- **Subsunção:** utilização de subsunçores para conectar conceitos prévios com novas informações a eles relacionadas numa estrutura cognitiva, permitindo a incorporação de conteúdos mais complexos.
- **Aprendizagem significativa:** corresponde à configuração da estrutura cognitiva em que a assimilação favorece a compreensão e a (re)aplicação dos conhecimentos em situações-problema ou contextos diversos.
- **Organizadores avançados:** são adotados como estratégias para viabilizar a assimilação de novos conhecimentos, especialmente quando os subsunçores são escassos ou não estão imediatamente disponíveis. Sua função é a de facilitar a ancoragem de conceitos novos à estrutura cognitiva existente quando o hiato é intransponível por recursos usuais.

5 ²No que concerne à teoria ausubeliana, que se trata de referencial cognitivo (portanto, normativo, isto é, descritivo dos processos mentais superiores), nos referimos abstratamente a “sujeitos cognoscentes”. De fato, Ausubel não possui uma teoria dedicada ao ensino, do que decorre a decisão de não adotar a terminologia “estudantes”. Por extrapolação, os operadores da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel podem ser (e são) aplicados a situação de ensino-aprendizagem. A ressalva da não originalidade da formulação é importante, entretanto, em benefício da clareza e da licitude das asserções.



Diferenciação progressiva: processo em que conceitos básicos são gradualmente aprofundados, abordando tópicos mais complexos ao longo da sequência didática. Aliada à interdisciplinaridade, enriquece o processo de ensino-aprendizagem e favorece a integração de diferentes áreas do conhecimento para a construção de soluções em situações-problema.

Reconciliação integradora: ocorre quando novos conceitos, ao serem incorporados à estrutura cognitiva, são harmonizados com as ideias pré-existentes, evitando contradições e promovendo um entendimento mais coeso do conhecimento. Nesse sentido, ela atua na resolução de conflitos conceituais, ajustando e ampliando a estrutura cognitiva para acomodar as novas informações, possibilitando que o estudante estabeleça conexões mais significativas entre diferentes tópicos e áreas do saber.

Sequências didáticas: nas suas mais diversas configurações, apoiadas por abordagens investigativas e interdisciplinares e mediadas por tecnologias digitais, favorecem a aprendizagem significativa.

A abordagem interdisciplinar articulada à Teoria da Aprendizagem Significativa é essencial para tratar da complexidade do tema do lixo espacial, que envolve Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais, potencializando a aprendizagem significativa (reflexiva, criativa e crítica) por parte dos estudantes. Essa praxiologia contribui, como conhecimento e como dispositivo cultural, para a formação de cidadãos conscientes e críticos das determinações, dos desafios e das alternativas às contemporâneas questões científicas, tecnológicas e ambientais.

Interdisciplinaridade no contexto educacional

A interdisciplinaridade é uma abordagem propícia para a compreensão de problemas contemporâneos que envolvem múltiplas áreas de conhecimento e respectivas epistemologias, teorias e metodologias (Sommerman, 2015). No caso do lixo espacial, permite integrar, não exaustivamente, conhecimentos de Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais, promovendo uma visão abrangente e contextualizada. Segundo Thiesen (2008), no âmbito educacional, a interdisciplinaridade é essencial para superar a fragmentação do conhecimento e oferecer formação integrada e coerente, crucial para que os estudantes compreendam as causas e consequências do lixo espacial e participem ativamente na discussão de soluções alternativas e sustentáveis. O estudo de Thiesen (2008) ressalta que a interdisciplinaridade deve ser tomada como uma possível atitude pedagógica que permeia processos de ensino-aprendizagem, desde a organização curricular, passando pela metodologia e chegando à avaliação.

Integrar Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais na abordagem do lixo espacial oferece aos estudantes uma visão amplificada e prática dos problemas, preparando-os para lidar com os desafios de maneira bem informada, reflexiva, criativa e crítica (Thiesen, 2008). Exemplos de articulações dessa natureza em outros temas e contextos estão desenvolvidos e detalhados, por exemplo, em Pinheiro *et al.* (2019), Vania *et al.* (2019) e Gulis *et al.* (2021).



Integração entre a TAS e a Interdisciplinaridade como abordagem didática

A combinação da Teoria da Aprendizagem Significativa com a interdisciplinaridade como abordagem didática fortalece a intencionalidade de promover aprendizagens efetivas e conectadas à realidade. Ausubel (2000) fornece a base para a assimilação de conhecimentos; já a interdisciplinaridade, como tecnologia educacional que busca concretizar uma concepção de aprendizagem e uma norma ou diretriz pedagógica, direciona essa assimilação para contextos e problemas aplicáveis.

Por exemplo, e buscando uma simplificação argumentativa para as finalidades de justificação da perspectiva interdisciplinar aqui adotada, ao abordar o lixo espacial, os estudantes utilizam epistemologias (maneiras e regras de definição das verdades no interior de um campo disciplinar), teorias (leis, axiomas, corolários, conceitos etc.) e métodos (técnicas e procedimentos de acesso aos conhecimentos) de Física para entender as órbitas; de Ciências Ambientais, para compreender o ambiente e suas interveniências; de Engenharia, para debater o *design* de satélites e processos tecnológicos e de otimização; de Ética, para refletir acerca dos deveres de conservação do ambiente espacial; e das Políticas Internacionais, para mediar os elementos que dizem respeito à geopolítica, à soberania das nações e aos impactos globais desse objeto. Essa integração prática favorece o desenvolvimento de habilidades reflexivas, criativas e críticas, incentivando os estudantes a aplicarem seus conhecimentos para postular, mesmo que hipoteticamente, aspectos que perpassam possíveis enfrentamentos, mitigações ou soluções de problemas concretos e transnacionais, construindo aprendizagens significativas. O Quadro 1 a seguir traz a correlação entre os aportes da Teoria da Aprendizagem Significativa e os tipos de atividades utilizados no decorrer da sequência didática aplicada aos estudantes.

Quadro 1. Correlação entre aportes da TAS e atividades da Sequência Didática.

| Aportes da TAS | Atividades da Sequência Didática |
|-----------------------------------|--|
| Assimilação | Integração de novos conhecimentos acerca da gravidade e de órbitas com aqueles que os estudantes já sabem, por meio de aulas expositivas e simulações interativas. |
| Subsunçores | Utilização de conceitos pré-existentes em Física para conexão com o tema do lixo espacial, como nas atividades práticas de simulação de órbitas e dinâmica espacial. |
| Organizadores Avançados | Uso de vídeos explicativos e materiais introdutórios nas primeiras aulas para preparar os estudantes para os novos conteúdos relacionados à gravidade e ao ambiente espacial. |
| Diferenciação Progressiva | Aprofundamento gradual dos conceitos, iniciando com fundamentos da força gravitacional, passando pelas órbitas dos planetas e avançando para temas complexos como políticas de mitigação do lixo espacial. |
| Reconciliação Integradora | Novos conceitos são harmonizados com as ideias pré-existentes, ajustando e ampliando a estrutura cognitiva para evitar contradições e promover conexões significativas. |
| Aprendizagem Significativa | Realização de projetos de grupo nos quais os estudantes desenvolvem soluções hipotéticas para a questão do lixo espacial, relacionando teoria e aplicação. |

Fonte: elaboração própria (2025).



Método

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa translacional (Couto, 2020; Ferreira *et al.*, 2023b), que visa aplicar conhecimentos teóricos (desenvolvidos cientificamente, em pesquisa básica e/ou aplicada) em contextos práticos (isto é, de que provêm e a que se destinam suas premissas e seus resultados), de maneira horizontal e retroalimentadora, neste caso utilizando fontes de pesquisa acadêmica, provenientes da universidade, e o ambiente escolar, para desenvolver abordagem educativa significativa acerca do problema do lixo espacial. Trata-se de um tipo de pesquisa que busca trazer para o contexto real de sala de aula os estudos e avanços no âmbito dos diversos referenciais teóricos existentes na literatura de modo a produzir uma retroalimentação que envolve pesquisa, desenvolvimento de material instrucional, aplicação, análise e revisão do que foi produzido.

A pesquisa translacional, neste contexto, refere-se à assunção de questões de contextos de práticas, o desenvolvimento e a aplicação de conhecimentos teóricos em ambientes educacionais, transformando descobertas científicas em estratégias pedagógicas efetivas, preservando a igualdade de importância dos sujeitos e das instituições envolvidas, dando retorno à pesquisa básica e subsidiando a melhoria do ambiente de investigação e dos problemas que o atingem (Ferreira; Silva & Silva Filho, 2022). Busca, em síntese, o ensino de teorias e a construção problematizada de um conhecimento aplicável e relevante para os estudantes, facilitando a compreensão e a mitigação de situações complexas da atualidade, como é o caso do manejo do lixo espacial.

Sequência Didática

Uma sequência didática caracteriza-se como uma coleção organizada de atividades de ensino-aprendizagem, planejadas de maneira progressiva, com o objetivo de desenvolver determinados conhecimentos e habilidades nos estudantes (Ferreira; Silva Filho, 2019). Nesta pesquisa translacional, foram planejadas e desenvolvidas dez aulas voltadas ao Ensino Fundamental, com enfoque interdisciplinar e fundamentação teórica na Teoria da Aprendizagem Significativa (Silva Filho & Ferreira, 2018; Silva Filho *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022a; Ferreira *et al.*, 2022b; Ferreira; Silva & Silva Filho, 2022).

Ela foi estruturada para engajar os estudantes em um conjunto de atividades que exploram epistemologias, teorias e metodologias de Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais aplicadas ao problema do lixo espacial. Cada aula inclui diferentes estratégias de ensino e atividades práticas:

- Aulas expositivas teóricas: focadas na introdução e explicação dos conceitos básicos de gravidade, órbitas e tipos de lixo espacial, complementadas com recursos audiovisuais.
- Atividades práticas e simulações: uso de softwares de simulação para demonstrar a dinâmica de órbitas e o comportamento do lixo espacial, permitindo que os estudantes visualizem e interajam com os conceitos de maneira prática.



- Debates e discussões guiadas: interações discursivas acerca das implicações éticas e políticas do lixo espacial, incentivando a reflexão, o diálogo de ideias e a crítica entre os estudantes.
- Projetos em grupo: desenvolvimento, em grupo, de propostas para mitigar o lixo espacial, aplicando os conhecimentos adquiridos em atividades colaborativas.
- Apresentações finais: cada grupo apresenta suas soluções, exercitando habilidades de argumentação e cooperação, além de promover a trocas de conhecimentos entre os participantes.

Os procedimentos foram fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa, que destaca a importância da conexão entre os novos conhecimentos e os conceitos já presentes na estrutura cognitiva dos estudantes. A combinação de exposições teóricas, atividades práticas, debates e projetos de grupo visa promover uma aprendizagem significativa e integrada, na qual os estudantes podem desenvolver tanto conhecimento teórico quanto habilidades práticas e reflexivas. A interdisciplinaridade, por seu turno, colaborou com o emprego de instrumentos de validação de conhecimentos, aparato teórico (conceitual) e meios específicos de acesso ao conhecimento de parte de cada campo disciplinar envolvido.

O processo foi integralmente mediado e acompanhado pelo professor-pesquisador a partir de um planejamento estratégico e com a adoção de estratégias de desenvolvimento discursivo e de autonomia (Strapasson *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2023a). A avaliação adotou instrumentos e indicadores pertinentes aos objetivos e ao referencial teórico elegido. Os resultados destacam avanços no pensamento reflexivo, criativo e crítico, qualificação da argumentação e da cooperação entre os estudantes e indícios de aprendizagem significativa.

Instrumentos e Indicadores de Avaliação

Os instrumentos e os indicadores de avaliação utilizados foram desenhados para captar diferentes dimensões do aprendizado dos estudantes ao longo da sequência didática, incluindo:

Resumos: em cada aula, os estudantes produziram sínteses acerca dos principais conceitos discutidos, amalgamando ideias e demonstrando sua compreensão. A análise dos resumos considerou a habilidade do estudante em conectar o novo conteúdo a conhecimentos pré-existentes, conforme defendido por Ausubel, avaliando-se a coerência, clareza e completude das ideias, bem como a presença de conceitos-chave.

Apresentações: os estudantes participaram de apresentações individuais e em grupo, explicando conceitos e propondo soluções para os desafios relacionados ao lixo espacial. A avaliação das apresentações ocorreu a partir do discurso oral dos estudantes, buscando verificar se as explicações estavam ancoradas em conhecimentos prévios (subsunçores) e se havia evolução cognitiva na direção da aprendizagem significativa. Além disso, foram considerados aspectos de argumentação, clareza, uso adequado dos conceitos e fundamentação teórica inspirada nos aportes de Ausubel.

Interação com simulações: a interação com simuladores digitais, como os da plataforma PhET-Colorado, permitiu aos estudantes explorar e manipular parâmetros em atividades práticas, conectando os fenômenos observados à teoria. As simulações atuaram como organizadores avançados, auxiliando



na formação dos subsunçores necessários à assimilação de novos conceitos. O registro e a análise do desempenho dos estudantes nas simulações buscaram evidências da compreensão dos fenômenos, da capacidade de relacionar as variáveis envolvidas e de efetivamente conectar o conhecimento teórico às situações práticas observadas.

Para buscar indícios da ocorrência da aprendizagem significativa e do desenvolvimento de pensamento crítico, foram adotados indicadores fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa. As evidências foram coletadas durante as apresentações, os debates, as interações com simulações e as produções de resumos, considerando se os estudantes:

- Ancoravam o novo conhecimento em conceitos já existentes (indício potencial de aprendizagem significativa).
- Desenvolviam argumentações coerentes, embasadas e críticas durante os debates (indicador do pensamento crítico).
- Utilizavam as simulações de maneira ativa, modificando parâmetros e interpretando resultados para além da memorização de fatos (indício de aprendizagem significativa).

O papel das simulações foi, assim, o de fornecer um arcabouço conceitual (organizador), favorecendo o surgimento de subsunçores cognitivos que permitissem ao estudante estabelecer conexões entre o conhecimento prévio e o novo conteúdo. A avaliação do pensamento crítico considerou a habilidade de questionar ideias, avaliar evidências e propor soluções factíveis, sempre conectando as noções trabalhadas de maneira interdisciplinar.

Caracterização da amostra e do contexto escolar

A amostra desta pesquisa compreende 87 estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública do município de Santo Antônio do Descoberto, localizada no estado de Goiás. Com idades entre 14 e 18 anos, provêm de diferentes bairros da cidade, o que dificulta uma compreensão precisa de todas as limitações socioeconômicas. O contexto escolar pós-pandemia de Covid-19 e a precariedade do sistema educacional, a despeito de avanços em indicadores como o IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica), que passou de 3,5 em 2021 para 4,2 em 2023, não traduz precisamente a complexa realidade escolar, marcada por carências estruturais, problemas pedagógicos e poucos dados oficiais.

Muitos estudantes precisam se deslocar utilizando transporte escolar, devido à distância entre suas residências e a escola, reforçando as dificuldades de acesso e permanência. Essas características do contexto, embora não possam ser controladas, foram consideradas no desenvolvimento da sequência didática. A heterogeneidade do grupo e as condições socioeconômicas complexas serviram de referência para a análise dos resultados obtidos, uma vez que tais fatores podem influenciar o engajamento, a motivação, o repertório de conhecimentos prévios e a qualidade da interação com as atividades propostas.



Conteúdos Curriculares Desenvolvidos

Os principais conteúdos curriculares abordados na sequência didática de que aqui se trata incluem: gravitação, incluindo conceitos de força gravitacional e Lei de Newton; órbitas, incluindo Leis de Kepler e dinâmicas de órbitas elípticas; sistema solar e sua dinâmica; espaço e lixo espacial, sua origem, tipos, consequências e estratégias de mitigação; elementos de ciências ambientais; noções de ética; e noções de geopolítica e de relações internacionais.

Essas escolhas de conhecimentos visaram fornecer visão integrada de fenômenos físicos e suas implicações científicas, tecnológicas, ambientais, éticas e políticas.

Proposição Didática

A sequência didática desenvolvida é composta de dez aulas interativas, organizadas de maneira progressiva, que exploram a interdisciplinaridade entre Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais.

No Quadro 2, a seguir, apresenta-se a descrição sucinta dos conhecimentos interdisciplinares, dos aportes da Teoria da Aprendizagem Significativa, das atividades e das avaliações.

Quadro 2. Correlação entre conhecimentos interdisciplinares, TAS, atividades e avaliações.

| Aspecto | Descrição |
|-------------------------|--|
| Conteúdos | Gravitação (Lei de Newton), Órbitas (Leis de Kepler), Sistema Solar, Lixo Espacial (origem, tipos, consequências e mitigação), Ciências Ambientais, Ética e Relações Internacionais (Geopolítica). |
| Interdisciplinas | Física, Astronomia, Ciências Ambientais, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais. |
| Aportes da TAS | <ul style="list-style-type: none">• Assimilação: integração de novos conceitos com conhecimentos prévios.• Subsunção: conexão entre conceitos prévios e novos.• Aprendizagem significativa: Atividades investigativas e práticas.• Organizadores avançados: recursos como vídeos, textos e simulações.• Diferenciação progressiva: aprofundamento gradual dos tópicos.• Reconciliação integradora: harmonização de conceitos para evitar conflitos e enriquecer a compreensão global. |
| Atividades | <ul style="list-style-type: none">• Aulas expositivas: explicação de conceitos básicos com recursos audiovisuais.• Atividades práticas e simulações: visualização e manipulação dos conceitos.• Debates: discussões acerca de implicações éticas e políticas.• Projetos em grupo: propostas colaborativas para mitigar o lixo espacial.• Apresentações finais: compartilhamento de soluções e trocas de conhecimentos. |
| Avaliações | <ul style="list-style-type: none">• Resumos: síntese dos conceitos discutidos.• Apresentações: explicação e proposição de soluções com fundamentação teórica.• Interação com simulações: manipulação de parâmetros e conexão com a teoria. |

Fonte: elaboração própria (2025).



Objetivos Educacionais da Sequência Didática

A sequência didática desenvolvida visa:

- Enriquecer, como dispositivo de cultura, o conhecimento científico dos estudantes em relação aos problemas espaciais contemporâneos.
- Desenvolver habilidades críticas, como argumentação, análise reflexiva, crítica e capacidade de cooperação.
- Promover a interdisciplinaridade ao integrar Física, Astronomia, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais, oferecendo compreensão ampla do impacto humano no espaço e incentivando os estudantes a proporem soluções sustentáveis para o problema do lixo espacial.

Descrição das aulas

As dez aulas que compõem a sequência didática proposta são assim sintetizadas no Quadro 3:

Quadro 3. Descrição das aulas da sequência didática.

| Aula | Descrição |
|---|--|
| Questão motivadora para as aulas de 1 a 4: Como funciona a dinâmica do sistema solar? | |
| 1 | Introdução ao conceito de gravidade com base na Lei da Gravitação Universal, integrando simulações de órbitas (Engenharia) e reflexões éticas acerca do ambiente espacial. |
| 2 | Aplicação das Leis de Kepler com destaque para as órbitas elípticas e suas implicações políticas e internacionais. |
| 3 | Exploração do Sistema Solar e dinâmicas dos corpos celestes, integrando Astronomia e Ciências da Terra. |
| 4 | Revisão e aprofundamento dos conceitos fundamentais com ênfase na conexão entre subsunçores e novos conceitos. |
| Questão motivadora para a aula 5: Qual é o impacto do lixo espacial na nossa vida? | |
| 5 | Introdução ao lixo espacial, abordando tipos e origens, conectando Física e Engenharia para propor soluções práticas. |
| Questão motivadora para a aula 6: Como podemos solucionar ou, ao menos, minimizar a questão do lixo espacial? | |
| 6 | Tecnologias de mitigação do lixo espacial, como lasers e satélites de serviço, e suas relações com Políticas Internacionais. |
| Questão motivadora para as aulas de 7 a 10: Como as políticas públicas, em âmbito internacional, poderiam tentar solucionar o problema do lixo espacial? | |
| 7 | Discussão acerca de regulamentações internacionais e deveres éticos no gerenciamento do lixo espacial. |
| 8 | Análise de casos reais de colisões orbitais com simulações práticas acerca das consequências do acúmulo de lixo espacial. |
| 9 | Ampliou-se a análise para estratégias cooperativas entre nações para mitigar os impactos do lixo espacial. |
| 10 | Debate final e apresentação de projetos integrando conceitos teóricos e práticos com avaliação da aplicabilidade em cenários reais. |

Fonte: elaboração própria (2025).



Como recursos para a execução das aulas, foram utilizados materiais comuns às salas de aula em geral, tais como quadro e pincel, além de equipamento multimídia do tipo *datashow* e TV, computadores do tipo *Chromebook*, vídeos em acesso aberto no *YouTube* e simulações computacionais oriundas da plataforma Phet Colorado.

Instrumentos e indicadores de avaliação da sequência didática

Como instrumentos de avaliação, foram utilizadas todas as atividades produzidas pelos estudantes no decorrer da sequência didática, incluindo os questionários, as anotações, as apresentações e os debates realizados. De modo a complementar os dados obtidos, também foram utilizados os comentários e questionamentos orais feitos.

Como indicadores da aprendizagem, globalmente, e em cada aula particular, a avaliação da sequência didática e da aprendizagem adotam:

- Por dimensão: os antecedentes, as condições, a mediação, o progresso e o desenvolvimento de conhecimentos.
- Por instrumentos: atividades em grupo mediadas, simulação, argumentação científica e proposição de soluções ao problema apresentado.
- Por indicadores, conforme a Teoria da Aprendizagem Significativa, classificando as explicações induzidas dos estudantes em:
 - explicação não fornecida (resposta inexistente ou em branco);
 - explicação incorreta ou absurda (absolutamente divergentes do conhecimento visado);
 - explicação parcialmente correta (com erros moderados e princípios de compreensão significativa, ainda que lacunar); ou
 - explicações completas e coerentes (demonstrando a capacidade de aplicar corretamente os conceitos discutidos, isto é, condizentes com o padrão esperado, contendo indícios sustentáveis de aprendizagem significativa).

De maneira mais ou menos explícita nos resultados e nas análises, essa perspectiva esteve todo o tempo presente no desenvolvimento e na avaliação da sequência didática.

Resultados e análises

Análise geral

Após a aplicação das aulas, todo o material foi reunido e analisado de forma conjunta, de modo a se obter, ao final, uma análise qualitativa e geral da aplicação da sequência didática. Para tanto, observou-se as respostas dadas nos questionários realizados, a qualidade das apresentações, os argumentos utilizados



nos debates e, de forma transversal, o interesse demonstrado pelos estudantes durante a realização das atividades. Seguem-se, no Quadro 4, as descrições e as análises gerais para cada aula.

Quadro 4. Síntese dos resultados, atividades e conexões pedagógicas da sequência didática.

| Aula | Descrição | Atividades | Resultados Observados | Conexões com a TAS |
|------|---|---|---|--|
| 1 | Introdução à gravidade e movimento orbital com base na Lei de Newton. Utilização de simuladores digitais para explorar parâmetros gravitacionais. | Atividades práticas, discussão em grupo, resumos e apresentações. | Boa compreensão conceitual; grande engajamento; ideias criativas acerca da relação entre gravidade e vida cotidiana. | Subsunçores: conexão com forças pré-existentes. Organizadores avançados: vídeos e simuladores. Aprendizagem significativa: integração de teoria e prática. |
| 2 | Leis de Kepler e aprofundamento das órbitas planetárias. Abordagem prática com gráficos e simulações para explorar as Leis de Kepler. | Manipulação de simuladores, análise de gráficos, discussões e apresentações. | Compreensão básica das Leis de Kepler; engajamento em simulações; conexão com exploração espacial. | Subsunçores: conexão com Aula 1. Organizadores avançados: diagramas e simulações. Aprendizagem significativa: consolidação de conceitos teóricos. |
| 3 | Exploração do Sistema Solar e dinâmicas orbitais. Foco em massas, velocidades e interações gravitacionais. | Simulações, análise comparativa de órbitas, discussão em grupo e resumos. | Compreensão intermediária; dificuldades com órbitas elípticas; discussões produtivas acerca do impacto gravitacional. | Subsunçores: integração com conceitos anteriores. Organizadores avançados: vídeos e gráficos. Aprendizagem significativa: aplicação prática dos conceitos. |
| 4 | Características físicas dos planetas: massa, composição e habitabilidade. Exploração de relações entre gravidade e atmosfera. | Simulações digitais, análise de excentricidade orbital e debate acerca da habitabilidade. | Boa assimilação conceitual; engajamento nas simulações; lacunas na compreensão de condições para habitabilidade. | Subsunçores: reforço de conceitos prévios. Organizadores avançados: gráficos e vídeos. Aprendizagem significativa: integração entre teoria e prática. |
| 5 | Revisão dos conceitos do Sistema Solar e aplicação prática por meio de projetos em grupo e quiz interativo. | Quiz, mini-pesquisa em grupo, apresentação de projetos. | Progresso conceitual; engajamento elevado; apresentações claras, mas com lacunas em conceitos complexos. | Subsunçores: consolidação de subsunçores anteriores. Organizadores avançados: quiz como diagnóstico. Aprendizagem significativa: aplicação prática em projetos. |
| 6 | Introdução ao lixo espacial: origens, composição e impactos. Análise de distribuição e riscos de colisão em simulações práticas. | Observação em sites, análise de cenários de colisão, discussão em grupo e resumos. | Boa compreensão inicial; interesse em medidas de mitigação; discussões acerca da responsabilidade global. | Subsunçores: conceitos de gravidade e órbitas como base. Organizadores avançados: vídeos e gráficos. Aprendizagem significativa: observações concretas e contextualizadas. |
| 7 | Tecnologias de mitigação do lixo espacial, como redes e lasers. Discussão de estudos de caso e avaliação de estratégias em simulações. | Simulações, análise de estudos de caso, debates em grupo e resumos. | Compreensão crítica das tecnologias; interesse elevado; ideias criativas acerca de soluções futuras. | Subsunçores: integração com lixo espacial e tecnologias. Organizadores avançados: estudos de caso. Aprendizagem significativa: análise crítica e debates produtivos. |



| | | | | |
|----|---|--|--|--|
| 8 | Políticas internacionais para a gestão do lixo espacial. Exploração de tratados e cooperação entre nações por meio de debates simulados. | Debate simulado, análise de tratados e negociações de propostas. | Boa compreensão de governança internacional; engajamento no debate; propostas viáveis e inovadoras. | Subsunçores: conexão com impactos do lixo espacial. Organizadores avançados: tratados internacionais. Aprendizagem significativa: integração de teoria e práticas políticas. |
| 9 | Impactos do lixo espacial em satélites e missões espaciais. Análise de dinâmicas orbitais e estratégias para minimizar os riscos de colisões. | Simulações de órbitas, discussão acerca de estratégias de mitigação. | Compreensão básica; engajamento com simulações; sugestões inovadoras, como uso de IA para monitoramento de detritos. | Subsunçores: reforço de conceitos anteriores. Organizadores avançados: dados reais em slides. Aprendizagem significativa: contextualização prática de cenários reais. |
| 10 | Debate final acerca da mitigação do lixo espacial, consolidando conhecimentos teóricos e práticos e promovendo cooperação global. | Revisão inicial, debate simulado, reflexão em grupo. | Compreensão sólida; alta participação; propostas criativas, como tecnologias robóticas para remoção de detritos. | Subsunçores: integração de conceitos acumulados. Organizadores avançados: revisão inicial. Aprendizagem significativa: consolidação e aplicação prática interdisciplinar. |

Fonte: elaboração própria (2025).

Todas as simulações utilizadas provieram da plataforma PhET-Colorado. Os estudantes as analisaram em grupos, produzindo, assim, resumos de cada uma.

Nessa seção, são analisadas algumas transcrições retiradas das atividades feitas pelos estudantes. Esses excertos foram selecionados por serem representativos dos resultados gerais obtidos a partir da aplicação da sequência didática.

[Excerto 1 — aluno A, Aula 2]

“Quando o planeta chega mais perto do Sol (periélio) ele anda mais rápido, e quando vai pra longe (afélio) fica mais devagar. Acho que é porque a força que puxa é maior quando a distância diminui. Isso explica por que a órbita é uma elipse e não um círculo perfeito.”

O estudante acerta ao relacionar periélio/afélio com variação de velocidade e intensidade da atração; há boa ancoragem em gravidade e forma elíptica. Falta tornar explícitas a **conservação do momento angular** e a **lei das áreas** como fundamento formal. Encaminhamento sugerido: inserir diagrama simples , , e uma fraseponte sobre **velocidade areolar constante**. **Nível: parcialmente correto.**

[Excerto 2 — dupla B, Aula 6]

“No simulador deu pra ver que em órbita baixa tem muito mais pedaços soltos. Se bater em um satélite de internet ou de clima pode dar prejuízo grande. Acho que todos os países deviam ajudar a monitorar e tirar os lixos, porque o espaço é usado por todo mundo.”

A dupla integra observação do simulador a riscos reais e à necessidade de **corresponsabilidade internacional** — diagnóstico pertinente. Carece de precisão terminológica (nomear **LEO/MEO/GEO**) e **critérios de priorização** (risco, massa, probabilidade de colisão). Encaminhamento sugerido: acrescentar



uma tabela breve de **regimes orbitais** e um critério simples de **priorização por risco**. **Nível: parcialmente correto.**

[Excerto 3 — grupo C, Aula 10]

“Nosso projeto é um satéliteserviço que chega perto do detrito devagar, gruda com um sistema magnético e depois liga uma propulsão fraca pra fazer o objeto descer. A ideia é gastar pouca energia e não criar mais pedaços. Dá pra usar em mais de um lixo se o satélite tiver combustível suficiente.”

A proposição do grupo é criativa e plausível (captura + desorbitação com baixo empuxo), articulando segurança e eficiência. Ponto crítico: **acoplamento magnético** limitase a alvos ferromagnéticos; há **tumbling** do detrito e necessidade de controle fino de aproximação. Encaminhamento sugerido: comparar, em 2 ou 3 linhas, **garra/rede/adesivo/tether** e estimar Δv por alvo. **Nível: parcialmente correto.**

[Excerto 4 — aluno D, Aula 8]

“Não adianta só uma empresa limpar se outras continuam lançando e não recolhem depois. Precisava ter uma regra internacional com multa pra quem não seguir, tipo prazo pra desorbitar o satélite quando acaba a missão.”

O estudante capta o problema de **enforcement**: limpeza é inócua sem **disposição pósmissão** obrigatória. Precisa distinguir por **regime orbital** e indicar **mecanismos de verificação** (rastreamento/relato). Encaminhamento sugerido: propor regra com **prazo de desorbitamento**, órgão verificador e **sanção proporcional ao risco**. **Nível: parcialmente correto.**

[Excerto 5 — dupla E, Aula 3]

“A gravidade não some no espaço, só fica menor. É ela que faz os planetas caírem ‘de lado’ e por isso entram em órbita. Se não tivesse gravidade, os objetos iam reto e não tinha órbita nenhuma.”

A explicação da dupla é conceitualmente sólida: órbita como **queda contínua** sob gravidade, articulando **inércia** e **aceleração centrípeta**. Pode ganhar precisão indicando que **a velocidade orbital diminui com o aumento do raio**. Encaminhamento sugerido: acrescentar uma linha relacionando o raio da órbita. **Nível: completo e coerente.**

Análise Comparativa

Para além das explicações feitas anteriormente, de modo a contextualizar os desafios encontrados durante a aplicação da sequência didática, foi realizada uma comparação com o modelo teórico apresentado por Silva Filho e Ferreira (2022) acerca do levantamento e da organização de subsunçores no âmbito da aprendizagem significativa. Naquele estudo, os autores destacam a importância de um planejamento pedagógico que inclua períodos mais longos de aplicação e a organização detalhada de subsunçores para garantir a plena assimilação dos conceitos.

No presente trabalho, a duração curta da aplicação, limitada a apenas dez aulas, representou um desafio para o aprofundamento de todos os conceitos abordados, em comparação com o estudo de Silva



Filho e Ferreira (2022), que propôs intervenções educativas distribuídas ao longo de um semestre escolar. Essa limitação impactou, em especial, a capacidade, por parte de alguns estudantes, de relacionar os conteúdos teóricos com as atividades práticas.

Além disso, a desmotivação observada em alguns dos estudantes reflete as dificuldades destacadas por Ferreira *et al.* (2020), Ferreira *et al.* (2021) e em estudos análogos. Os autores apontaram que, mesmo com atividades interativas e recursos tecnológicos, o engajamento pleno dos estudantes depende de estratégias complementares, como a personalização das atividades para atender a diferentes perfis de aprendizagem. No contexto do presente estudo, atividades como debates e simulações mostraram-se eficazes para a maioria, mas permitiram observar variações significativas entre os engajamentos e as percepções de autoeficácia⁶ (Ferreira *et al.*, 2023c; Ferreira *et al.*, 2024a; 2024b).

Essas observações reforçam a necessidade de planejamento mais prolongado e estratégias adaptativas para engajar, senão todos, a maioria dos estudantes. Apesar desses desafios, os resultados gerais indicaram avanços significativos na compreensão conceitual, na argumentação e na capacidade de propor soluções interdisciplinares para o problema do lixo espacial.

Matriz de Análise Qualitativa

A seguir, no Quadro 5, apresenta-se uma matriz relacionando as evidências observadas no decorrer dos debates e das apresentações com os indicadores de avaliação revisados:

Quadro 5. Categorias, indicadores e evidências extraídas da sequência didática.

| Categoria observada | Indicador associado | Evidências e exemplos |
|---|------------------------------------|--|
| Explicações ancoradas em conhecimentos prévios | Explicação parcialmente correta | Estudantes relacionaram a gravidade aos movimentos cotidianos, utilizando subunçores para explicar órbitas e leis de Kepler. |
| Aplicação prática de conceitos em contextos simulados | Proposição de soluções ao problema | Manipulação de simuladores e propostas de mitigação para o lixo espacial baseadas em experimentos realizados. |
| Argumentação crítica na discussão de dilemas | Argumentação científica | Reflexões acerca das políticas espaciais, ponderações relativas às tecnologias e análise de riscos e benefícios de diferentes propostas. |
| Compreensão integrada de fenômenos | Desenvolvimento de conhecimentos | Conexões entre dinâmicas orbitais, variáveis climáticas e habitabilidade planetária apresentadas de forma clara e integrada. |
| Conexão de conceitos interdisciplinares | Mediação interdisciplinar | Integração de Física, Engenharia e Políticas Internacionais nas apresentações e debates. |
| Reflexões éticas e políticas acerca do lixo espacial | Reflexão crítica e ética | Discussões sobre governança global, justiça no acesso ao espaço e sustentabilidade das atividades espaciais. |

Fonte: elaboração própria (2025).

⁶ A autoeficácia pode ser entendida como a percepção de um indivíduo acerca de suas próprias capacidades em exercer determinados níveis de desempenho e tarefas que afetam suas vidas (Bandura, 1997; Ferreira et al., 2023c; Ferreira et al., 2024a; 2024b). Em Física, ela pode ser entendida como a percepção de um estudante entender e aplicar conceitos da disciplina em seu cotidiano.



As evidências qualitativas, cuidadosamente selecionadas, aduzidas dos indicadores de aprendizagem significativa propostos na fundamentação teórica, corroboram as premissas teóricas da construção da sequência didática, apontam para resultados efetivos de indícios de aprendizagem significativa por meio de atividades investigativas e interdisciplinares, sobretudo mediadas por tecnologias digitais, bem como o desenvolvimento de habilidades e competências associadas à problemática abordada.

Considerações Finais

A sequência didática interdisciplinar desenvolvida teve como objetivo promover, entre estudantes de ciências do Ensino Fundamental, compreensões aprofundadas acerca do impacto das atividades humanas no ambiente espacial, especificamente em relação ao problema do lixo espacial. Por meio da combinação entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e uma abordagem interdisciplinar, foi possível observar avanços significativos na compreensão, por parte dos estudantes, de epistemologias, teorias e metodologias – expressas nos conceitos, nos limites e nos procedimentos típicos – das disciplinas de Física, Astronomia, Engenharia, Ética e Políticas Internacionais aplicados. Ademais, observou-se desenvolvimento das habilidades de pensamento reflexivo, criativo e crítico e de interações cooperativas.

Os resultados alcançados sugerem que a integração de conteúdos científicos com discussões tecnológicas, éticas e políticas amplia o engajamento dos estudantes e contribui para uma formação mais abrangente, reflexiva e crítica. Os estudantes foram incentivados a aplicar o conhecimento teórico em problemas reais, o que reforçou suas percepções de autoeficácia e suas capacidades de conectarem conteúdos escolares à realidade e propor soluções fundamentadas e inovadoras.

No entanto, algumas limitações do estudo devem ser consideradas. A aplicação da sequência didática foi realizada em um período relativamente curto, o que pode ter impactado a assimilação mais profunda de certos conceitos. Além disso, a amostra utilizada, embora representativa dentro do contexto escolar estudado, poderia ser ampliada para permitir uma análise mais robusta dos impactos da abordagem interdisciplinar em diferentes realidades educacionais.

Como aprimoramento, parece oportuna uma agenda de pesquisa futura que compreenda estudos longitudinais, para acompanhar o impacto da sequência didática em períodos mais longos, avaliando a aquisição duradoura dos conhecimentos e o engajamento contínuo dos estudantes em relação ao tema. Novas pesquisas podem se dedicar a empregar, além da referida análise longitudinal, multimétodos, ampliar o escopo e a amostra da investigação e aperfeiçoar o modelo a partir de sua testagem e avaliação em outros temas e contextos. Além disso, em decorrência do caráter translacional da pesquisa, novas aplicações podem incorporar ajustes nas atividades de introdução e revisão, bem como um esforço particular no levantamento e na organização de subsunçores, com vistas a reduzir lacunas de entendimento entre os estudantes, garantindo amplamente sólida base conceitual para acompanhar o desenvolvimento dos conteúdos. Uma possibilidade concreta dessa ampliação de escopo é a conversão, já em curso pelos



autores, da proposta relatada neste artigo em uma WebQuest, nos termos apresentados por Ferreira *et al.* (2022b) e Silva Filho e Ferreira (2023).

Em suma, a praxiologia desenvolvida e relatada neste artigo cumpriu papel importante na formação de estudantes de maneira mais consciente e crítica em relação às questões espaciais e ambientais, em caráter investigativo, destacando-se como contribuição relevante para o ensino de ciências no Ensino Fundamental. Evidenciou, ademais, o potencial da combinação entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a abordagem interdisciplinar para promover processos de ensino-aprendizagem engajadores e significativos, mais alinhados aos desafios científicos, tecnológicos, éticos e políticos do presente e do futuro.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge**: a cognitive view. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational Psychology**: A Cognitive View. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- Bandura, A. **Self-efficacy**: the exercise of control. New York: W. H. Freeman, 1997.
- BASSA, C. G.; VRUNO, F.; WINKEL, B.; JÓZSA, G. I. G.; BRENTJENS, M. A.; ZHANG, X. Bright unintended electromagnetic radiation from second-generation Starlink satellites. **Astronomy & Astrophysics**, v. 689. p. L10, 2024. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202451856>.
- COUTO, R. V. L. **Astronomia no Ensino Médio: uma abordagem simplificada a partir da Teoria da Relatividade Geral**. 270f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacao/astronomia-no-ensino-m%C3%A9dio-uma-abordagem-simplificada-partir-da-teoria-da-relatividade>. Acesso em 18 mar. 2026.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: Educação é a base. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/bncc/>. Acesso em: 30 dez. 2024.
- FERREIRA, M.; NOGUEIRA, D. X. P.; SILVA FILHO, O. L.; COSTA, M. R. M.; SOARES NETO, J. J. A WebQuest como proposta de avaliação digital no contexto da aprendizagem significativa crítica em ciências para o ensino médio. **Pesquisa e Debate em Educação**, v. 12, p. 1-32, 2022b. <https://doi.org/10.31512/encitec.v16i2.2028>



[org/10.34019/2237-9444.2022.v12.35023](http://dx.doi.org/10.34019/2237-9444.2022.v12.35023).

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. Proposta de Plano de Aula para o Ensino de Física. **Physicæ Organum**, v. 5, p. 39-44, 2019. <https://doi.org/10.26512/2446-564X2019e23074>.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; BATISTA, M. C.; COUTO, R. V. L. Dossiê pesquisa translacional e produtos educacionais no ensino de física. **Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino (REPPE)**, v. 7, p. 1–26, 2023b. Disponível em: <https://seer.uenp.edu.br/index.php/reppe/article/view/1334>. Acesso em 18 mar 2026.

FERREIRA, M.; TAVARES, W. M.; FERREIRA, D. M. G.; ARAUJO, I. M.; SILVA FILHO, O. L.; CARNEIRO, T. C. J. Psychometric properties of a physical self-efficacy perception scale in the light of cognitive social theory. **Social Sciences & Humanities Open**, v. 7, p. 100423, 2023c. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100423>.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. 1–13, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057>.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; NASCIMENTO, A. B. S.; STRAPASSON, A. B. Time and cognitive development: from Vygotsky's thinking to different notions of disability in the school environment. **Humanities & Social Sciences Communications**, v. 10, p. 768-1–9, 2023a. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02284-8>.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; PORTUGAL, K. O.; BOTTECHIA, J. A. A.; LIMA, M. B.; COSTA, M. R. M.; FERREIRA, D. M. G.; OLIVER, N. A. D. Formação continuada de professores de Ciências em caráter investigativo, interdisciplinar e com mediação por tecnologias digitais. **Revista Brasileira da Pós-Graduação**, v. 18, p. 1–39, 2022a. <https://doi.org/10.21713/rbpg.v18i39.1971>.

FERREIRA, M.; SILVA, A. L. S.; SILVA FILHO, O. L. Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e Ensino de Ciências Pela Pesquisa (ECP): Interfaces a Partir de uma Revisão Narrativa de Literatura. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. e39001, 2022. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u11871214>.

FERREIRA, M.; ARAUJO, I. M.; SILVA FILHO, O. L.; COELHO, A. L. M. B. Análise translacional de crenças de autoeficácia na aprendizagem de Física - Parte 1. **Revista de Enseñanza de La Física**, v. 36, p. 57-71, 2024a. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v36.n2.47471>.

FERREIRA, M.; ARAUJO, I. M.; SILVA FILHO, O. L.; COELHO, A. L. M. B. Análise translacional de crenças de autoeficácia na aprendizagem de Física - Parte 2. **Revista de Enseñanza de La Física**, v. 36, p. 73-91, 2024b. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v36.n2.47472>.

GAN, N. **China unveils plans for mega satellite constellation to rival Starlink**. Atlanta: CNN, 2024. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2024/08/09/china/china-satellite-qianfan-g60-starlink-intl-hnk/index.html>. Acesso em: 4 dez. 2024.



GULIS, G.; SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M.; ANDRADE, V. C.; COSTA, M. R. M. Ensino Interdisciplinar da Fotossíntese: Interfaces entre a Aprendizagem Significativa Crítica e as Comunidades de Investigação. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, p. 89–116, 2021. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/974>. Acesso em: 18 mar 2026.

KLINKRAD, H. **Space Debris: Models and Risk Analysis**. Berlin: Springer, 2006.

PINHEIRO, L. V. R.; NISENBAUM, M. A.; PINTO, F. M. A. G.; AMARAL, J.; RIBEIRO, D. N.; ROMEU, P.; SOUZA, E. D.; FREIRE, I. M.; PALETTA, F. C. Memória Colóquios Interdisciplinares GT1 ENANCIB 2018: as mandalas da interdisciplinaridade da Ciência da Informação. **Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia**, v. 14, n. 3, p. 145-161, 2019. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-0695.2019v14n3.47246>.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. WebQuests como recurso instrucional e avaliativo em Física baseado na teoria da aprendizagem significativa. **Revista de Enseñanza de La Física**, v. 35, p. 63-75, 2023. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v35.n1.41391>.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Modelo teórico para levantamento e organização de subsunçores no âmbito da Aprendizagem Significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, p. 1–13, 2022b. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0339>.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Teorias da Aprendizagem e da Educação como Referenciais em Práticas de Ensino: Ausubel e Lipman. **Revista do Professor de Física**, v. 2, p. 104–125, 2018. <https://doi.org/10.26512/rpf.v2i2.12315>.

SOMMERMAN, A. Objeto, Método e Finalidade de Interdisciplinaridade. In: PHILIPPI JR., A.; FERNANDES, V. (Orgs.). **Práticas de interdisciplinaridade no ensino e pesquisa**. Barueri: Manole, 2015. p. 165–212.

SPACEX. **Starlink Mission**. Disponível em: <https://www.spacex.com/launches/>. Acesso em: 04 dez. 2024.

STRAPASSON, A. B.; FERREIRA, M.; CRUZ-CANO, D.; WOODS, J.; SOARES, M. P. N. M.; SILVA FILHO, O. L. The use of system dynamics for energy and environmental education. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, v. 19, p. 5, 2022. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00309-3>.

THIESEN, I. M. **Interdisciplinaridade no ensino: fundamentos e práticas**. Petrópolis: Vozes, 2008.

UNOOSA. UNITED NATIONS OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS. **Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space**. New York: United Nations, 2010.

VÂNIA, F.; RIBEIRO, G. S. F.; KAROLINE, K.; RIBEIRO, W. S.; FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. A Termodinâmica nos Veículos Automotores. **Revista do Professor de Física**, v. 3, p. 85-120, 2019. <https://www.doi.org/10.26512/rpf.v3i1.23212>.



VRUNO, F.; WINKEL, B.; BASSA, C. G.; JÓZSA, G. I. G.; BRENTJENS, M. A.; JESSNER, A.; GARRINGTON, S. Unintended electromagnetic radiation from Starlink satellites detected with LOFAR between 110 and 188 MHz. **Astronomy & Astrophysics**, v. 676, p. A75, 2023. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202346374>.