

PROPOSTA DIDÁTICA DE ASTRONOMIA NO ENSINO MÉDIO NA EPISTEMOLOGIA HIERÁRQUICA DE GAGNÉ

DIDACTIC PROPOSAL ON ASTRONOMY IN HIGH SCHOOL IN GAGNÉ'S HIERARCHICAL EPISTEMOLOGY

Marcello Ferreira¹
Taisy Fernandes Vieira²
Michel Corci Batista³
Olavo Leopoldino da Silva Filho⁴

Resumo

Este artigo relata e discute proposta didática concebida, desenvolvida, aplicada e analisada no tópico de Astronomia no Ensino Médio, com base na epistemologia de aprendizagem hierárquica de Robert Gagné. A pesquisa é de natureza translacional, fazendo recurso à metodologia da sala de aula invertida e abordagens interdisciplinares. Considerando a aprendizagem uma mudança de estado interior que se evidencia em um comportamento e em sua persistência, essa teoria instrucional está alicerçada teoricamente no behaviorismo, sob referência do estímulo resposta, e no cognitivismo, com a construção individualizada do conhecimento a partir da maturação. Em sua decorrência, foram desdobrados os nove eventos de instrução definidos na epistemologia elegida, materializados em atos de ensino e aprendizagem que compuseram seis encontros (13 horas-aula) por meio de atividades reflexivas, diversificadas e dirigidas pelos aportes da teoria. Os resultados evidenciaram que os estudantes conseguiram avançar em relação à organização hierárquica das habilidades intelectuais e possibilitaram a reflexão acerca de possíveis extensões da abordagem. Tal proposta constitui-se produto educacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no ano de 2021.

Palavras chave: Astronomia; Ensino de Física; Gagné; Pesquisa translacional; Teorias de aprendizagem.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Centro Internacional de Física, Instituto de Física, Universidade de Brasília. Bolsista de Produtividade do CNPq.

² Mestra em Ensino de Física, Doutoranda em Educação para Ciências e Professora de Física da Secretaria Estadual de Educação do Estado do Paraná.

³ Professor do programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e pesquisador do centro Internacional de Física da Universidade de Brasília.

⁴ Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Centro Internacional de Física, Instituto de Física, Universidade de Brasília.

Abstract

This paper reports and discusses a didactic proposal conceived, developed, applied and demonstrated on the topic of Astronomy in High School, based on Robert Gagné's hierarchical learning epistemology. The research is translational in nature, using flipped classroom methodology and interdisciplinary approaches. Considering learning a change in internal state that is evident in behavior and its persistence, this instructional theory is theoretically based on behaviorism, based on stimulus response, and cognitivism, with the individualized construction of knowledge from maturation. In their occurrence, the nine instructional events defined in the chosen epistemology were unfolded, materialized in acts of teaching and learning that comprised six meetings/classes (13 class hours) through reflective activities, offered and directed by the contributions of the theory. The results showed that students advanced in their relationship with the hierarchical organization of intellectual skills and enabled reflection on possible extensions of the approach. This proposal constitutes an educational product of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF) at the Federal Technological University of Paraná (UTFPR) in 2021.

Keywords: Astronomy; Physics Teaching; Gagné; Translational research; Learning theories.

Introdução

O ensino de Física na Educação Básica brasileira tem sido recorrentemente diagnosticado como precário em suas dimensões significativa e crítica (MOREIRA, 2018; FERREIRA *et al.*, 2021a; FERREIRA *et al.*, 2021b; FERREIRA; SILVA FILHO, 2021; SILVA FILHO *et al.*, 2021a; STRAPASSON *et al.*, 2022; FERREIRA; COSTA; DEMO, 2023), bem como no seu potencial investigativo e interdisciplinar (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018; SILVA FILHO *et al.*, 2018; GULIS, 2021; FERREIRA *et al.*, 2022a), não raro reduzido a objeto de treino para avaliações de diferentes naturezas (FERREIRA *et al.*, 2022b; SILVA FILHO; FERREIRA, 2021; SILVA FILHO; FERREIRA, 2023). Parte significativa desse diagnóstico se tributa ao uso intensivo do modelo tradicional de aula, fundamentado em conceitualizações operacionais e memorização de expressões matemáticas destinados singularmente à resolução de exercícios.

Essa parece ser a única condição de possibilidade em face das qualidades política e formal da educação científica no País (FERREIRA; COSTA; DEMO, 2023) e, por consequência, das proposições pedagógicas, dos currículos de referência, da formação dos professores e das condições de financiamento, infraestruturais e tecnológicas das instituições de ensino. O quadro, portanto, é dramático, pois perpassa dimensões basilares de um projeto educacional amplo e questões de

natureza pragmática, como a estrutura das aulas desenvolvidas diariamente nas centenas de milhares de escolas pelos mais de milhões de professores da Educação Básica. A intervenção naquela se dá em discussões, fóruns e práxis específicas; nesta, nas proposições educacionais que podemos conceber e desenvolver e a que podemos recorrer como estratégia – antes de tudo – de resistência e de ação produtiva. É a isso que nos dedicaremos neste artigo.

Batista, Coneglian e Rocha (2018) enfatizam que o que se presencia nos diversos contextos escolares da educação básica é a falta de interação entre os conhecimentos, com evidente fragmentação das diferentes disciplinas escolares e dos respectivos conhecimentos que, numa integração discursiva, respondem à demanda de solução significativa e crítica de problemas a partir do desenvolvimento de competências e habilidades compatíveis. É nesse sentido que Japiassu (1976), Manacorda (1991), Fazenda (2011), Gulis (2021) e Ferreira *et al.* (2022b) vêm ressaltando que o conhecimento desenvolvido em âmbito escolar, no contexto nacional, está organizado de maneira fragmentada e desconexa, colaborando na formação de sujeitos néscios, desumanizados, alienados – portanto, autômatos funcionais, precarizados em suas constituições humanas, capacidades produtivas e formações sociopolíticas e culturais. Repisamos: o quadro é dramático.

Cada drama, entretanto, convoca resistências. A produção educacional em ciências – teórica metodologicamente bem sustentada, referenciada socialmente, procedimentalmente coesa, investigativa, interdisciplinar e balizada por instrumentos e indicadores avaliativos consentâneos – é o que de mais objetivo a pesquisa translacional⁵ em ensino tem a oferecer. Muitas são as proposições possíveis, com base nos referenciais cognitivos (descritivos) ou educacionais (normativos), como vemos em Silva Filho e Ferreira (2018) e em Silva Filho *et al.* (2021). Tais possibilidades se revestem de diferentes recursos referenciais e metodológicos, cognitivista e humanistas, em variadas temáticas de física clássica ou moderna e contemporânea (FERREIRA *et al.*, 2021a; FERREIRA *et al.*, 2021b; FERREIRA *et al.*, 2021c FERREIRA *et al.*, 2022; SILVA FILHO; FERREIRA, 2021; SILVA FILHO; FERREIRA; AMORIM, 2022; STRAPASSON *et al.*, 2022).

Desse corpo praxiológico, resta unânime que sua viabilidade requer alinhamento entre uma teoria de aprendizagem (psicológica) ou educacional e uma

⁵ Conforme Ferreira *et al.*, 2022a.

metodologia – aqui tomada como conjunto de procedimentos derivados da fundamentação teórica, como precisamente discutido em Silva Filho e Ferreira (2018) e Silva Filho *et al.* (2021). Um caso bastante ilustrativo é a proposição educacional contida em Ferreira *et al.* (2021c), na qual a hierarquia cognitiva que constitui as bases epistemológicas de Gagné (1975; 1980) é associada à perspectiva sociointeracionista fazendo recurso metodológico a tecnologias digitais da informação e comunicação para ensinar eletricidade e circuitos elétricos. Essa abordagem mostrou-se válida e potente, pois acionou princípios que, como defendido inicialmente, convergem para uma didática significativa, crítica, investigativa e interdisciplinar.

A teoria psicológica de Gagné desenvolve-se na transição entre as teorias behavioristas e cognitivistas (MOREIRA, 2022). Para Gagné, a aprendizagem e seus processos se realizam na estrutura cognitiva do indivíduo, o que o distancia de perspectivas behaviorista, que, na apreciação do binômio estímulo-resposta, não admitem relevante, como modelo explicativo do comportamento respondente, o construto “mente”. Isso o leva a caracterizar sua formulação como uma teoria de processamento da informação, propondo um modelo básico de aprendizagem e memória como consequência de tal processamento e, sobretudo, de natureza hierárquica (FERREIRA *et al.*, 2021c; MOREIRA, 2022).

Dentre as possíveis maneiras de se programar uma didática alinhada com tal perspectiva, uma estratégia de ensino potencial é a sala de aula invertida (OLIVEIRA; ARAUJO; VEIT, 2016). Nela, estudantes entram em contato com os tópicos a serem discutidos em aula por meio de atividades prévias (leituras, audiência a vídeos, execução de simulações, investigações, experimentações, reflexões e exercícios etc.) (BERGMANN; SAMS, 2018; VIEIRA *et al.*, 2022). Tal metodologia se compatibiliza com a estrutura hierárquica de Gagné, ao passo que proporciona, se bem proposta e executada, interações concretas e hierárquicas de processamento da informação, levando a aprendizagens cognitivas que se evidenciam por comportamentos exteriorizados (por exemplo, nas sessões interativas em aulas).

Do ponto de vista do conteúdo específico de Física, o tópico da Astronomia tem importância acentuada, como podemos ver em Ferreira *et al.* (2021a), Batista *et al.* (2022) e Vieira; Batista; Ramos (2021), pois trata-se de conteúdo notadamente rarefeito na formação de professores de ciências e nos currículos e materiais didáticos usuais da Educação Básica, tipicamente relegado às contingências escolares (escassez de tempo, ausência de recursos para visitas a espaços formais e não

formais que abordam o tema, baixa recorrência de aparição em exames de aferição de conhecimentos nacionais e internacionais etc.). Cognitivamente, trata-se de objeto de pensamento de ordem superior capaz de subsidiar estruturas hierárquicas da aprendizagem de conceitos avançados em física e demais ciências da natureza, como o de gravitação, radiação, estudos de materiais, composição de astros, relatividade entre outros.

É com base na perspectiva hierárquica da teoria de aprendizagem de Gagné, combinada com a potencialidade do modelo de sala de aula invertida, dos objetos, métodos e finalidades da interdisciplinaridade e da adesão do tema da Astronomia que propomos o arranjo didático contido neste trabalho, com o objetivo de traçá-lo como possibilidade de reflexão, crítica, (re)uso e aperfeiçoamento – em perspectiva translacional – por pesquisadores e professores da Educação Básica dedicados à qualificação estrutural do ensino de ciências.

O ensino e a aprendizagem a partir da epistemologia hierárquica de Gagné

Segundo Moreira (2022) e Ferreira *et al.* (2021c), a epistemologia hierárquica de Gagné, em relações de ensino e aprendizagem, pode ser classificada como uma transição entre as teorias behavioristas e cognitivistas. Ela incorpora elementos de ambas e marca o deslocamento entre o ideário estímulo-resposta para outro de natureza do processamento da informação e da resposta como sua consequência observável – portanto, em algum nível, com sinalização aos processos mentais intermediários.

Para Gagné (1975; 1980), a aprendizagem é uma mudança de estado interior que se manifesta por meio da mudança de comportamento e em sua persistência (MOREIRA, 2022). Segundo Ferreira *et al.* (2021c, p. 78), ela ocorre, especificamente, quando “se pode verificar um processo de maturação, considerado como decorrente do desenvolvimento de estruturas internas que cumprem o papel de variáveis latentes da aprendizagem”.

Para Ostermann e Cavalcanti (2011), a aprendizagem na perspectiva de Gagné é ativada pela estimulação do ambiente exterior (*input*) e provoca uma modificação do comportamento que é observada como desempenho humano (*output*). Mas, ao contrário de Skinner (e de outros behavioristas), se preocupa com o processo

de aprendizagem sob a perspectiva daquilo que se realiza na mente do indivíduo, considerada mediadora entre o *input* e o *output*.

Com isso, ele distingue eventos externos e internos da aprendizagem, sendo aqueles associados à estimulação que atinge o estudante e os produtos que resultam de sua resposta e estes relacionados às atividades que ocorrem no sistema nervoso central do estudante (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2011).

Os eventos internos compõem o ato de aprendizagem e a sua série típica pode ser analisada por meio das seguintes fases: motivação (expectativa), apreensão (atenção; percepção seletiva), aquisição (entrada de armazenamento), retenção (armazenamento na memória), memorização (recuperação), generalização (transferência), desempenho (resposta) e retroalimentação (reforço).

Ainda de acordo com Gagné (1975), a aprendizagem estabelece estados persistentes, a que ele se refere como capacidades humanas (informação verbal, habilidades intelectuais, estratégias cognitivas, atitudes e habilidades motoras). Nessa linha, a aprendizagem se processualiza por eventos de estimulados externamente e que travam conflito interno não observável, porém validado por mudança persistente de comportamento – essa, sim, verificável. Tomada como força interior, busca integrar conceitos básicos das teorias comportamentais e cognitivas, o que implica diferentes níveis de aprendizado, isto é, em hierarquias graduadas segundo um critério de complexidade⁶.

Nesse contexto, Bordenave e Pereira (2004) alegam que, embora tenha adotado uma teoria eminentemente cognitivista, Gagné manteve aspectos evidentes de uma associação entre aprendizagem e comportamento (respondente), com o que insistia em atestar a aprendizagem mediante a resposta ao ato ensinado, avaliando a eficácia do comportamento como indicador de aprendizagem. É importante notar que as noções de aprendizagem se revestiram de múltiplas facetas com o avanço das ciências da cognição e dos respectivos modelos e métodos psicométricos, do que evidentemente Gagné não tratou em sua obra.

Na perspectiva gagniana, a aprendizagem ocorre na mente de cada pessoa. O processamento da informação procura, a todo ciclo de aprendizagem, indícios de

⁶ Vale aqui ressaltar que a ideia de complexidade na hierarquia de Gagné não pressupõe os elementos teóricos (conceituais), epistemológicos e metodológicos que as ciências produziram a partir da segunda metade do século XX e que se perpetuam em estudos acerca dos sistemas interagentes e das suas múltiplas intercorrências e correlações.

conceitos anteriormente adquiridos (conhecimentos dos níveis prévios da hierarquia), não estabelecendo um processo cumulativo de conhecimento, mas comutativamente complementar e aprimorado. As habilidades mais simples, que representam os pré-requisitos imediatos, podem ser analisadas para identificar aquelas ainda mais simples, reforçando a ideia de hierarquias independentemente do sentido de provisão.

A função de ensinar representa, nessa ótica, uma organização das condições exteriores próprias à aprendizagem, com a finalidade de ativar as condições internas. Cabe ao dirigente da instrução por meio dela promover a aprendizagem, que consistiria em um conjunto de eventos externos planejados com o propósito de iniciar, ativar e manter a aprendizagem do estudante.

Por se tratar de uma teoria que prevê mudança comportamental persistente, a fase da aprendizagem depende de um ou mais processos internos, que ocorrem no sistema nervoso central sob processamento e transformação da informação, até que se possa observar um desempenho compatível. Tais processos internos podem ser influenciados por eventos externos, por estimulação do ambiente do indivíduo; num sistema predominante, é o professor o agente.

Nessa perspectiva, a instrução é atividade de planejamento e execução de eventos externos à aprendizagem, com a finalidade de influenciar os processos internos para atingir determinados objetivos, isto é, capacidades a serem aprendidas. A compreensão de que a aprendizagem depende, em grande medida, dos acontecimentos que se realizam no ambiente com o qual o indivíduo interage, torna possível encará-la como uma ocorrência que pode ser examinada de perto e compreendida profundamente. Ela não é apenas o fato que se dá naturalmente; é, ademais, um acontecimento que ocorre sob determinadas condições que podem ser observadas (GAGNÉ, 1975) e, de fato, verificadas experimentalmente⁷.

É nessa perspectiva que a teoria incumbe ao professor a tarefa de promover a aprendizagem por meio da instrução, planejando-a, administrando-a e avaliando-a quanto à sua eficácia por meio de instrumentos e indicadores que indiretamente consignem a aprendizagem do estudante. As fases determinadas por Gagné servem como orientação a esse agente. Elas são baseadas nos estímulos necessários para

⁷ Essa perspectiva, vale dizer, está presente no contexto mais amplo da Teoria de Resposta ao Item (TRI), por exemplo, que justamente considera o comportamento de responder ao instrumento de avaliação um indicador de habilidades e competências que, por sua vez, representam a variável latente referida como aprendizagem.

o aparato cognitivo reter uma informação, desde a busca pela atenção, passando pela apresentação dos objetivos e a promoção da prática, até à retenção e à possibilidade de transferência do conhecimento.

Para o desenvolvimento de estratégias instrucionais, Gagné (1975) propôs que, em qualquer processo de aprendizagem, esteja presente uma sequência de nove eventos de instrução, divididos em três categorias (preparação, desempenho e transferência de conhecimento), que servem de guia para o trabalho, como mostrado no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1: Categorias e eventos instrucionais de Gagné

Categoria	Evento
Preparação	1. Ganhar a atenção
	2. Descrever os objetivos
	3. Estimular a conexão com os conhecimentos anteriores
Desempenho	4. Apresentar o material a ser aprendido
	5. Orientar a aprendizagem
	6. Propiciar o desempenho
	7. Dar <i>feedback</i>
Transferência de Conhecimento	8. Avaliar o desempenho
	9. Promover a generalização do conhecimento

Fonte: Elaboração própria (2023) a partir de Moreira (2022).

A aprendizagem, de fato, acontece sempre precedida de eventos assessórios. Segundo Gagné (1975), tal ato pode ser subdividido em sete fases que se relacionam a processos cognitivos envolvidos, como mostrados no Quadro 2.

Quadro 2: Fases do ato de aprendizagem segundo Gagné

Fases	Características
Motivação	Expectativa do estudante de ser positivamente reforçado pela aquisição do conhecimento
Apreensão	Desenvolvimento da capacidade de discriminar claramente os estímulos externos
Aquisição	Transformação de estímulos do meio em elementos mentais, como na codificação
Retenção	Passagem dos conhecimentos da memória recente para a memória de longo alcance
Rememoração	Recuperação do aprendido e transformação da codificação em comportamento
Generalização	Desenvolvimento da habilidade de articular o conhecimento em contextos diversos daquele em que foi ensinado
Desempenho	Por meio das respostas, que são comportamentos que explicitam as habilidades buscadas
Retroalimentação	<i>Feedback</i> dado pelo estudante ao processo completo de aprendizagem

Fonte: Elaboração própria (2023) a partir de Moreira (2022).

O resultado da aprendizagem, desse ângulo, deve ser entendido como um conjunto de mudanças significativas e duradouras no aprendiz. Pode-se, então, separar os resultados em cinco possíveis situações, como sintetiza o Quadro 3.

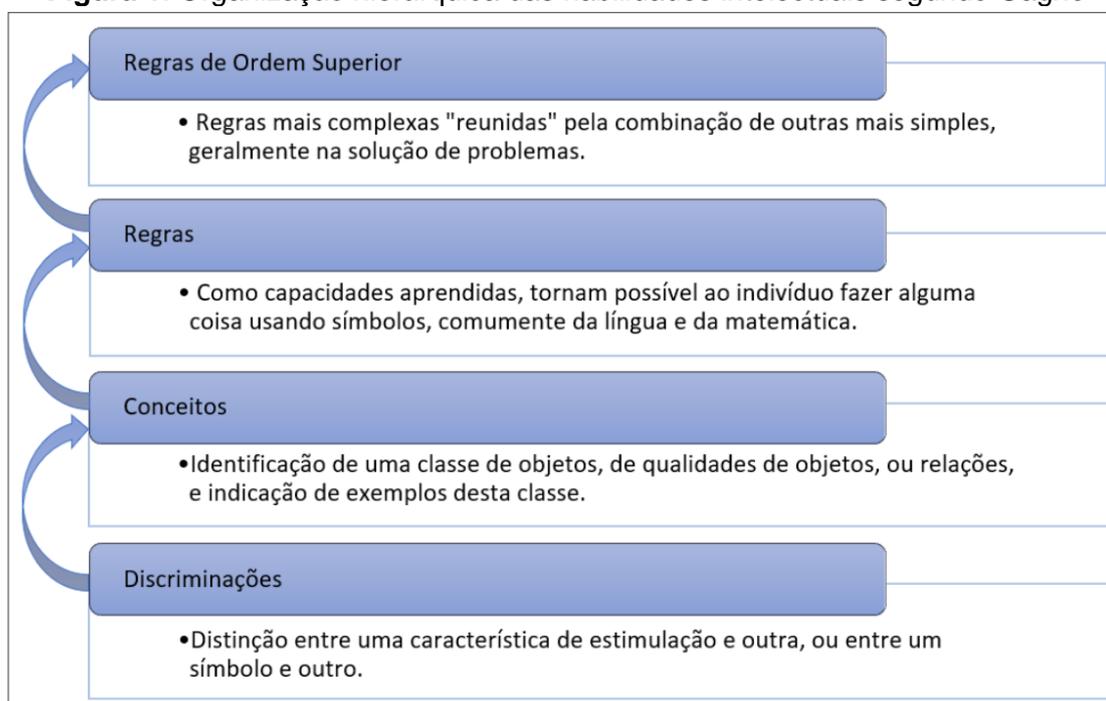
Quadro 3: Situações de aprendizagem segundo Gagné

Situações	Descrição
Informação verbal	Capacidade de se expressar utilizando as palavras ou sentenças completas.
Estratégias cognitivas	Situações internas do aprendiz que guiam as suas situações de aprendizagem.
Atitudes	Capacidades aprendidas e, por vezes relacionadas com a capacidade afetiva do indivíduo.
Habilidades motoras	desenvolvimento a partir de situações do cotidiano, como dirigir um carro, executar um trabalho, digitar rapidamente em um teclado.
Habilidades intelectuais	São separadas em tipos distintos de acordo com o grau de complexidade, porém, ainda assim são interligadas pelo simples motivo de que para se ter uma habilidade mais complexa é necessário antes adquirir habilidades mais simples.

Fonte: Elaboração própria (2023) a partir de Moreira (2022).

Dentre as cinco situações apresentadas no Quadro 3, a que trata das habilidades intelectuais é a mais importante delas quando consideramos uma cognição sofisticada. Nessa perspectiva, Ferreira *et al.* (2021c) propõem uma organização hierárquica das habilidades intelectuais, conforme Figura 1.

Figura 1: Organização hierárquica das habilidades intelectuais segundo Gagné



Fonte: Ferreira *et al.* (2021c, p. 79).

Numa leitura de baixo para cima da Figura 1, identificamos que a hierarquia de conceitos proposta por Gagné é, antes de tudo, uma hierarquia de habilidades intelectuais que iniciam por discriminações e seguem à formulação de conceitos; a partir disso, estabelece regras de nível geral que permitem a dedução ou o aglutinamento dos conceitos discriminados e podem levar à composição de regras de ordem superior, a habilidade de maior patente nesse esquema, objeto típico de uma aprendizagem hierárquica.

Na presente abordagem, a partir da descrita epistemologia de Gagné, e tomando por ilustração a gravitação universal, tema integrante do currículo usual de Física no primeiro ano do Ensino Médio brasileiro e com estruturação cognitiva hierárquica (porque dependente de discriminações, conceitos, regras de nível geral e superior de conceitos básicos como movimento, massa, centro de massa, aceleração, atração, força etc.). No arranjo didático, inicialmente estarão representados objetos concretos relevantes para o tópico escolhido, como satélites (natural e artificial) e foguete, aos quais deve-se impor uma discriminação por meio do ensino das suas características e funcionalidades (FERREIRA *et al.*, 2021b). Em seguida, serão apresentados os conceitos referentes às simbologias para, só então, estabelecer as regras importantes para a compreensão dos conceitos de forma a aplicá-los em situações de significação, consistindo, assim, nas regras de ordem superior.

Encaminhamento metodológico

A pesquisa descrita neste artigo é do tipo translacional em ensino de ciências⁸, considerada como aquela que “[...] se dá sob a integração de processos educativos, produtos e tecnologias sociais por profissional em serviço, com mediação de conhecimento acadêmico e retroalimentação, buscando analisar a interconexão dos [...] referenciais teóricos [...] e sua aplicação em contexto típico de ensino” (FERREIRA *et al.*, 2022a, p. 18). Ela se suporta procedimentalmente no desenvolvimento de uma sequência didática de caráter interdisciplinar, envolvendo Física, Astronomia, Astronáutica, Geografia, História, Sociologia e Filosofia para a formulação de resposta a uma problemática que reivindica a integração discursiva dos conceitos, das

⁸ A proposta constitui-se como produto educacional desenvolvido no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no ano de 2021 (VIEIRA, 2021).

epistemologias e das metodologias desses campos (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018; GULIS *et al.*, 2021).

A proposta está organizada para a configuração *on-line*⁹, mas suas fundamentações, características e métodos são compatíveis à execução no modelo presencial. Para a implementação, foi criada uma sala de aula virtual (no caso, o Google Sala de Aula), com o intuito de disponibilizar os materiais para leitura prévia, os vídeos, as atividades para os estudantes responderem, os roteiros de estudos e as respectivas avaliações. No Quadro 4, a seguir, encontra-se a descrição da organização de cada módulo da proposta.

Quadro 4: Módulos da proposta didática de Astronomia na epistemologia hierárquica de Gagné

Módulo	Duração (horas-aula)	Tema	Ação	Organização hierárquica
1	2	Discussão e análise do filme “Estrelas além do tempo”	Debater acerca do conteúdo do filme. Apresentar as questões norteadoras.	Discriminação
2	2	Corrida espacial: Guerra Fria e chegada do homem à Lua	Debater, em caráter interdisciplinar, o vídeo “Guerra Fria - EUA vs URSS”, do canal Nostalgia ¹⁰ .	Discriminação
3	2	Princípio de funcionamento dos foguetes: leis de Newton	Estudar as três leis de Newton aplicadas ao lançamento de foguetes.	Conceitos
4	2	História da Astronomia	Estudar os sistemas de mundo a partir da revolução científica.	Conceitos
5	2	Gravitação Universal – parte 1	Discutir as três Leis de Kepler. Realizar atividade prática para identificar a órbita elíptica do planeta.	Regras
6	3	Gravitação Universal – parte 2	Estudar o tema gravitação universal e suas implicações nos movimentos dos satélites.	Regras de ordem superior

Fonte: Elaboração própria (2023).

Com vistas a alicerçar a abordagem didática na epistemologia hierárquica da aprendizagem de Gagné, a proposta didática foi dividida em seis módulos, totalizando 13 horas-aula síncronas. O primeiro deles apresenta quatro etapas: a primeira constitui-se de um questionário que teve por objetivo identificar o conhecimento prévio

⁹ Devido ao fato de a sua concepção e implementação terem acontecido no período pandêmico da Covid-19 quando as atividades escolares do campo de aplicação foram convertidas para o formato remoto em caráter emergencial.

¹⁰ CANAL NOSTALGIA. **Guerra Fria - EUA vs URSS**. YouTube, 30 de mar. de 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=6Gi4_GJXO4I&t=75s.

acerca dos temas a serem abordados ao longo da proposta¹¹. Esta etapa foi realizada de forma assíncrona, de modo a permitir que os estudantes pudessem responder as questões no seu ritmo. Também de forma assíncrona, foi solicitado que os estudantes assistissem ao filme “Estrelas além do tempo”, disponibilizado na plataforma *on-line*. O recurso audiovisual aborda conceitos de Física, História e Sociologia, particularmente quando evidencia a luta das mulheres para conquistar espaço de destaque nas relações produtivas e ações contra a segregação racial.

Após assistirem ao filme, fez-se, de forma síncrona, uma discussão. Utilizou-se, nesse momento, de perguntas provocativas, como descrito no primeiro evento, visando obter atenção dos estudantes. Com esse objetivo, a proposta utilizou duas questões: a) vocês acreditam que o homem pisou na Lua? b) se a Terra atrai a Lua, por que a Lua não cai na Terra? Esta aula contribuiu para o reconhecimento da Lua como satélite natural da Terra, bem como para discriminar a representação de foguete, elementos que constituem a primeira etapa da organização hierárquica das habilidades intelectuais segundo Gagné.

Após apresentar as questões, foram indicados aos estudantes os objetivos da proposta de trabalho (que se constituiu como produto educacional na perspectiva da pesquisa translacional aplicada), sugerindo o que e como poderiam estudar durante a realização dos módulos, das etapas e das atividades propostas, em todos os casos evidenciando o seu caráter interdisciplinar. A indicação do objeto de aprendizagem e de suas possibilidades de utilização do conhecimento caracterizam o segundo evento de Gagné – essa etapa constituiu-se do módulo 2: “Corrida espacial: Guerra Fria e chegada do homem na Lua”, que teve ainda por finalidade discriminar os elementos fundamentais (Lua, satélite artificial e foguete) para a sequência do trabalho, bem como fomentar uma abordagem interdisciplinar do assunto discutido.

O terceiro evento de Gagné visa estimular a conexão com o conhecimento anterior – neste caso, o pré-requisito foram noções básicas de operações matemáticas, velocidade e aceleração, retomados verbalmente. Os três eventos iniciais compreendem a etapa de preparação do estudante para o que se pretende ensinar.

¹¹ Segundo Ferreira *et al.* (2021c), é importante que a, partir do conhecimento prévio dos estudantes, e respeitando suas concepções anteriores, seja construída uma formulação pedagógica que leve em consideração as hierarquias propostas por Gagné, conforme Figura 2.

Os quatro eventos sequenciais (4, 5, 6 e 7), conforme Quadro 1, estão relacionados com o desempenho dos estudantes; neles, o professor apresentou o material a ser aprendido, bem como indicou quais encaminhamentos seriam dados durante a implementação da proposta, orientando a compreenderem, organizarem e perceberem a importância da verbalização do objeto de estudo. Buscaram, ainda, evidenciar o desempenho, permitindo aos estudantes demonstrarem a aprendizagem ou as dificuldades para a sua ocorrência por meio do estímulo à memorização¹², sempre fornecendo o *feedback* necessário para o seu desenvolvimento. Esta etapa, de acordo com a organização hierárquica de Gagné (1975), constitui-se dos conceitos e regras, que objetam as habilidades intelectuais e as estratégias cognitivas.

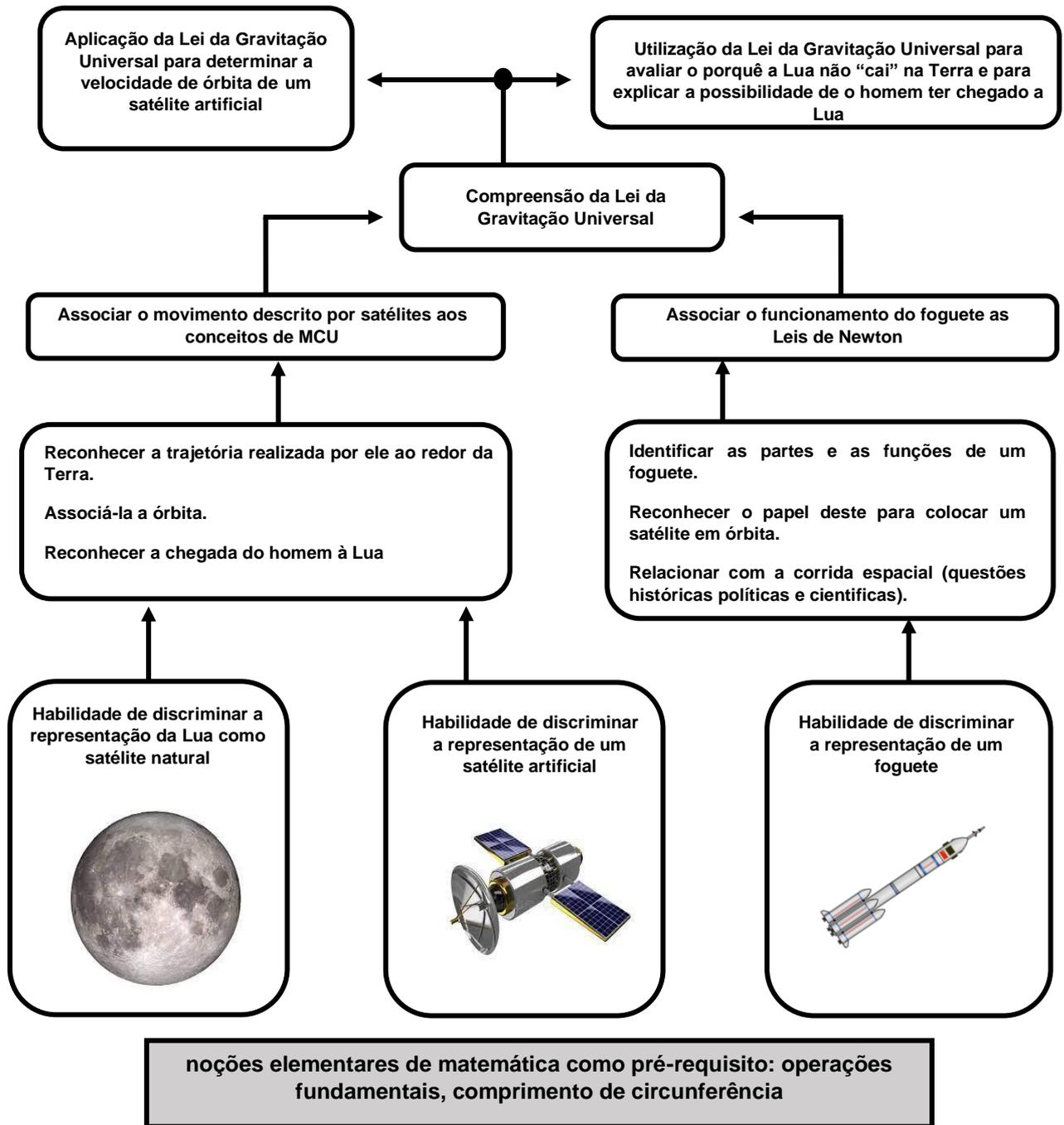
O oitavo evento refere-se à avaliação do desempenho, em atenção à necessidade de diversificação, sendo importante que os estudantes exercitem seus conhecimentos em tarefas distintas daquelas empregadas no processo de ensino. Nesse sentido, lhes foi facultado pontuar aspectos positivos e negativos considerados na proposta, indicando dos que mais gostaram e o porquê. Entende-se que, nesse tipo de avaliação, eles tiveram liberdade para discorrer acerca da experiência vivenciada. Já o nono e último evento refere-se ao estímulo, à retenção e à transferência da aprendizagem, isto é, à generalização, com o propósito de proporcionar ao estudante oportunidades de aplicar e estender o que foi aprendido.

Os dois últimos eventos estão relacionados às regras de ordem superior, em que buscam aplicar os conceitos e regras aprendidas durante a implementação da proposta. Neste ponto, de maneira individual, os estudantes responderam às questões iniciais e foram chamados a determinar a velocidade de um satélite em órbita, aplicando o conhecimento discutido na proposta.

A sequência dos eventos apresentada nessa proposta se deu a fim de potencializar a organização hierárquica das habilidades intelectuais dos estudantes, conforme a Figura 2, partindo dos conhecimentos prévios identificados por meio do questionário inicial, passando pela etapa de discriminação da representação de objetos, artefatos e corpos celestes, para a etapa dos conceitos e regras, atingindo ao seu final as regras de ordem superior.

¹² Na teoria das hierarquias de aprendizagem em Gagné, a memorização está associada à primeira etapa do processo de aprendizagem, na qual são adquiridas informações, conceitos e fatos básicos.

Figura 2: Hierarquia de Gagné para o ensino de Gravitação Universal



Fonte: Elaboração própria (2023).

Alicerçado na hierarquia apresentada na Figura 2, e seguindo o apresentado no Quadro 4, o professor conseguirá implementar um tema de física devidamente fundamentado na concepção epistemológica hierárquica de Gagné. A partir do acompanhamento da turma, particularmente das respostas apresentadas ao questionário e dos mapas mentais produzidos, é possível determinar o

desenvolvimento dos estudantes, observando possíveis lacunas e aportando possibilidades de intervenção.

Resultados e Discussões

No início da proposta, encaminhamos, de maneira assíncrona, via plataforma *on-line*, um questionário inicial para ser preenchido pelos estudantes. Ao final, solicitamos o preenchimento do mesmo questionário, com o intuito de verificar se os conceitos teriam se tornado mais claros, em acordo com a teoria instrucional hierárquica de Gagné.

Nosso questionário foi dividido em duas partes: a primeira composta por dez questões de conhecimentos gerais acerca das temáticas Guerra Fria e corrida espacial, em alusão ao caráter interdisciplinar da proposta. Já a segunda parte compôs-se por questões de Física, envolvendo assuntos como leis de Newton e princípio da Gravitação Universal e suas aplicações. Em ambas, as questões consistiam em afirmações nas quais os estudantes deveriam concordar, discordar ou assinalar eventual reminiscência de dúvidas.

Na Tabela 1, apresentamos os resultados das respostas a ambos os questionários. Na primeira coluna, há o enunciado da questão; na segunda, as alternativas com a correta destacada em negrito. Já na terceira coluna, as respostas referentes ao questionário inicial, isto é, o número de estudantes que assinalaram cada uma das opções de resposta; na quarta, o número das respostas do questionário final. Em ambos, além de ressaltar a resposta correta, identificamos o percentual de marcações da alternativa correta. Na quinta e última coluna, apresentamos a diferença no percentual de acertos do questionário final em relação ao inicial, o que representaria o nível de melhoria da proficiência nas respostas. Em todos os casos, os percentuais são aproximados na primeira decimal.

Tabela 1: Questões, alternativas (destacadas as corretas), respostas correspondentes às etapas inicial e final do questionário e percentual de diferença

Questões	Alternativas	Quest. inicial		Quest. final		Melhoria (%)
		n	%	n	%	
01. No dia 20 de julho de 1969, Neil Armstrong tornou-se o primeiro homem a pisar na Lua	Tenho dúvidas	3		1		
	Discordo					
	Concordo	6	66,7	8	88,9	22,2
02. O homem nunca pisou na lua e, isso não passa de uma conspiração dos norte-americanos, pois, se Neil Armstrong foi o primeiro homem a pisar na Lua e temos imagens dele desembarcando, então quem fez a filmagem?	Tenho dúvidas	5				
	Discordo	3	33,3	7	77,8	44,5
	Concordo	1		2		
03. Apenas os três homens da missão Apolo 11 pisaram na lua até hoje.	Tenho dúvidas	7		2		
	Discordo	1	11,1	4	44,5	33,4
	Concordo	1		3		
04. Guerra fria foi uma guerra sangrenta entre EUA e União Soviética que aconteceu na Rússia durante um rigoroso inverno.	Tenho dúvidas					
	Discordo	6	66,7	8	88,9	22,2
	Concordo	3		1		
05. A corrida espacial foi responsável por mobilizar altas quantias com o intuito de promover a exploração do espaço.	Tenho dúvidas			1		
	Discordo					
	Concordo	7	77,8	8	88,9	11,1
06. Os EUA largaram na frente na corrida espacial enviando o primeiro homem ao espaço em uma missão que orbitou a Terra.	Tenho dúvidas	3		-		
	Discordo	1	11,1	5	55,6	44,5
	Concordo	5		4		
07. Os EUA e a União Soviética foram as únicas nações que já pousaram sondas na Lua.	Tenho dúvidas	7		3		
	Discordo	1	11,1	4	44,5	33,4
	Concordo	1		2		
08. A Lua é um satélite natural, mas também existem os satélites artificiais, os quais são feitos pelo homem.	Tenho dúvidas	1				
	Discordo					
	Concordo	8	88,9	9	100	11,1
09. A cadela Laika foi o primeiro ser vivo a fazer uma viagem espacial.	Tenho dúvidas	2		1		
	Discordo	1				
	Concordo	6	66,7	8	88,9	22,2
10. O primeiro satélite artificial lançado ao espaço foi o Sputnik.	Tenho dúvidas	7		1		
	Discordo					
	Concordo	2	22,2	8	88,9	66,7
11. A primeira lei de Newton estabelece que um corpo permanece em repouso ou em	Tenho dúvidas	2		1		

movimento retilíneo uniforme sempre que a resultante das forças que atuam sobre esse corpo for nula.	Discordo	1		1		
	Concordo	6	66,7	7	77,8	11,1
12. Força é uma grandeza vetorial, pois, ao empurrarmos um objeto, esse “empurrão” possui valor numérico, direção e sentido.	Tenho dúvidas	3				
	Discordo	1				
	Concordo	5	55,6	9	100	44,4
13. Sem força não é possível existir movimento.	Tenho dúvidas	2		2		
	Discordo	2	22,2	8	88,9	66,7
	Concordo	5		1		
14. A força de atração do Sol sobre a Terra é igual, em intensidade e direção, à força de atração da Terra sobre o Sol.	Tenho dúvidas	5		3		
	Discordo	1		2		
	Concordo	3	33,3	4	44,5	11,2
15. Observando as imagens abaixo concluímos que o personagem A é mais forte que o personagem B.	Tenho dúvidas	4		1		
	Discordo	4	44,5	8	88,9	44,4
	Concordo	1				
16. A segunda lei de Newton diz que a aceleração que age sobre um corpo é diretamente proporcional a força resultante que age sobre ele e, inversamente proporcional à sua massa.	Tenho dúvidas	4		2		
	Discordo					
	Concordo	5	55,6	7	77,8	22,2
17. Inércia pode ser entendida como a medida da massa de um corpo, ou seja, quanto maior a massa do corpo maior sua inércia.	Tenho dúvidas	2		1		
	Discordo	1				
	Concordo	6	66,7	8	88,9	22,2
18. A Lei da Gravitação Universal nos mostra que corpos massivos têm a capacidade de se atraírem por uma força mútua denominada de força gravitacional. Sendo assim, podemos concluir que a Terra atrai a Lua e a Lua atrai a Terra com uma determinada força.	Tenho dúvidas	1		1		
	Discordo					
	Concordo	8	88,9	8	88,9	0
19. No dia 20 de junho de 2020 no hemisfério sul teve início a estação do ano chamada de inverno. O inverno ocorre devido a maior distância da Terra ao Sol.	Tenho dúvidas	2				
	Discordo			8	88,9	88,9
	Concordo	7		1		

Fonte: Elaboração própria (2023).

Ao analisarmos a Tabela 1, considerando os resultados do questionário inicial, percebemos que, em sua primeira parte, que trata de conhecimentos gerais, a questão que apresentou o maior índice de erro foi a número 6 (*Os EUA largaram na frente na corrida espacial enviando o primeiro homem ao espaço em uma missão que orbitou a Terra*), na qual cinco estudantes (55,6%) assinalaram a resposta incorreta, concordando com a afirmação feita, três deles (33,3%) disseram que tinham dúvidas e apenas um (11,1%) marcou a resposta correta. Isso se deve, como suposição, pela

atual conjuntura geopolítica, que apresenta os EUA como uma superpotência econômica e científico-tecnológica, modelo reconhecido pela maioria dos estudantes participantes da proposta pelas mídias sociais e demais meios de comunicação, nascida em meados dos anos 2000.

Já na segunda parte do questionário inicial, que trata de assuntos de Física, duas questões chamaram atenção pelo alto percentual de erro: a 13 (*Sem força não é possível existir movimento*), em que 5 dos 9 estudantes respondentes (55,6%) marcaram a opção incorreta, isto é, concordando com a afirmação, e dois (22,2%) a correta, discordando de tal afirmação, mesma proporção daqueles que indicaram ter dúvidas. Esse resultado pode estar associado ao fato de que uma visão não inercial do movimento é mais intuitiva (SILVA FILHO *et al.*, 2018), isto é, mais da metade dos participantes da proposta apresentam um pensamento aristotélico para a relação força e movimento. Nosso resultado converge para o resultado encontrado por Peduzzi e colaboradores (1992, p. 244), e aponta para o fato de que a concepção aristotélica é mais intuitiva que a newtoniana:

Através da “lei de força” de Aristóteles fica clara a proporcionalidade entre força aplicada e velocidade adquirida, bem como a impossibilidade de movimento no vazio. Na dinâmica aristotélica o que se move e o que se movimenta devem estar em permanente contato, não sendo possível, desta forma, a manutenção de um movimento sem uma força constantemente aplicada ao móvel.

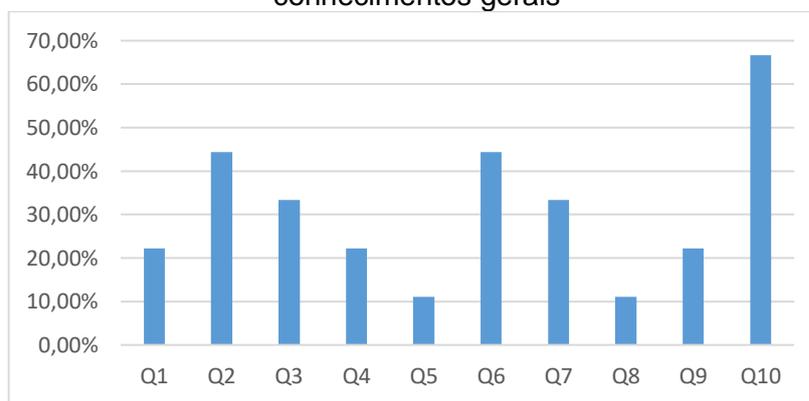
A segunda questão que ressaltamos, presente na segunda parte do questionário, é a 19 (*No dia 20 de junho de 2020 no hemisfério sul teve início a estação do ano chamada de inverno. O inverno ocorre devido a maior distância da Terra ao Sol*). Ela apresentou resultado preocupante, pois nenhum estudante a respondeu corretamente, tendo 7 deles (77,7%) concordado com a afirmação de que o inverno aconteceria devido a maior distância da Terra ao Sol, isto é, assinalaram a resposta destacadamente equivocada.

Esse resultado também foi evidenciado por outros pesquisadores e com diferentes públicos: Langhi e Nardi (2008) realizaram observação análoga com professores de Ciências do Ensino Fundamental; Batista, Fusinato e Ramos (2017) igualmente com estudantes do curso médio (Magistério) e Ortiz *et al.* (2019) com estudantes do Ensino Médio regular. Tais pesquisadores atribuem esses resultados às experiências vivenciadas pelos sujeitos participantes das pesquisas e à maneira

como o livro didático de ciências usualmente aborda o assunto. O problema da órbita da Terra relacionado às estações do ano já foi apresentado em trabalhos como os que encontramos em Canalle (2003), Langhi e Nardi (2007), Amaral e Oliveira (2011), Batista, Fusinato e Ramos (2017), entre outros.

Ao analisarmos o questionário final, percebemos que, das 19 questões, 18 apresentaram percentual de melhoria, tendo uma permanecido no patamar da sondagem original. No Gráfico 1, a seguir, ilustramos esse dado com relação àquela que tratava dos conhecimentos gerais acerca das temáticas da Guerra Fria e da Corrida Espacial.

Gráfico 1: Representação do percentual de melhoria nas respostas às questões de conhecimentos gerais



Fonte: Elaboração própria (2023).

A partir do Gráfico 1, é possível identificar que as questões com o maior percentual de melhoria foram as 2 e 6 (44,4%) e a 10 (66,6%).

A questão 2 (*O homem nunca pisou na lua e, isso não passa de uma conspiração dos norte-americanos, pois, se Neil Armstrong foi o primeiro homem a pisar na Lua e temos imagens dele desembarcando, então quem fez a filmagem?*), no questionário inicial, apresentou apenas 3 acertos; já no final, 7. Entendemos esse resultado como positivo, visto que a questão abordou a chegada do homem à Lua e, num momento histórico em que observamos movimentos contundentes de negacionismo científico, podemos deduzir que a didática contribuiu, senão para a aprendizagem específica do conteúdo, para a resistência àquele aspecto.

A questão 6 (*Os EUA largaram na frente na corrida espacial enviando o primeiro homem ao espaço em uma missão que orbitou a Terra*), que nos chamou atenção no questionário inicial pelo alto índice de erros, no final apresentou 5 respostas corretas das 9 possíveis. Esse resultado, mesmo positivo, nos faz refletir

acerca da proposta didática, pois, a despeito dele, mais de 40% dos sujeitos pesquisados ainda assinalaram a alternativa incorreta ou apresentaram dúvidas a respeito. Nesse sentido, parece conveniente, em eventual reimplantação da proposta, replanejar as atividades relacionadas, buscando contribuir assertivamente com o cenário da divulgação e alfabetização científica. Como o tema está relacionado com a representação social que os estudantes atribuem aos EUA, verifica-se a centralidade, neste ponto, do concurso da Sociologia em caráter interdisciplinar.

Ainda nessa primeira parte do questionário, a questão que apresentou o melhor índice de melhoria foi a de número 10 (*O primeiro satélite artificial lançado ao espaço foi o Sputnik*), que saltou de 2 para 8 acertos. Acreditamos que ela, também relacionada à divulgação científica, pode contribuir para desmistificar que os EUA sempre estiveram cientificamente na vanguarda na Corrida Espacial, principal episódio da Guerra Fria.

Ao observarmos as respostas obtidas no questionário final, podemos concluir que o diálogo, os questionamentos e o trabalho interdisciplinar colaboram para a superação de parte das concepções alternativas dos estudantes, ultrapassando as barreiras do senso comum para um conhecimento hierarquicamente mais elaborado. A partir dos relatos dos estudantes, pudemos ainda inferir ainda que o filme “Estrelas além do tempo” e o vídeo acerca da Guerra Fria do canal Nostalgia podem ter contribuído significativamente para esse entendimento, como se depreende das falas a seguir, extraídas ao longo da implementação da pesquisa.

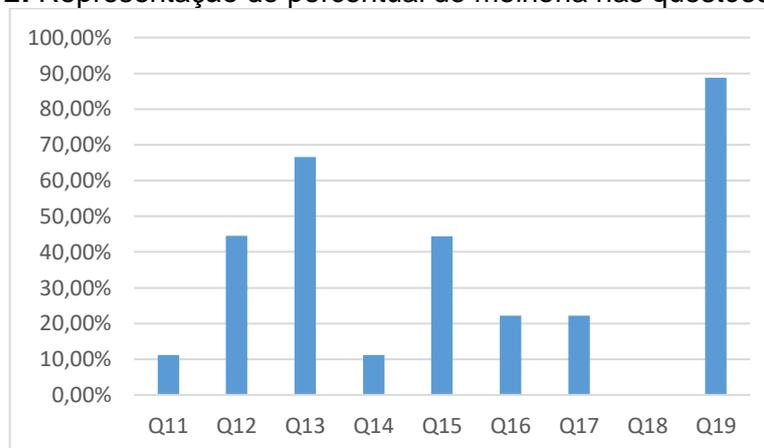
Percebi que a corrida espacial não era só sobre duas grandes potências, mas também sobre seus sistemas políticos sendo aqui quem ganhasse provaria que era o mais forte e que seu sistema era o mais forte (Estudante 1).

A corrida espacial foi um dos capítulos mais conhecidos da Guerra Fria, aconteceu entre 1957 e 1975 e foi travada entre Estados Unidos e União Soviética. A corrida espacial foi responsável por mobilizar altas quantias com o intuito de promover a exploração do espaço. Os soviéticos e os EUA incentivaram o desenvolvimento científico, realizaram expedições tripuladas ao espaço, e foi organizada uma expedição que levou o homem à Lua (Estudante 8).

Segundo Reis, Rodrigues e Santos (2006), as aulas em que a história e a contextualização da ciência fazem parte do currículo tendem a estimular os estudantes a buscarem mais informações acerca da ciência e dos trabalhos científicos, acarretando uma visão menos distorcida da realidade.

Ao analisarmos a segunda parte do questionário final, percebemos, como ilustra o Gráfico 2, o percentual de melhoria relativo aos conteúdos conceituais de Física envolvidos na proposta.

Gráfico 2: Representação do percentual de melhoria nas questões de Física



Fonte: Elaboração própria (2023).

As questões com percentuais de melhoria mais significativas na reaplicação do instrumento foram as 12 (44,5%), 13 (66,6%) e 19 (88,8%). Na 12 (*Força é uma grandeza vetorial, pois, ao empurrarmos um objeto, esse “empurrão” possui valor numérico, direção e sentido*), tivemos 5 acertos (55,5%) no questionário inicial e a totalidade no derradeiro, indicando reconhecimento do caráter vetorial da força, apreensão deveras importante para o estudo das leis de Newton e de suas aplicações.

A questão 13 (*Sem força não é possível existir movimento*) foi uma das que nos chamou a atenção no questionário inicial pelo seu alto índice de erro. Na reaplicação, verificamos que o número de acertos subiu de 2 para 8, indicando que as discussões apresentadas nas aulas auxiliaram os estudantes na transição entre as perspectivas newtoniana e aristotélica do movimento. Não há como garantir que, com o passar do tempo, os estudantes não voltarão a acionar pensamentos intuitivos acerca da relação de força e movimento, mas podemos verificar que, ao final do trabalho, houve superação das visões iniciais.

Já a questão 19 (*A estação do ano inverno ocorre devido a maior distância da Terra ao Sol*) teve um aumento no número de acertos de 0 para 8, atingindo índice de 88,8%. Essa questão também havia nos chamado atenção no questionário inicial, porque nenhum estudante a respondeu corretamente. Mais uma vez, pudemos associar essa melhoria no desempenho à estrutura da proposta pautada nos nove

eventos de aprendizagem de Gagné, alicerçada em hierarquias na interface entre o behaviorismo e o cognitivismo.

Percebemos que os estudantes ressignificaram concepções acerca de alguns conceitos elementares de Física. Segundo Carrascosa Perez e Valdés (2005), as concepções alternativas induzem ao erro conceitual em respostas rápidas, seguras, contraditórias ao conhecimento científico vigente, assim como foi presenciado nas respostas do questionário inicial desta pesquisa.

Por fim, um resultado que também nos chamou a atenção está relacionado à opção de resposta “tenho dúvidas”, pois, no questionário inicial, ela foi assinalada 62 vezes ao longo das 19 questões; já no final, apenas 20 (cerca de três vezes menos). Esse resultado parece refletir maior segurança nas respostas, aqui compreendida como um processo de autorreflexão no qual o estudante passa a acreditar na sua capacidade de resposta, de realizar a ação pretendida, o que a teoria social cognitiva trata como autoeficácia (FERREIRA *et al.*, 2023). Podemos entendê-la, grosso modo, como necessária para a formação de um estudante mais autônomo e crítico.

Ao término da implementação da proposta, após a entrega do questionário final referente a questões ligadas à Guerra Fria, à Corrida Espacial e a conceitos fundamentais de Física, aplicamos a questão discursiva apresentada no Quadro 5, a seguir. Ela buscou cumprir a função prevista nas fases de retenção, memorização, generalização, desempenho e retroalimentação previstas no ato de aprendizagem em Gagné (1975).

Quadro 5: Questão final (dissertativa) acerca do tema Gravitação Universal

Questão	Expectativa de resposta	Justificativa teórica
Explique por que a Lua não cai na Terra.	A Lua não cai na Terra porque está em órbita ao redor do nosso planeta. Isso acontece devido ao fato de que a Lua tem uma velocidade adequada e uma distância específica da Terra, o que mantém o equilíbrio em sua trajetória orbital. A força da gravidade da Terra puxa a Lua em sua direção, tentando fazê-la cair. No entanto, a Lua tem uma velocidade horizontal específica, que faz se mover continuamente para o lado. Essa relação entre a velocidade orbital da Lua e a força da gravidade da Terra é o que mantém a Lua em sua órbita estável, sem que ela caia na Terra.	Para explicar o porquê a Lua não cai na Terra, o estudante, seguindo a hierarquia de Gagné, terá que desenvolver a habilidade intelectual acerca dos conceitos de Força Centrípeta e Força Gravitacional e relacioná-los de forma a descrever a velocidade de órbita da Lua.

Fonte: Elaboração própria (2023).

As respostas de todos os estudantes, em alguma medida, versaram acerca da velocidade de órbita da Lua. Alguns chegaram a escrever que:

A Lua realiza um movimento de queda infinito ao redor do planeta (Estudante 6).
Por causa da força gravitacional (Estudante 8).
Por conta da velocidade que a lua tem (Estudante 2).

Esse dado sugere que os estudantes conseguiram atingir, ainda que parcialmente, as regras de ordem superior na organização hierárquica das habilidades intelectuais segundo Gagné.

Considerações finais

A pesquisa fundamentada e descrita neste artigo consistiu em uma proposta para o desenvolvimento da estrutura cognitiva de estudantes acerca do conteúdo de Gravitação Universal. Para tanto, foi adotada a fundamentação teórica de aprendizagem altamente linear e hierárquica proposta por Gagné.

Durante a sua implementação, envolvemos abordagens e posturas interdisciplinares, que foram incorporadas como um pressuposto intrínseco de uma prática pedagógica que permitiu aos estudantes enxergarem a sua realidade no contexto escolar, estabelecer conexões mais complexas entre os conhecimentos específicos e as situações do cotidiano.

O alinhamento entre a teoria de aprendizagem hierárquica de Gagné e o encaminhamento metodológico adotado nessa proposta de ensino acionou princípios que, como defendido inicialmente, convergem para uma didática promotora de aprendizagem significativa, crítica, investigativa e interdisciplinar. Isso ficou evidenciado nos resultados quantitativos e também nas asserções dissertativas apresentadas ao final pelos estudantes e detalhadamente descritas e analisadas na seção anterior.

O encaminhamento da sala de aula invertida proporcionou interações concretas e hierárquicas de processamento da informação, conduzindo os estudantes a aprendizagens que se evidenciaram por comportamentos exteriorizados durante as aulas síncronas com as suas interações. Tal resultado nos permite inferir, ainda, a possibilidade de os estudantes terem atingido as regras de ordem superior na organização hierárquica das habilidades intelectuais propostas por Gagné.

A partir dos dados obtidos no questionário final, aduzimos que o diálogo realizado, os questionamentos, o trabalho interdisciplinar e a metodologia de sala de

aula invertida colaboram para a superação de concepções alternativas, ultrapassando barreiras do senso comum para um conhecimento mais hierarquicamente mais elaborado, lapidando os conceitos, o que Gagné (1975) compreende como uma habilidade intelectual.

Um aspecto relevante da proposta didática apresentada se dá pela construção de um ambiente de ensino e aprendizagem capaz de estimular a participação dos estudantes de maneira isonômica, promovendo interações sociais proveitosas, o que, ainda de acordo com Gagné (1975), é fundamental para que ocorra a aprendizagem. A sua contribuição epistemológica vai além e oferece aos professores amparo teórico-metodológico para planejar aulas de modo a fomentar processos de aprendizagem gradualmente crescentes.

Como pesquisa translacional proposta, esperamos que outros pesquisadores e professores de Física da Educação Básica possam explorar o modelo, buscando, de maneira recontextualizada e em contornos específicos, nortear o tema abordado de acordo em realidade distintas, utilizando as ferramentas didáticas apresentadas e outras disponíveis, buscando transpor a fundamentação teórica apresentada a outros objetos de conhecimento.

Referências

AMARAL, P.; OLIVEIRA, C. E. Q. V., Astronomia nos livros didáticos de ciências – uma análise do PNLD 2008. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA**, n. 12, p. 31-55, 2011.

BATISTA M. C.; FUSINATO P. A.; RAMOS F. P. Contribuições de uma oficina de Astronomia para a formação inicial de professores dos anos iniciais. **Revista Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 107-128, 2017.

BATISTA M. C.; CONEGLIAN, D. R.; ROCHA, D. R. Interdisciplinaridade no ambiente escolar: uma possibilidade para formação integral no Ensino Fundamental. **Revista Pontes**, Paranaíba, v. 1, n. 1, p. 107-122, 2018.

BATISTA, M. C.; SANTOS, O. R. MATINS, V. C.; VIEIRA, T. F. Teaching Seasons with a Hands-on Activity. **International Astronomy and Astrophysics Research Journal**, v. 4, n. 3, p. 19-35, 2022.

BERGMANN, J.; SAMS, A. **Sala de aula invertida**: uma metodologia ativa de aprendizagem. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

BORDENAVE, J. D.; PEREIRA, A. M. **Estratégias de ensino-aprendizagem**. 25 ed. Petrópolis: Vozes, 2004.

CANAL NOSTALGIA. **Guerra Fria - EUA vs URSS**. YouTube, 30 de mar. de 2016. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=6Gi4_GJXO4I&t=75s.

CANALLE, J. B. G. O problema do ensino da órbita da Terra. **A Física na Escola**, v. 4, n. 2, p. 1-5, 2003.

CARRASCOSA, J.; PEREZ, D.; VALDÉS, P. **Como ativar a aprendizagem significativa conceitos e teorias?** Santiago: OREALC / UNESCO, 2005.

FAZENDA, I. C. A. (Org). **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: Efetividade ou ideologia**. 6 ed. São Paulo: Loyola Jesuítas, 2011.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. N. 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, 2021a.

FERREIRA, M.; COUTO, R. V. L.; SILVA FILHO, O. L.; PAULUCCI, L.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1-13, 2021b.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; STRAPASSON, A.; PORTUGAL, K. O.; MACIEL, A. C. Simuladores digitais no contexto epistemológico de Gagné e Vygotsky: uma proposta de intervenção didática sobre eletricidade e circuitos elétricos. **Revista de Enseñanza de La Física**, v. 33, p. 75-88, 2021c.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. Ensino de física: fundamentos, pesquisas e novas tendências. **Plurais – Revista Multidisciplinar**, v. 6, n. 2, p. 9–19, 2021.

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. **RBPG – Revista Brasileira da Pós-Graduação**, v. 18, p. 1-39, 2022a.

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.

FERREIRA, M.; COSTA, M. R. M.; DEMO, P. Perspectivas, contradições e crítica do letramento científico como dispositivo educacional: entrevista com Pedro Demo. **Revista FAEEBA**, v. 32, n. 1, p. 292-312, 2023.

FERREIRA, M.; TAVARES, W. M.; FERREIRA, D. G. M.; 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. 1-9, 2023.

GAGNÉ, R. M. **Como se realiza a aprendizagem**. Rio de Janeiro: LTC, 1975.

GAGNÉ, R. M. **Princípios essenciais da aprendizagem para o ensino**. Porto Alegre: Globo, 1980.

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** (UFRGS), v. 16, p. 89-116, 2021.

JAPIAUSSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago, 1976.

LANGHI, R.; NARDI, R. A Educação em Astronomia nos anos iniciais do Ensino Fundamental: identificando algumas trajetórias formativas de professores. *In*: Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino, 14. 2008, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: PUCRS, 2008.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de Astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 87-111, 2007.

MANACORDA, M. A. **Marx e a pedagogia moderna**. São Paulo: Cortez, 1991.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos avançados**. v. 32, n. 94, 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

OLIVEIRA, T. E.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Sala de aula invertida: inovando as aulas de física. **A Física na Escola**, v. 14, n. 2, 2016.

ORTIZ, A. J.; LEITE, J. C.; CARMO, T.; BATISTA, M. C.; MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O. Representações sociais de estudantes do final do ensino médio sobre astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**, v. 27, p. 79-91, 2019.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Teorias de Aprendizagem**. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

PEDUZZI, L. O. Força e Movimento na Ciência Curricular. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 14, n. 2, p. 87-93, 1992.

REIS, P.; RODRIGUES, S.; SANTOS, F. Concepções sobre os cientistas em estudantes do 1º ciclo do Ensino Básico: “Poções, máquinas, monstros, invenções e outras coisas malucas”. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 5, n. 1, p. 51-74, 2006.

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, n. 2, p. 109-124, 2018.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M.; PEREIRA, E. D. M.; CRUZEIRO, W. D. A construção do conceito de inércia em uma comunidade investigativa. **Revista do Professor de Física**, v. 2, p. 59-75, 2018.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M.; POLITO, A. M. M.; COELHO, A. L. M. B. Normatividade e descritividade em referenciais teóricos na área de ensino de Física. **Pesquisa e Debate em Educação**, v. 11, n. 1, p. 1-33, 2021.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Indistinguishability and Counting: Teaching the role of different interpretations in Quantum Mechanics. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1-7, 2021.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M.; AMORIM, R. G. G. A questão dos modelos no ensino de Mecânica Quântica: a equação de Schrödinger para partículas de spin semi-inteiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, p. 1-10, 2022.

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.

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, n. 5, p. 1-31, 2022.

VIEIRA, T. F. **Estudo de uma proposta didática interdisciplinar para o ensino de física e astronomia no ensino médio**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2021.

VIEIRA, T. F.; BATISTA, M. C.; RAMOS, F. P. **Ensino remoto intencional, sala de aula invertida e interdisciplinaridade**: possibilidades para um ensino de Astronomia no Ensino Médio. Ponta Grossa: Atena, 2021.

VIEIRA, T. F.; BATISTA, M. C.; RAMOS, F. P.; SANTOS, O. R. Proposta didática para o ensino de Física e Astronomia no Ensino Médio. **Revista do Professor de Física**, v. 6, n. Especial, p. 130–136, 2022.