

Mobilização e explicitação de invariantes operatórios sobre buraco negro

Mobilizing and explaining operative invariants on black hole

Patrynie Garcia Barbosa^{1*}, Lisiane Barcellos Calheiro

¹Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Costa e Silva, s/nº, Bairro Universitário, CEP79070-900, Campo Grande, MS, Brasil.

*E-mail: patrynie.gb.03@gmail.com

Resumo

Apresentamos os resultados de um estudo que analisou os possíveis invariantes operatórios sobre Buraco Negro emergidos das respostas de 57 estudantes, do segundo ano do ensino médio, mediante uma situação-problema introdutória, que foi implementada com o auxílio de um organizador avançado. A pesquisa é um recorte de uma dissertação em andamento, na qual se insere este trabalho, que tem como objetivos elaborar, aplicar e avaliar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) sobre Buraco Negro. A situação-problema foi implementada por meio de um vídeo com o episódio “*Threehouse of horror XXIII*” para explicitação e mobilização dos invariantes operatórios pelos sujeitos da pesquisa. Os resultados mostram que uma grande parte dos estudantes não apresentavam invariantes operatórios relevantes acerca de Buraco Negro, em relação ao organizador avançado utilizado, aos estudantes que utilizaram cena do vídeo para resposta à situação-problema verificamos que o organizador avançado não preencheu a sua principal função, pois não apresentaram conhecimentos prévios relevantes. Por fim, os resultados preliminares reforçam a ideia de que os invariantes operatórios implícitos podem ser indicadores do desenvolvimento de teoremas e conceitos cientificamente aceitos.

Palavras chave: Buraco Negro; TICs; Ensino de Física; Invariantes operatórios.

Abstract

We present the results of a study that analyzed the possible operative invariants on Black Hole emerging from the responses of 57 students from the second year of high school, through an introductory problem situation, which was implemented with the help of an advanced organizer. The research is an excerpt from an ongoing dissertation, which includes this work, which aims to develop, apply and evaluate a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS) on Black Hole. The problem-situation was implemented through a video with the episode “*Threehouse of horror XXIII*” to explain and mobilize the operative invariants by the research subjects. The results show that a large part of the students did not have relevant operative invariants about the Black Hole, in relation to the advanced organizer used, to the students who used the video scene to respond to the problem-situation, we found that the advanced organizer did not fill in his main function, as they did not have relevant prior knowledge. Finally, the preliminary results reinforce the idea that the implicit operational invariants can be indicators of the development of scientifically accepted theorems and concepts.

Keywords: Black Hole; ICTs; Physics Teaching; Operative Invariants.

I. INTRODUÇÃO

A Física Moderna e Contemporânea (FMC) abrange vários conceitos intrinsecamente complexos, muitas vezes contraintuitivos e que exigem certa abstração dos estudantes para sua compreensão, por isso mesmo considerados obstáculos para sua efetiva inserção na Educação Básica. Vários de seus conceitos são de difícil compreensão e associação com o cotidiano da maioria das pessoas. Como exemplo citamos a Teoria da Relatividade Geral, que tem seus efeitos relativísticos aparentes para velocidades próximas a velocidade da luz. No entanto, para os fenômenos

físicos que ocorrem na Terra, em geral, adotamos velocidades baixas, logo os efeitos relativísticos não são evidentes na realidade observável.

No que se refere à questão da dificuldade de compreensão do estudante, entendemos que a sua capacidade de abstração por vezes não está completamente desenvolvida, considerando o intervalo de idade do Ensino Médio. Segundo Fiolhais e Trindade (2003) são poucos os estudantes que conseguem fazer conexões dos fenômenos físicos com o seu cotidiano, soma-se a isto as dificuldades enfrentadas com a matemática, o que por si só é fator capaz de desmotivá-los com vistas a uma aprendizagem com significado desses conceitos. Esta transposição do conhecimento científico para a escola, muitas vezes apresenta uma Física difícil de ser interpretada, sem a devida preocupação com seu rigor científico. No entanto, é preciso que cada vez mais os professores insiram FMC dentro da sala de aula para que os alunos se apropriem desses conhecimentos a fim de compreender o mundo a partir da Ciência moderna (Clusella, 2021).

Com vistas a contribuir para inserção de tópicos de FMC, escolhemos o tema Buraco Negro como objeto de estudo, pois além de desafiar nossa intuição sobre conceitos clássicos de tempo, espaço e gravidade, este tema habita o imaginário a partir de filmes, séries e livros de ficção científica cada vez presentes no dia a dia do estudante. Cabe ressaltar que nos propusemos a trabalhar o tema oferecendo uma compreensão conceitual mais profunda, utilizando diferentes situações e recursos, por meio das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), minimizando as dificuldades encontradas com temas relacionados a FMC.

Neste contexto, as TICs surgem como uma ferramenta educacional capaz de contribuir significativamente com o ensino e aprendizagem de FMC. Dentre elas destacamos a potencialidade da multimídia – recurso didático que combina imagens, sons, textos, simulações e vídeos em uso simultâneo – para a aprendizagem de FMC, visto que ela permite visualizar de forma concreta conceitos tipos como abstratos, o que facilitaria a assimilação ou reformulação desses conceitos em comparação com modelo tradicional de aula. Para Trivelatto e Silva (2011), as TICs podem contribuir com essa tarefa, auxiliando o professor no ensino de conceitos, atraindo, estimulando e motivando os alunos no processo de ensino aprendizagem.

No presente trabalho apresentamos um recorte de uma pesquisa que investiga o domínio do campo conceitual de Buraco Negro e analisamos os possíveis invariantes operatórios sobre o tema, os quais emergiram das respostas dos estudantes frente a situações-problema introdutória que foi implementada com o auxílio de um organizador avançado, com o objetivo de introduzir os conceitos iniciais sobre o Buraco Negro. Para tanto, implementamos uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) como referencial metodológico. UEPS são sequências didáticas ancoradas em teorias da aprendizagem (Moreira, 2011) e, para sua construção, foram elaboradas diferentes situações-problema sobre os diferentes conceitos e estratégias relacionados ao tema Buraco Negro. Para ancorar as atividades na construção e implementação da UEPS foram utilizados, como aporte teórico, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel e a Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud.

II. REFERENCIAIS TEÓRICOS

A. Aprendizagem significativa / Organizadores avançados

Para Ausubel *et al.* (1980) a aprendizagem significativa depende da interação com conhecimento pré-existente nas estruturas cognitivas do sujeito, visto que os novos significados adquiridos servem para enriquecer os já existentes, tornando-os cada vez mais elaborados. Ou seja, os novos conceitos só serão retidos na estrutura cognitiva do sujeito se estiverem ancorados aos seus conhecimentos prévios. Sendo assim, Ausubel destaca a necessidade de iniciar o processo de ensino identificando o que os aprendizes já sabem, para então ensiná-los conceitos novos.

A mobilização de conhecimentos prévios que sejam relevantes para a ancoragem de novas informações é denominada por Ausubel (2003) como subsunção. Em termos simples, subsunção é o nome que se dá a um conhecimento específico que existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, esse permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto (Moreira, 2008). O autor enfatiza que não se trata de simples associação, mas a interação entre os aspectos específicos e relevantes da estrutura cognitiva e as novas informações, por meio da qual essas adquirem significados e são integradas à estrutura cognitiva.

No entanto, na falta de subsunções, Ausubel (2003) propõem uso de organizadores avançados. Esses organizadores são mecanismos pedagógicos auxiliares na ligação entre aquilo que o aprendiz já sabe e aquilo que irá adquirir. A justificativa para o uso dos organizadores vem do fato de que as ideias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz não terem a relevância suficiente para estabelecerem ligações com as novas informações. Nesse caso, o organizador faz o papel de mediador entre as ideias preexistentes e aquilo que irá aprender. O autor pontua que esse recurso pedagógico, que será empregado para manipular a estrutura cognitiva do aluno, precisa apresentar um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, em comparação ao novo conhecimento, que lhe será apresentado. Ausubel *et al.* (1980) consideram que as funções básicas de organizadores são:

i) Oferecer uma armação ideativa para a incorporação estável e retenção do material mais detalhado e diferenciado que se segue no texto a aprender ou na exposição a acompanhar; ii) Aumentar a discriminabilidade entre este último material e ideias similares ou ostensivamente conflitantes na estrutura cognitiva; iii) Tornar evidentes as ideias que porventura já existam na estrutura cognitiva e que possam servir de esteio às novas aprendizagens, potencializando assim a capacidade de aprendizagem do sujeito (Ausubel, et al., 1980, p. 144)

Neste contexto, a vantagem do uso de um organizador avançado é que o aluno pode se aproveitar de uma visão geral do conteúdo antes que se possa discriminá-lo em vários elementos menores. Ausubel (2003) destaca dois tipos principais de organizadores: o expositivo e o comparativo. Essas duas classes de organizadores contemplariam os dois principais aspectos relacionados à aprendizagem escolar.

B. Teoria dos Campos Conceituais/ Invariantes Operatórios

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) desenvolvida pelo matemático e psicólogo Gérard Vergnaud “é uma teoria cognitivista, que visa fornecer um quadro coerente entre alguns conceitos com base no estudo do desenvolvimento da aprendizagem de competências complexas” (Vergnaud, 1990, p. 135). A TCC investiga a organização cognitiva dos estudantes, a partir de suas ações na resolução de situações-problemas, que permitem a identificação dos elementos, presentes na cognição, que caracterizam seus procedimentos na execução das tarefas, contribuindo para o desenvolvimento da capacidade de inferência e de raciocínio (Vergnaud, 1990).

Segundo Moreira (2002) são as situações que dão sentido aos conceitos. Um conceito torna-se significativo se existe várias situações em que possa compreendê-lo. Isto é, o sentido de um conceito se estabelece na relação do sujeito com as situações e os significantes. Quando o sujeito reconhece o sentido de uma determinada tarefa (situação) ou representação (significante), há indícios de que ele evocou esquemas, em outras palavras, organizou seu comportamento frente à situação. Essas formas invariantes podem ser expressas pelos estudantes por meio dos invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação).

O conceito-em-ação é um objeto ou uma categoria de pensamento tida como relevante e permanece em sua maioria implícito ao longo da ação do sujeito. Já teoremas-em-ação são proposições que podem ser verdadeiras ou falsas. Essas proposições permanecem, em sua maioria, implícitas nas ações do sujeito, podendo se tornar explícitas.

Assim identificá-los é uma forma de detectar esquemas ineficazes e tentar auxiliar os estudantes na tarefa de transformar esquemas ineficazes em aplicáveis. Uma das maneiras de se verificar tais conhecimentos mobilizados é por meio do acompanhamento dos diversos momentos em que os estudantes são chamados a dar respostas a situações-problemas. Na teoria de Vergnaud, a explicitação dos conhecimentos em diferentes situações é fundamental, pois o professor poderá identificar, a partir dos possíveis invariantes operatórios emergidos dos esquemas, possibilidades de desenvolver e apresentar problemas adequados que se conectem à estrutura conceitual destes conhecimentos e aos conceitos que o professor quer ensinar.

Nesse contexto, o foco do presente estudo é o processo de explicitação dos invariantes operatórios, que fazem parte do esquema, uma vez que esse processo possibilita que os teoremas e conceitos-em-ação possam ser convertidos em verdadeiros teoremas e conceitos científicos. Assim, nossa estratégia de investigação para explicitação dos invariantes operatórios acerca de Buraco Negro foi propor uma situação problema utilizando TIC.

III. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho optamos por metodologia de abordagem qualitativa. Segundo Oliveira (2013), este tipo de abordagem pode ser considerada um processo de reflexão e análise da realidade, utilizando métodos e técnicas para compreensão detalhada do objeto de estudo. A essência dos estudos qualitativos é buscar informações referentes ao problema pesquisado, recolhendo evidências no ambiente onde o problema é vivenciado com o objetivo de interpretá-lo e analisá-lo (Creswell, 2010).

Como já citado, este trabalho apresenta resultados de um estudo piloto de uma pesquisa de mestrado em andamento, através do recorte da análise dos resultados de uma das situações-problema do terceiro passo de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre Buraco Negro, implementada em duas turmas do segundo ano do Ensino Médio; participaram da atividade 57 estudantes com idade entre 15 e 18 anos. Eles serão identificados como A1, A2, ..., A57. Moreira (2011) propõe uma sequência de oito passos para estruturar e construir uma UEPS; durante a elaboração de cada passo, o autor sugere uma diversidade de estratégias e materiais de ensino, apontadas pelo autor como aspecto transversal à proposta. “Em todos os passos, os materiais e as estratégias de ensino devem ser diversificados” (Moreira, 2011, p. 5). Apresentamos, no quadro I, o terceiro passo da UEPS que tem como objetivo analisar, a partir do uso de organizadores avançados, os invariantes operatórios sobre Buraco Negro mobilizados pelos

estudantes. Para a situação-problema 1, foi utilizado um organizador avançado como uma introdução breve para estabelecer a ligação entre o que o estudante já sabe e o que precisa aprender.

QUADRO I. Descrição do 3º passo da UEPS sobre Buraco Negro.

UEPS – Buraco Negro		
Objetivos	Compreender o processo de nascimento de um Buraco Negro. Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito de movimentos de corpos celestes próximo a Buracos Negros. Compreender a interação entre a luz, gravitação e o Buraco Negro. Identificar os invariantes operatórios sobre Buraco Negro.	
Aspectos Sequenciais	Procedimento Adotado	Situações- problema
3º Passo situações-problema introdutórias	Foram elaboradas duas situações em nível introdutório, a partir de simulação e vídeo com roteiros fechados e abertos. Na situação-problema 1 foi apresentado um vídeo com o episódio dos Simpson <i>“Threehouse of Horror XXIII”</i> . Após, foi entregue para cada aluno um texto com questões sobre o episódio.	Situação-problema 1 - Episódio <i>“Threehouse of Horror XXIII”</i> da série <i>“Simpsons”</i> ¹ é sobre a construção de um acelerador de partículas, os moradores da cidade de Springfield acreditam que ele poderá ser uma fonte de energia limpa. No entanto, o experimento não é bem-sucedido e cria-se um Buraco Negro, o desenvolvimento da história será em torno deste acontecimento. Situação-problema 2 - Software de simulações PhET <i>“Gravidade e Órbita”</i> ² com questionário relacionando proporcionalidade entre a massa do objeto astronômico, a velocidade de escape, a intensidade da força gravitacional e o raio da órbita. Questão investigativa: "Existe um corpo com densidade tão grande que a velocidade de escape poderia ser maior que velocidade da luz?"

Para análise dos dados coletados, ou seja, do conteúdo textual das explicações formuladas pelos estudantes, foi utilizado o programa IRAMUTEQ. Este programa abrange diferentes tipos de análise, tais como estatísticas textuais clássicas, pesquisas de especificidades de grupos, classificação hierárquica descendente, análises de similitude e nuvem de palavras (Calheiro *et al.*, 2019). Para a análise dos dados utilizamos a análise da similitude; essa é processada através de indicadores estatísticos que apresentam as relações entre as palavras, ou seja, forma uma árvore de palavras com ramificações a partir da relação que uma tem com a outra e baseia-se na teoria dos grafos. Esta teoria possibilita identificar as coocorrências entre as palavras e seu resultado, assim trazendo indicações da conexão entre as palavras, auxiliando na identificação da estrutura de um corpus textual e distinguindo também as partes comuns e as especificidades em função das variáveis ilustrativas (descritivas) identificadas na análise (Marchand e Ratinaud, 2012).

V. RESULTADOS

Neste trabalho apresentamos a análise dos possíveis invariantes operatórios utilizados pelos estudantes ao responder a situação-problema 1 sobre os conceitos introdutórios do tema Buraco Negro, abordado ao longo de diferentes situações na UEPS. A situação-problema 1 (figura 1) é uma situação de caráter teórico, que teve como objetivo verificar possíveis invariantes operatórios relacionados a Buraco Negro, ou seja, o entendimento que os estudantes tinham, naquele momento, sobre a formação e o que acontece na região onde se encontra um Buraco Negro.

Inicialmente foi feita a análise da similitude das respostas da situação-problema 1, conforme já mencionado. A figura 2 representa a rede de similitude, que permite visualizar as ligações entre as palavras do corpus textual, elaborado pelos estudantes para responder a situação.

De acordo com análise da rede de similitude da figura 2, pudemos identificar, de forma sucinta, os possíveis invariantes operatórios utilizados pelos estudantes para responder a situação-problema, distribuídos nos diferentes polos da rede de similitude. A região central é formada pelo termo Buraco Negro, que foi citado em todas as respostas, pois está relacionado a situação; o termo apresenta ligações com diferentes conceitos-em-ação presentes nas regiões.

¹ Os Simpsons—Episodio 510—A Casa da Árvore dos Horrores XXIII Online (s. f.).

Episódio dos Simpson "Threehouse of Horror XXIII".

No episódio dos Simpsons "Threehouse of Horror XXIII", o enredo do filme é dividido em quatro histórias. Nas imagens abaixo temos algumas das cenas da segunda história que aborda a temática sobre buracos negros. Inicia-se com o prefeito de Springfield inaugurando a construção de um acelerador de partículas (figura 1) e homenageando a personagem Lisa por suas iniciativas; acreditam que o acelerador poderá fornecer uma fonte de energia limpa, porém o experimento não é bem-sucedido. Na mesma noite, as "duas energias" geradas ao iniciar o experimento, representadas no desenho (figura 2), se juntam formando um buraco negro (figura 3) que sempre "engole" os objetos (figura 4) em seu entorno; seu tamanho só aumenta porque a família de Lisa resolve "alimentá-lo", começando assim a sugar toda a cidade. e, no fim, a família de Lisa.




Figura 1




Figura 2




Figura 3




Figura 4

Figuras 1 e 2: Cenas do Episódio "Threehouse of Horror XXIII"- Parte II

Figuras 3,4: Cenas do Episódio "Threehouse of Horror XXIII"- Parte II

SITUAÇÃO-PROBLEMA 1

Antes que o LHC (Large Colisor de Hádrons) fosse ligado, em 2010, muito se especulou sobre a possibilidade de que suas colisões de partículas produzissem Buracos Negros, os quais causariam a destruição instantânea da Terra, temática essa explorada no episódio dos Simpsons. No entanto, o gigantesco colisor funciona já há mais de uma década, ainda não há notícias da destruição da Terra. A energia necessária para formar um Buraco Negro como o que existe no Espaço é muito maior que a obtida em laboratórios terrestres. Como se forma este objeto astronômico? E se pudéssemos nos aproximarmos de um Buraco Negro, quais seriam os efeitos?

FIGURA 1. Situação-problema 1 entregue aos estudantes após assistirem o vídeo com o "Threehouse of Horror XXIII".

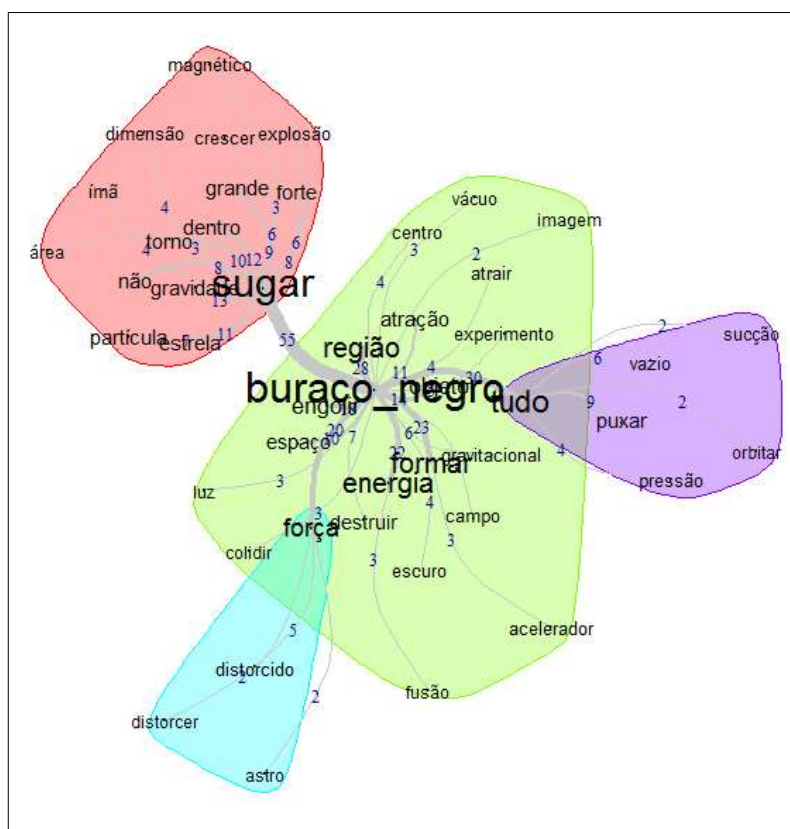


FIGURA 2. Rede de similitude da situação-problema 1 entregue aos estudantes após assistirem o vídeo com o "Threehouse of Horror XXIII".

Vale destacar os conceitos gravidade, campo gravitacional e energia que apresentam várias coocorrências com Buraco Negro e apresenta uma forte relação refletida nos grupos com as palavras sucção, sugar e puxar, representando as ideias implícitas dos estudantes em relação ao que acontece na região próxima ao Buraco Negro. Após uma análise de similitude geral e sucinta dos possíveis invariantes presentes na rede de similitude da figura 2, identificamos três categorias de invariantes operatórios, as quais foram: invariantes operatórios inadequados, invariantes operatórios relevantes e invariantes operatórios adequados. No quadro II apresentamos exemplos das categorias presentes nas respostas dos estudantes.

QUADRO II. Categorias, Conceitos e Teoremas-em-Ação emergidos dos esquemas dos estudantes.

Categorias	Conceitos-em-Ação	Teoremas-em-Ação
Categoria A Invariantes operatórios inadequados	Vácuo	T1:Leva para outra dimensão
	Energia	T2:A energia faz aumentar o tamanho
	Forças contrárias	T3: Região próxima do Buraco Negro fica destruída
	Pressão	T4: Surge a partir da colisão de duas energias
	Ondas magnéticas	T5: Quando colide com outra estrela, forma buraco
	Região densa	T6: Cada vez absorve objeto faz com ele aumente de tamanho
Categoria B Invariantes operatórios relevantes	Força	T7: Engole tudo que tem a sua volta
	Região escura	T8: Força gravitacional intensa exercida dentro do buraco e menos intensa fora.
	Espaço	T9: Tem uma força de atração maior que a maioria dos objetos
	Outra dimensão	T10: Quanto mais próximo do buraco mais forte fica a atração.
	Galáxia	
Categoria C Invariantes operatórios adequados	Campo gravitacional	T11: Nada sairia do buraco negro
	Espaço-temporal	T12: Formado pela implosão de uma estrela
	Força gravitacional	T13: Nem a luz consegue escapar
	Órbita	T14: Distorce o espaço-tempo
	Estrela supermassiva	T15: Surge pela explosão de uma estrela muito grande
	Velocidade de escape	T16: Velocidade de escape é maior que a velocidade da luz
	Velocidade da luz	

As categorias foram estabelecidas a partir dos esquemas elaborados pelos estudantes de acordo com aproximação dos invariantes operatórios aos conceitos científicos, as quais serão melhor descritas a seguir.

A. Invariantes operatórios inadequados

Os fragmentos categorizados como invariantes operatórios inadequados utilizaram como esquema conceitos científicos não pertinentes para resolver a situação-problema. Ou seja, conceitos científicos que não são válidos para elucidação do nosso objeto de estudo. A exemplo, citamos o conceito-em-ação ondas magnéticas e região densa conforme as respostas dos estudantes A 37 e A43, esse é um conceito científico que não está relacionado com Buraco Negro.

- *A região fica densa [...] e o Buraco negro suga pela gravidade, a força dele que deve ser numa região muito densa.* (A37)
- *O Buraco Negro se forma a partir de partículas, energia muito forte e ondas magnéticas [...] Ele suga o que está a sua volta por conta da pressão que ele exerce e do magnetismo.* (A43)

Além disso, os teorema-em-ação T1, T3 e T5, implícitos nesses esquemas, têm relação direta com o vídeo apresentado, visto que as resposta da situação problema vinculados aos dois teoremas eram descrições de cenas. Isso evidência a ausência de esquemas na estrutura cognitiva dos sujeitos sobre Buraco Negro.

- [...] É como se fosse outro portal. Ele suga os objetos pequenos e vai aumentar de tamanho, passando os objetos para outro lugar* (A42)
- Apenas um círculo escuro, como um aspirador de pó, uma divisão de partículas, levando para outra dimensão [...]* (A20)
- Quando duas estrelas colidem no espaço formam o Buraco Negro.* (A29)

Na maioria das justificativas percebemos a mobilização de conceitos-em-ação, mesmo que implicitamente e de forma inadequada, pois essas eram vinculadas aos conceitos trabalhados em sala de aula. Essa apropriação dos conceitos científicos, ainda que em situações inapropriadas, está relacionado ao ambiente escolar, conforme Vergnaud (1990) afirma os invariantes operatórios podem estar relacionados aos conhecimentos elaborados pela cultura ao qual o aluno está inserido influenciando os esquemas elaborados para responder as situações.

B. Invariantes operatórios relevantes

Os conceitos-em-ação se articulam por meio dos teoremas-em-ação que são proposições que podem ser verdadeiras ou falsas. Nesta categoria os estudantes, ao responderem a situação-problema, apresentaram o uso incipiente de conceitos não científicos que se relacionam ao tema Buraco Negro, ou conceitos científicos corretos, porém sem uma resposta articulada adequadamente para resolver a situação-problema. Como exemplo citamos as proposições que relacionam ao teorema-em-ação T7 que utilizam da prosopopeia “engolir” para descrever o fenômeno da atração gravitacional intensa exercida sobre os objetos próximos do Buraco Negro.

A região em torno do Buraco Negro deve ficar destruída, uma região escura ou ser completamente “engolida” pelo Buraco Negro [...] (A7)

[...] de acordo com algumas teorias o Buraco Negro seria uma galáxia [...] (A43)

Porque o campo gravitacional ao seu redor é intenso, por isso ele engole os objetos (A48).

Nos teoremas-em-ação T9 e T10, os estudantes não articulam adequadamente os conceitos científicos para gerar algo próximo de uma explicação científica correta, uma vez que não está explícita a natureza gravitacional da “força de atração” conforme os fragmentos transcritos abaixo.

Porque ele tem uma força de atração maior que maioria dos objetos. (A31)

Um Buraco Negro gera uma força de atração no sentido espiral, o que faz com que tudo ao seu redor orbite até estar no centro do Buraco e ser sugado (A19)

Porque ele tem uma certa Força para puxar os objetos (A16)

O Buraco Negro são regiões com uma força gravitacional intensa exercida dentro do buraco, e menos intensa fora. (A13)

As transcrições mostram que é possível, a partir de uma situação-problema, levar o estudante a trabalhar com um dado campo conceitual, desde que os invariantes estejam presentes em seus conhecimentos prévios, ainda que alternativos aos invariantes cientificamente aceitos.

C. Invariantes operatórios adequados

Os esquemas utilizados pelos estudantes que se enquadram nesta categoria apresentam o uso correto do conhecimento científico específico para solução da situação-problema proposta. Nesta categoria, os teoremas-em-ação se relacionam claramente com Buraco Negro

Os Buracos Negros se formam devido à uma brecha no espaço-temporal (A54)

Surgem com o “fim da vida” de uma estrela supermassiva, em outras palavras, um colapso [...] Nem a luz é capaz de escapar de sua gravidade (A32)

A região sugada e o local onde fica curvado e vazio, nem a luz é capaz de escapar [...] (A10)

O Buraco Negro suga por ele ter uma gravidade muito forte que a velocidade de escape pode ficar maior que a velocidade da luz (A41)

Já os conceitos-em-ação importantes, como campo gravitacional, velocidade de escape e velocidade da luz, foram abordados por oito estudantes apenas. Como exemplo temos o fragmento do estudante A41, onde está demonstrado implicitamente e explicitamente o conhecimento sobre o que acontece em uma região do espaço, onde o campo gravitacional é tão forte que nada sairia dessa região, nem a luz, e que um Buraco Negro é um corpo que produz um campo gravitacional forte o suficiente para ter velocidade de escape superior à velocidade da luz.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi investigar os possíveis indicadores de invariantes operatórios a partir de uma situação-problema com o uso de um organizador avançado. A análise dos dados com base na identificação de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação indica que, de um total de 57 alunos que participaram da etapa do estudo, 43 apresentaram dificuldades quando da formulação de respostas, uma vez que essas eram inadequadas para os conhecimentos científicos acerca de Buraco Negro. Essas dificuldades vêm ao encontro do referencial desta pesquisa, pois a TCC salienta que o domínio de um campo conceitual, por parte do aprendiz, ocorre ao longo de um longo período de tempo, através da experiência, maturidade e aprendizagem (Vergnaud, 1990).

Os resultados mostram que uma grande parte dos estudantes não apresentavam conhecimentos prévios relevantes que servissem de ligação com o novo conhecimento, dificultando o uso de invariantes operatórios adequados para situação-problema apresentada. Pudemos inferir que a posse de um teorema-em-ação, quando não conectado aos outros componentes do esquema relacionado a Buraco Negro, pode dificultar ainda mais o desenvolvimento de outros esquemas que o compõem. Neste sentido é necessário propor várias situações de diferentes graus de complexidade e verificar um possível avanço nas respostas dos estudantes para detectar teoremas -em-ação e conceitos-em-ação adequados, para que estes aproximem-se dos conceitos aceitos pela comunidade científica.

Em relação ao organizador avançado utilizado, verificamos que alguns dos estudantes utilizaram como respostas à situação apresentada, fragmentos retirados do vídeo que não estavam de acordo com os conceitos científicos sobre Buraco Negro e foram apresentados apenas como uma abordagem mais próxima do senso comum. Para estes estudantes verificamos que o organizador não preencheu a sua principal função, pois os estudantes não apresentavam conhecimento prévio relevante sobre Buraco Negro. Para Ausubel, 2000, “um organizador avançado é um mecanismo pedagógico que ajuda a implementar estes princípios, estabelecendo uma ligação entre aquilo que o aprendiz já sabe e aquilo que precisa saber” (Ausubel, 2003, p. 11).

Por fim, os resultados preliminares apresentados desse trabalho reforçam a ideia de que os invariantes operatórios implícitos nas respostas dos estudantes podem ser indicadores do desenvolvimento de teoremas e conceitos cientificamente aceitos. O que ressaltamos é que para temas relacionados a FMC que têm um grande nível de abstração e uma matemática avançada é necessário explorar a parte conceitual e sempre que possível a partir de situações que relacionem conceitos já estudados, explorando diferentes organizadores avançados. Tanto as situações quanto os organizadores avançados devem ser cuidadosamente selecionados, pesquisados, modificados e, quando necessário, descartados para que o estudante possa explicitar invariantes operatórios no mínimo relevantes para situação em análise.

AGRACEDIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

REFERÊNCIAS

- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. 1 ed. Portugal: Paralelo Editora.
- Ausubel, D. P. , NovaK, J. D. e Hanesian, H. (1980). *Psicologia educacional*. Tradução de Eva Nick. Rio de Janeiro, Brasil: Editora Interamericana Ltda.
- Clusella, C. A. (2021). Sobre la presencia en el aula de los conceptos de la física contemporánea en la enseñanza secundaria y una propuesta para su implementación. Diss. Universidad Nacional de La Plata.
- Creswell, J. W. (2010). *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 3. ed. Porto Alegre, Brasil: Artmed.
- Fiolhais, C., Trindade, J. (2003). Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25, 259-272.
- Calheiro, L. B, Errobidart, N. C. G., Araujo, M. E. M. (2019). A sustentabilidade e a prática interdisciplinar na educação básica a partir de uma unidade de ensino potencialmente significativa. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 141-149.
- Moreira, M. A. (2011). *Unidade de ensino potencialmente significativa*. Porto Alegre: UFRGS
- Moreira, M. A. (2008). Organizadores prévios e aprendizagem significativa. *Revista Chilena de Educación Científica*, 7(2), 23-30.
- Moreira, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em ensino de ciências*. 7(1), 7-29.
- Oliveira, M. M. (2013). *Como fazer pesquisa qualitativa*. 5. Ed. Petrópolis, RJ, Brasil: Vozes.
- Trivelato, S. F., Silva, R. L. F. (2011) *Ensino de Ciências*. São Paulo, Brasil: Cengage.
- Vergnaud, G. (1990). La teoría de los campos conceptuales. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10(2), 3.
- Os Simpsons—Episódio 510—A Casa da Árvore dos Horrores XXIII Online. (s. f.). *Animezeira*. Recuperado 8 de octubre de 2021, de <https://animezeira.net/episodio/os-simpsons-episodio-510-a-casa-da-arvore-dos-horrores-xxiii/>