

Sequência didática para o ensino de ondas gravitacionais e interferência no ensino médio

Didactic sequence for the teaching of gravitational waves and interference in high school

Secuencia didáctica para la enseñanza de ondas gravitacionales e interferencia en la escuela secundaria

Recebido: 28/07/2020 | Revisado: 13/08/2020 | Aceito: 17/08/2020 | Publicado: 22/08/2020

Francisco Felipe Moura Fontele

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-7136>

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: felipemourafontele@gmail.com

João Cláudio Nunes Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8619-0869>

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: joao.carvalho@ifce.edu.br

Resumo

Este trabalho conduz uma sugestão de ensino de ondas gravitacionais e interferência, para estudantes do ensino médio por meio da aplicação de uma sequência didática elaborada em consonância com a teoria da Aprendizagem significativa de David Ausubel e a teoria do Alinhamento construtivo de Biggs e Tang. Trata-se da análise da aplicação de uma sequência didática arquitetada para facilitar o trabalho docente desde o planejamento até a execução das ações e avaliação da aprendizagem de física, servindo assim como motivação para produções de novas sequências, construídas pelos próprios professores, tendo em consideração a apropriação desta ferramenta como arquétipo. É uma pesquisa de campo e reúne uma série de atividades, dentro e fora de sala de aula, sistematicamente preparadas e organizadas para o alcance dos objetivos de aprendizagem preliminarmente propostos, e utiliza-se de mecanismos como experimentação e utilização de TICs, dando ao estudante um papel mais ativo e autônomo na construção da própria aprendizagem tornando-a mais eficiente e significativa que é resultado pretendido.

Palavras-chave: Ondas gravitacionais; Sequência didática; Aprendizagem significativa.

Abstract

This work leads a suggestion of teaching gravitational waves and interference, for high school students through the application of a didactic sequence elaborated in line with David Ausubel's theory of Significant Learning and the Biggs and Tang constructive alignment theory. It is the analysis of the application of an didactic sequence designed to facilitate teaching work from planning to the execution of actions and assessment of physics learning, thus serving as motivation for the production of new sequences, built by the teachers themselves, taking into account the appropriation of this tool as an archetype. It is a field research and gathers a series of activities, inside and outside the classroom, systematically prepared and organized to achieve the preliminary proposed learning objectives, and uses mechanisms such as experimentation and use of ICTs, giving the student a more active and autonomous role in the construction of learning itself, making it more efficient and meaningful, which is the intended result.

Keywords: Gravitational waves; Teaching sequence; Meaningful learning.

Resumen

Este trabajo lleva una sugerencia de enseñanza de ondas gravitacionales e interferencias, para estudiantes de secundaria, a través de la aplicación de una secuencia didáctica elaborada en línea con la teoría de Aprendizaje Significativo de David Ausubel y la teoría de alineación constructiva de Biggs y Tang. Es el análisis de la aplicación de una secuencia didáctica diseñada para facilitar el trabajo docente desde la planificación hasta la ejecución de acciones y evaluación del aprendizaje de la física, sirviendo así de motivación para la producción de nuevas secuencias, construidas por los propios docentes, teniendo en cuenta la apropiación de esta herramienta como arquetipo. Se trata de una investigación de campo y recoge una serie de actividades, dentro y fuera del aula, preparadas y organizadas sistemáticamente para lograr los objetivos de aprendizaje preliminares propuestos, y utiliza mecanismos como la experimentación y uso de las TIC, entregando al alumno un papel más activo y autónomo en la construcción del propio aprendizaje, haciéndolo más eficiente y significativo, que es el resultado pretendido.

Palabras clave: Ondas gravitacionales; Secuencia didáctica; Aprendizaje significativo.

1. Introdução

Compreender o universo em toda sua complexidade, e até mesmo controlar a natureza, podem ser considerados objetivos principais da ciência (Morgenbesser, et al., 1975). Para tanto, ela utiliza-se de métodos e técnicas desenvolvidas e aperfeiçoadas no decorrer do tempo que

contribuíram notoriamente para o desenvolvimento das mais diversas áreas de estudos, e provocando o surgimento de muitas outras. Um exemplo que pode ser evidenciado, é a tecnologia, que está fortemente associada ao desenvolvimento da sociedade em suas diversas facetas (Ribeiro, 2000), principalmente no que se refere a facilitar as ações cotidianas e solucionar problemas, mesmo que por muitas vezes leve ao surgimento de outros, implicando na necessidade e busca de outras tecnologias, tudo isso em um ritmo vertiginoso e crescente.

No cenário atual, a humanidade é cercada das contribuições da FMC (Física Moderna e Contemporânea), alguns exemplos são: transistores utilizados em computadores e outros eletrônicos, lasers, energia produzida por usinas nucleares, computação quântica, sistemas de GPS que levam em consideração os efeitos relativísticos, entre outros que carregam aspectos da área da física que começou a se desenvolver no início do século XX (Pires, 2011). Levando em consideração essas recentes descobertas da física que se mostram tão presentes, cotidianas e próximas da sociedade, surge então o questionamento: por que a FMC é tão negligenciada no currículo do ensino médio, ao ponto de nem mesmo ser abordada nas salas de aula em muitas das unidades de ensino? (Sanches, 2006).

Segundo Pereira (1997), o mundo contemporâneo é altamente tecnológico e que para compreendê-lo é função da escola, principalmente dos programas de Ciências Naturais e Sociais e de Física, Química e Biologia, incluir no seu currículo os assuntos relevantes para a formação de um cidadão esclarecido sobre o que o cerca (*Ibidem*, 1997). Segundo esse pensamento, uma pessoa só é capaz de tomar decisões, assim como desempenhar sua função social e econômica de forma condizente com a época em que vive (Moreira, M. A, 2000, p. 26). Isso nos possibilita uma imprescindível reflexão sobre o currículo das escolas de ensino médio em comparação com a atual prática docente em sala de aula.

A partir dessa análise, percebe-se então que há um distanciamento entre o que as propostas curriculares em vigor, e os conteúdos que efetivamente são apresentados aos alunos e avaliados pelo sistema de ensino (Oliveira, Vianna & Gerbassi, 2007). Cooperando com esse desvario, tem ainda o desconforto sofrido pelo currículo escolar, trazido pela implementação da BNCC nas escolas de educação básica de forma não muito sistemática (Correa, 2016). Em meio a essa conjuntura, faz-se necessária a produção de materiais didáticos que venham a cooperar com a ação docente, principalmente no que se refere ao apoio pedagógico por meio de métodos que facilitem o trabalho do educador e, ao mesmo tempo, sejam eficientes na melhoria da aprendizagem.

O ensino de física se mostra bastante desafiador, pois é comum o discurso de professores e alunos sobre dificuldade de aprendizados dos conteúdos na disciplina, seja no ensino

fundamental, médio ou superior (Peduzzi, 1997). É fácil constatar que a maior parte das pessoas, mesmo após frequentar a escola de ensino fundamental e médio, sabe muito pouco de física (Rezende, Almeida e Egg, 2004) e muitos têm uma espécie de aversão a disciplina. No entanto, a física está relacionada a quase tudo, e é necessário compreender sua importância. Quando alguém se movimenta ou pratica exercícios físicos, está vivenciando uma situação na qual a física está presente, assim como o simples fato de existirmos remete aos questionamentos sobre a origem da vida e do universo, que também é objeto de investigação da física.

O fato é que metodologias eficientes para o ensino de física são de caráter emergente, e é perceptível que técnicas de ensino onde o aluno se torna protagonista da aquisição dos conhecimentos são mais efetivas, não somente no favorecimento da aprendizagem, mas também no estreitamento da relação com a disciplina em si, que vai aos poucos apagando o caráter difícil e desinteressante, e abrindo espaço para algo dinâmico, curioso e motivador (Silva, Krajewski, Lopes e Nascimento, 2018) . É nessa perspectiva que a técnica do alinhamento construtivo é fator efetivo na elaboração de aulas de forma sistemática que chamem atenção dos alunos para o aprendizado de algo não distante do cotidiano e de fundamental importância na construção do conhecimento.

Dentro deste contexto, mostra-se aqui uma discussão referente a aplicação de uma SD (sequência didática), que foi elaborada para auxiliar o professor na sua rotina docente no que se refere ao ensino de FMC, mais especificamente, ondas gravitacionais e interferência. Esses conteúdos foram contemplados em virtude da dificuldade que os alunos apresentam em definir e identificar alguns fenômenos ondulatórios (Oliveira, 2018) e na grande escassez de conteúdos de FMC no currículo das escolas de educação básica (Sanches, 2006).

A construção das etapas da SD obedece a traços de duas teorias, mais especificamente, trata-se da união de ambas. A primeira, é a teoria do alinhamento construtivo (Biggs e Tang, 2011), que se configura uma teoria voltada ao planejamento docente para o sucesso na aprendizagem. Já a segunda, refere-se à teoria da aprendizagem significativa (Ausubel, 1980), que é voltada especificamente a aprendizagem, ou seja, a mudança nas estruturas cognitivas causadas por meio dos novos conhecimentos.

Desenvolver um modelo de SD baseadas nos métodos de planejamento e execução do alinhamento construtivo e, em sua aplicação, criar situações e condições favoráveis a formação e desenvolvimento de subsunçores que tornem a aprendizagens dos alunos significativa na perspectiva de Ausubel, é o objetivo principal deste trabalho, além de servir de arquétipo e motivação para professores que acatarem essa proposta.

2. Referencial Teórico

Esse trabalho é baseado em livros, artigos, dissertações e teses que tratam do assunto, e que ao mesmo tempo visam melhorar o ensino ao indicar uma transformação na postura dos alunos, que passam a agir como principais agentes na construção do seu próprio conhecimento. Todo esse processo é mediado pelo professor, que é levado a ter uma nova perspectiva sobre o planejamento na tentativa de alcançar os resultados esperados de aprendizagem.

2.2 Aprendizagem significativa de Ausubel

David Paul Ausubel, foi um importante psicólogo da educação norte-americana e seu trabalho mais importante, ao qual ficou conhecido mundialmente, é a teoria da Aprendizagem significativa, que consiste no processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto considerável da estrutura do conhecimento do indivíduo (Moreira, 2009).

Termos essenciais na teoria de Ausubel, são os subsunçores, que são aspectos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva que servem como âncora para novos conhecimentos que são apresentados ao sujeito (Moreira & Mazini, 2001). Ao serem organizados e armazenados, esses conhecimentos formam um grupo de conceitos que obedecem a uma lógica e hierarquia de subsunçores pertencentes a estrutura cognitiva do sujeito. A aprendizagem, portanto, ocorre através dessa ancoragem de informações que, segundo Moreira (2009), resulta em crescimento ou modificação do conceito subsunçor.

Moreira (2009) relata que na teoria de Ausubel, a aprendizagem mecânica não representa algo totalmente negativo, embora seja pouco significativa. Para o autor, ela consiste em aprendizagem de informações com pouca ou nenhuma interação com subsunçores. Desta forma, a informação é armazenada nas estruturas cognitivas de maneira arbitrária. Isso nos faz compreender que a aprendizagem mecânica é necessária quando o sujeito adquire informação numa área de conhecimento totalmente nova para ele. Depois disso, esses conhecimentos passam a ser subsunçores para novos conhecimentos que são apresentados.

Ausubel elenca algumas condições para que ocorra a aprendizagem significativa (Ausubel, 1980). A primeira é o fato de que o material a ser aprendido deva ser potencialmente significativo para o aprendiz. Já a segunda pressupõe que o aprendiz manifeste uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não-arbitrária a sua estrutura cognitiva.

A associação do alinhamento construtivo de Biggs e a aprendizagem significativa de Ausubel neste trabalho, procura interligar as duas teorias de modo que elas venham a se comunicarem e interagirem, ou seja, haja uma colaboração mútua entre elas, objetivando a melhora da prática docente, e o alcance de seus objetivos. Mais especificamente, acredita-se que a metodologia do alinhamento construtivo em dar ao aluno uma postura mais ativa, leve-o a se aproximar cada vez mais das condições para que ocorra a aprendizagem significativa na perspectiva de Ausubel.

A maneira de avaliar os conhecimentos adquiridos pelo estudante segundo a teoria da aprendizagem significativa, ajusta-se à teoria do alinhamento construtivo. Segundo Moreira (2009), do ponto de vista de Ausubel (1968):

“A compreensão genuína de um conceito ou proposição implica a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Porém, ao se tratar esse conhecimento simplesmente pedindo ao estudante que diga quais os atributos carateriais de um conceito ou os elementos essenciais de uma proposição, pode-se obter apenas respostas mecanicamente memorizadas. Ausubel argumenta que uma longa experiência em fazer exames faz com que os alunos se habituem a memorizar não só proposições e fórmulas, mas também causas, exemplos, explicações e maneiras de resolver “problemas típicos”. (Moreira, 2009 pag. 24)”

Uma maneira de driblar esse tipo de atitude é, segundo Ausubel, procurar evidências de compreensão significativas. Para evitar a “simulação da aprendizagem significativa” é preciso utilizar questões e problemas que sejam novos e não-familiares e requeiram máxima transformação do conhecimento existente. Percebe-se aqui que, assim como na teoria do alinhamento construtivo, a avaliação ganha um significado muito importante na teoria da aprendizagem significativa.

2.2 Alinhamento construtivo

O Alinhamento construtivo constitui-se de uma forma de planejamento de ensino, originada dos conceitos do Construtivismo e da Teoria do Currículo (Souza, 2016), proposta por John Biggs (1998) que estudou a respeito da disposição dos alunos para a aprendizagem, por meio do enfoque que os estudantes dão quando são solicitados para execução de alguma tarefa. Psicólogo e romancista educacional, Biggs também desenvolveu a taxonomia SOLO (*Structure of the Observed Learning Outcome*) para avaliar a qualidade dos resultados de

aprendizagem e o modelo de alinhamento construtivo para projetar o ensino e avaliação (Biggs; Tang, 2011). Ele constatou que os alunos podem dar um enfoque superficial, mais próximo de uma aprendizagem mecânica ou um enfoque profundo, intimamente relacionado com a aprendizagem significativa.

O autor defende o alinhamento construtivo como uma forma de facilitar o processo de aprendizagem através da auto responsabilização dos alunos, com base em pesquisas que ele próprio realizou tanto ao nível de processamento de informação que o aluno realiza, quando está aprendendo, quanto ao tipo de informação que ele trata face às tarefas de aprendizagem (Souza, 2016). O mesmo percebeu que uma estratégia de aprendizagem superficial tende a associar-se a uma disposição também superficial dos alunos, fazendo com que estes inclinem-se a um esforço só para evitar insucesso nas atividades de aprendizagem propostas; enquanto que a estratégia de aprendizagem profunda se conjuga preferencialmente com o envolvimento profundo do aluno com sua aprendizagem, o que potencializa o sucesso na aprendizagem dos estudantes (Gonçalves, 2014).

Para Biggs a aprendizagem profunda está condicionada ao envolvimento e disposição do aluno na tarefa de aprender, ou seja, o aluno deve primeiro querer aprender de fato (Migueis, 2008). Esse contexto, se torna condição para que haja a aprendizagem significativa, termo utilizado por Ausubel para descrever o sucesso na aprendizagem, definindo de maneira simplificada. Partindo deste pressuposto, o alinhamento construtivo constitui-se de uma ferramenta de planejamento para o professor que permitirá ao mesmo alcançar de forma mais eficiente os objetivos de aprendizagem através de métodos e práticas que alinhem ensino e aprendizagem.

Em meio a inúmeros termos inerentes ao planejamento, Biggs e Tang (2011) trazem um enfoque especial aos resultados pretendidos de aprendizagem, que na visão dos autores devem ser claros e objetivos. Os resultados pretendidos de aprendizagem representam o que os alunos devem ter consolidado no final do processo educativo e os métodos de ensino utilizados pelo professor devem estar voltados para o alcance desses resultados (*Ibidem*, 2011). Nesse processo, a avaliação tem papel fundamental, pois servirá de verificador da aprendizagem, e por este motivo deve estar cuidadosamente alinhada com os resultados pretendidos de aprendizagem. (Biggs; Tang, 2010, apud Mendonça, 2014. p.2)

Por meio do alinhamento construtivo, o planejamento e execução da aula ganham uma nova perspectiva, pois todas as ações e métodos utilizados devem estar voltados para o alcance dos objetivos previamente propostos, e estes, devem ser claros e geralmente expressos por verbos que facilitam a compreensão dos resultados pretendidos. Uma parte fundamental do

processo, é o envolvimento do aluno na construção do conhecimento. Biggs e Tang (2011) reforçam que a auto responsabilização dos alunos pela construção do seu próprio aprendizado é fator essencial para que o seja eficiente, em termos de Ausubel, significativo. O professor por sua vez, deve fomentar aulas apropriadas e com elementos que possibilite o máximo envolvimento do aluno, e provoque situações que, através de sua mediação, facilitem o alcance dos objetivos previamente estabelecidos.

Utilizando-se do alinhamento construtivo, o docente passa a ter os resultados pretendidos de aprendizagem como foco do processo, pois são deles que dependem o sucesso ou fracasso das ações. Para alcançar o sucesso, uma aula alinhada, deve conter atividades e ações tanto para os professores, como para os alunos, que ganham um papel dinâmico na aula (Biggs e Tang, 2011). A atenção do professor no planejamento dessas tarefas deve ser prioritariamente voltada aos resultados que passam a ter primazia no planejamento do professor, sendo seguido da forma de validação do conhecimento aprendido e do planejamento das atividades.

Por ocupar um lugar tão especial no planejamento, os resultados pretendidos de aprendizagem devem ser sabiamente definidos. É preciso levar em consideração alguns fatores antes de fomentar esses resultados, segundo Biggs e Tang (2011) são esses:

“Para definir os resultados pretendidos de aprendizagem o professor deve considerar os seguintes fatores: tipo de conhecimento envolvido no aprendizado, determinação dos conteúdos que serão ensinados e nível de compreensão requerida, que é representado por meio de um verbo. (Biggs; Tang, 2011).”

O professor deve observar esses aspectos em seu planejamento, sobretudo na escolha de conteúdos posteriormente abordados em sala de aula, e se os mesmos devem ser aprofundados ou não. Precisa-se examinar também as atividades propostas em sala, pois devem motivar os alunos a alcançar os objetivos de aprendizagem propostos. Biggs e Tang (2011) ressaltam a importância da presença desses objetivos no plano de aula e que eles sejam representados por verbos para facilitar a compreensão dos alunos sobre o que eles devem adquirir ou desenvolver no decorrer da aula.

Um dos pontos mais importantes no planejamento de acordo com a técnica do alinhamento construtivo, é o ato de avaliar o aprendizado. Segundo Souza (2016):

As atividades de avaliação realizadas pelos alunos devem informar se os resultados da aprendizagem foram alcançados e para isso Biggs e Tang (2011) sugerem a consideração de alguns aspectos: estabelecimento de critérios de avaliação, definição

dos tipos de conhecimentos envolvidos na atividade, estabelecimento da quantidade de resultados pretendidos da aprendizagem, definição se um resultado será avaliado em mais de uma avaliação, estabelecimento do formato da avaliação, reflexão sobre o tempo gasto com a avaliação e se essa é possível administrar. (Souza; 2016)

No processo de avaliação, deve-se perceber a preocupação tanto do professor quanto do aluno no sucesso do alcance do aprendizado (Biggs; Tang, 2011). Através da validação o professor poderá verificar se sua ação docente teve influência sobre o aprendizado do aluno. Mesmo que avaliação testifique o fracasso no alcance dos resultados, o aluno, por meio da sua auto responsabilização, entenderá que deverá estudar ou dedicar-se mais para atingir os objetivos que já são do seu conhecimento.

Defende-se aqui a fase de planejamento do professor como essencial na aquisição de uma aprendizagem significativa. A teoria do alinhamento construtivo traz bases metodológicas e teóricas que fundamentam a prática docente na tentativa de envolver o aluno de forma ativa na aquisição do seu próprio aprendizado. Dar ao aluno um papel dinâmico, e incorporar essa intenção ao planejamento, é expressivamente coerente no alcance dos objetivos de aprendizagem bem definidos pelo professor e conhecidos pelos alunos. Para isto, a prática docente deve estar cuidadosamente alinhada desde a definição dos resultados esperados de aprendizagem até a validação dos conhecimentos adquiridos pelos alunos.

Diante do apresentado, os métodos de planejamento e execução da teoria de Biggs, servem como geradores de condições para que ocorra a aprendizagem significativa descrita por Ausubel. Essas duas teorias, constituem uma firme base teórica para o investimento em uma SD eficiente e facilmente aplicável em sala de aula. É importante ter em mente, que os objetivos dessas duas teorias são análogos, e representam o sucesso no processo de ensino-aprendizagem.

3. Materiais e Métodos

Este trabalho trata-se de uma pesquisa de campo (Pereira et al., 2018) que investiga a o impacto da aplicação de uma SD em duas turmas do ensino médio, no que se refere a aprendizagem de conceitos físicos de ondas gravitacionais e interferência. Observando o acervo metodológico de Pereira (2018), esta pesquisa é de natureza quali-quantitativa, pois apresenta levantamento de dados numéricos, há o tratamento de alguns dados coletados de forma descritiva e uma evidência da importância do processo, e não somente dos resultados.

Anteriormente a elaboração da SD estabeleceram-se os objetivos de aprendizagem, ou seja, houve uma reflexão acerca de quais habilidades *intencionava-se* que os estudantes

adquirissem ao fim das etapas. Em seguida, antes mesmo do desenvolvimento dessas etapas, pensou-se em como esses objetivos seriam avaliados, em consonância com a teoria do alinhamento construtivo, uma das fundamentações teóricas dessa produção. A teoria relata que é extremamente importante ter em mente, de forma clara e precisa, os objetivos de aprendizagem que se pretende alcançar com a aplicação da SD (Biggs e Tang, 2011).

Desta forma, praticamente todos os procedimentos foram posteriormente preparados, baseados nesses objetivos e na validação da aprendizagem, para que seja significativa na concepção de Ausubel. Os objetivos de aprendizagens pretendidos com a aplicação da SD são:

- *Reconhecer a importância da detecção das ondas gravitacionais para a ciência;*
- *Desenvolver noções sobre o espaço-tempo e sua relação com a gravidade e corpos massivos;*
- *Descrever os principais eventos do universo que produzem ondas gravitacionais detectáveis na terra;*
- *Relacionar o fenômeno da interferência com a detecção das ondas gravitacionais.*

A SD foi aplicada em duas turmas de 3ª série de uma escola de educação profissional integrada a ensino médio da cidade de Camocim – CE no ano de 2020. Toda a execução das atividades tem um total de oito etapas e cada uma foi elaborada para acontecer em uma aula (50 min), visando facilitar o planejamento docente e a execução das atividades.

Para melhor compreensão e análise sistemática da metodologia da SD, fraciona-se a mesma em três tópicos: problematização; conceituação e experimentação; e validação da aprendizagem.

3.1 Problematização

- ***1ª etapa***

A aplicação da SD inicia-se com a tentativa de despertar a curiosidade dos estudantes para o assunto que será tratado no decorrer das aulas posteriores. Para tal, a proposta é de trazer o assunto para o cotidiano com o auxílio de um projetor e *slides* com manchetes sobre a descoberta das ondas gravitacionais (*ligo.org*) de diferentes veículos de comunicação. Segue na Figura 1 o exemplo de um dos *slides* apresentado aos estudantes na problematização.

Figura 1: Fragmento do *slide* de problematização



Fonte: Matérias da SD, (2020).

É possível perceber na Figura 1 que o conteúdo de ondas gravitacionais é visualmente atraente e essa característica traz um impacto logo no início da aplicação da SD. A apresentação também trouxe o vídeo de uma reportagem sobre o assunto, e depois, uma notícia com o título *“Por que detectar ondas gravitacionais é uma das mais importantes descobertas da física”* do *jornal NEXO*, disponível em nexojournal.com.br, que foi trabalhada procurando sempre a interação e a abertura ao diálogo.

No decorrer da leitura, a seguinte problemática foi levantada: *“Por que detectar ondas gravitacionais é uma das mais importantes descobertas da física?”*. Findada a leitura os estudantes puderam expor suas colocações acerca do tema e foram convidados a fazer um pré-teste, para verificar se a etapa despertou subsunçores. O teste inicial foi composto de quatro itens, um para cada um dos três primeiros objetivos de aprendizagem, e outro sobre o conteúdo de interferência. A justificativa para o último objetivo não ser avaliado é apresentada nos resultados. A problematização abordou com mais ênfase, o primeiro dos objetivos estipulados: *“Reconhecer a importância da detecção das ondas gravitacionais para a ciência”*.

3.2 Conceituação e Experimentação

O momento de conceituação trata-se de uma investigação mais aprofundada do assunto e é onde a aprendizagem ocorre de maneira mais evidente, pois os estudantes passam a ter contato com uma maior bagagem teórica, além de ser um momento de grade interação onde surgem muitas dúvidas e são esclarecidas. Embora seja mais evidenciada na exposição do conteúdo em si, a conceituação também pode ocorrer em outros momentos da SD, como por exemplo na experimentação, esta ocorrência também é explanada nos resultados.

O estudante também precisa perceber que essa é uma das partes mais importantes da aplicação do processo, pois é o momento de apropriação do assunto. É relevante salientar que o conteúdo deve ser apresentado aos estudantes de forma clara e significativa, considerando sempre os objetivos de aprendizagem. Todas as ações e atividades devem ser voltadas a esses objetivos, ou seja, as aulas de conceituação devem ser elaboradas de maneira que venham a contemplar todos eles.

Admite-se que atividades que não são alinhadas com os objetivos de aprendizagem são menos efetivas no alcance da aprendizagem pretendida. Para analisar esse pressuposto, propositalmente um dos objetivos não tem a totalidade das ações alinhadas. A consequência desse ato, também é apresentada nos resultados.

Seguido de cada momento em sala, vem também um momento de experimentação, assim sendo, espera-se que o estudante venha abstrair o conhecimento de maneira mais eficiente e com significado em seis aulas de conceituação, incluindo atividades experimentais que servem de consolidação da aprendizagem e aprofundamento do conteúdo visto em sala. Os experimentos, com exceção do último da sequência, também são pensados de acordo com os objetivos de aprendizagem.

- **2ª etapa**

Essa aula tem como propósito principal o alcance do segundo objetivo de aprendizagem: “*desenvolver noções sobre o espaço-tempo e sua relação com a gravidade de corpos massivos*”. É sempre importante estimular a reflexão e o pensamento crítico dos estudantes, além de levá-los a desenvolver uma linguagem científica e o incentivo à pesquisa. Por esse motivo há nessa etapa a leitura em sala de um fragmento de uma publicação da revista Superinteressante, disponível em super.abril.com.br, que matem uma linguagem científica, mas acessível e bastante explicativa.

Em pormenores, o assunto espaço-tempo dentro da FMC, mais especificamente dentro da relatividade, é em partes complexo, mas voltando aos nossos objetivos de aprendizagem, deseja-se apenas desenvolver noções sobre o assunto.

Uma vez que os estudantes já estão inseridos dentro de um contexto, se utiliza de uma apresentação de *slides* elaborados pensando no alcance do objetivo citado. A principal fonte para a produção de quase toda conceituação e experimentação dessa SD foi o um guia disponibilizado pelo próprio site do *LIGO* (ligo.org) que tem como título “*Observação direta*

de Ondas gravitacionais: Guia do professor”. Como o material é bem completo, apenas alguns fragmentos, cuidadosamente separados foram extraídos para montagem da apresentação.

- **3ª etapa**

A experimentação é um dos momentos que mais chama atenção dos estudantes, e no caso da SD, a experimentação é utilizada como uma tentativa de dar ao estudante um papel mais ativo na construção do seu próprio conhecimento que, na visão de Biggs e Tang (2011), é fator essencial na aprendizagem.

Os estudantes são desafiados a construir uma representação do tecido espaço-tempo com materiais simples e acessíveis. Em cada uma das turmas de acordo com seus horários, os estudantes são divididos em grupos de quatro ou cinco, sendo um diagrama de imersão por grupo. Pela simplicidade do experimento, esta aula pode acontecer no laboratório ou em sala de aula.

Mesmo a representação sendo limitada, pois refere-se a um modelo em duas dimensões, acredita-se que os estudantes compreenderão como os corpos massivos distorcem o tecido espaço tempo. Percebe-se que esta experimentação conversa com o objetivo de aprendizagem anteriormente descrito, na tentativa de alcançá-lo. É necessário que cada grupo trabalhe com os materiais abaixo relacionados:

- ✓ 1 balde com diâmetro acima de 25 cm;
- ✓ 1 metro de elástico 7 mm;
- ✓ 1 pedaço de tecido elástico com 30 cm x 30 cm ou mais.
- ✓ Esferas de diferentes massas e tamanhos (Exemplo: esfera de isopor, rolamentos metálicos, esferas de plástico, bolas de gude etc.).

E os procedimentos para construção são:

1. Posicione o balde com a borda voltada para cima e retire a alça se for possível.
2. Cubra a borda superior totalmente com o tecido sem tensioná-lo (estica-lo), deixando uma sobra de tecido para fora da borda de 3 cm no mínimo.
3. Prenda o tecido no balde sobrepondo o elástico à sobra de tecido na lateral do balde. É importante ter cuidado para não tensionar o tecido.

Vale salientar que as observações feitas durante esse experimento também serão úteis para as aulas seguintes. Depois de construído, os alunos respondem alguns questionamentos contidos no final do roteiro de experimentação e as respostas são recolhidas. A Figura 2 mostra o resultado do diagrama de imersão depois de finalizado:

Figura 2: Diagrama de imersão
construído com materiais acessíveis



Fonte: Autores.

Percebe-se na Figura 2 apresenta a simplicidade da experimentação ao mesmo tempo que sua eficiência em demonstrar a distorção no tecido espaço-tempo na presença de massa. Acredita-se que esses aspectos sejam motivadores para reprodução desta SD.

- **4ª etapa**

Nesta etapa associa-se o assunto que se abordou até o momento, com um conteúdo que faz parte do componente curricular de física no ensino médio, que é interferência (Brasil, 2002). Isso ocorre por meio do detector de ondas gravitacionais *LIGO*, que é explanado nesta aula. Para isso também se utiliza uma metodologia expositiva utilizando *slides*.

- **5ª etapa**

Essa também é uma etapa de experimentação realizada pelos estudantes, e será construída a representação de um sistema binário também com material acessível. São necessários os seguintes materiais:

- ✓ Corda – fio de nylon ou linha de pesca de espessura média funcionam melhor, mas qualquer corda lisa deve ser suficiente;
- ✓ Peso – um peso para dinamômetro sem o gancho.
- ✓ Duas bolas – duas bolas de tênis podem ser as mais fáceis de serem vistas e presas a corda. Bola de tênis por exemplo.

No roteiro da experimentação os procedimentos a serem seguidos são:

1. Corte um pedaço de corda de 1-3 metros;
2. Anexe duas bolas em cada extremidade da corda. Se estiver usando bolas de tênis, use uma navalha ou faca para cortar um entalhe de 2-4 cm na bola. Aperte a bola para abrir o entalhe e empurre a ponta da corda;
3. Pegue a corda no centro e passe-a pelo peso;
4. Faça um pequeno laço na corda no seu ponto central. Pendure o laço no gancho. As bolas de tênis devem ficar lado a lado na mesma altura. O peso descansará na parte inferior da corda logo acima das bolas de tênis;
5. Pendure a demonstração em um espaço aberto.

Ao final do experimento, os estudantes respondem a questionamentos orais feitos pelo professor, mas que estão no roteiro, para provocar as discussões durante a observação do experimento.

- **6ª etapa**

Essa é a atividade que não está alinhada com o último objetivo de aprendizagem pois não contempla ações que levem os estudantes a associarem o fenômeno da interferência abordado na experimentação com a detecção das ondas gravitacionais. Finalizando a conceituação da SD foi elaborada uma atividade experimental diferenciada, para isso utilizou-se um TIC, mais especificamente uma animação computacional do site “*Phet Interactive Simulations*” fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman. Para essa atividade é necessário um computador por aluno ou pode ocorrer em dupla. É solicitado que os estudantes abram o arquivo em HTML no computador, que é gratuito e executável em qualquer navegador.

Antes do início da aula foi certificado que todos os computadores estivessem com o arquivo na área de trabalho. Foi entregue aos alunos um roteiro de experimentação onde eles puderam ser autônomos na aula, pois a mediação do docente nessa etapa restringe-se ao auxílio

na manipulação da animação caso seja necessário. Os últimos 15 minutos da aula foram reservados para discussões com os estudantes sobre o que observaram e aprenderam.

3.3 Verificação

- **7ª etapa**

Na verificação da aprendizagem o propósito é averiguar se o esforço empregado na aplicação da SD surgiu resultados. Isso ocorreu por meio da aplicação de um pós-teste que foi elaborado alinhado com os objetivos de aprendizagem, assim como o pré-teste, mas este contempla todos, não apenas os três primeiros considerados no teste anterior.

Ao elaborar ou pesquisar itens para o pós-teste, foi levado em conta os mesmos aspectos do pré-teste, mas dessa vez com questões mais desafiadoras, que avaliem o alcance dos resultados pretendidos e, ao mesmo tempo, mostrem uma aprendizagem significativa.

No caso deste trabalho, a análise da eficácia da SD é por meio da comparação de alguns resultados do pré-teste e do pós-teste, bem como, através da avaliação do desenvolvimento dos estudantes no decorrer da aplicação.

- **8ª etapa**

Esta etapa foi programada para preencher a lacuna deixada pela última atividade de experimentação (6ª etapa), visto que ela não contempla o derradeiro objetivo de aprendizagem. Para finalizar as atividades da SD, também como um meio de verificação da aprendizagem, foi solicitado aos estudantes que elaborassem mapas mentais sobre o que haviam aprendido no decorrer das aulas.

Para a ocasião os estudantes deveriam ter em mãos folha de papel A4, canetinhas, recortes de livros e revistas, pincéis e outros materiais de sua escolha. O comando foi para que cada estudante organizasse o conhecimento aprendido sobre a relação entre a detecção das ondas gravitacionais e o fenômeno ondulatório da interferência em uma folha de papel, de forma resumida e sistemática. Percebe-se que nessa atividade o último objetivo de aprendizagem é abrangido. Concluídos os mapas mentais, eles são recolhidos.

4. Resultados e Discussões

A análise dos resultados apresentados a seguir estão dispostos de maneira que venham a evidenciar o sucesso ou fracasso no alcance de cada um dos objetivos de aprendizagem propostos. Embora as duas turmas juntas somem 81 estudantes, foram avaliados um total de 78, pois este foi o número de estudantes que estiveram presentes em todas as etapas da SD. Três alunos faltaram em pelo menos uma das etapas, e por esse motivo não tiveram seus resultados e produções considerados, mas participaram ativamente das aulas em que estavam presentes, ou seja, apenas os estudantes que foram assíduos em todas as etapas fazem parte desta discussão dos resultados. Para melhor compreensão na referência a cada um dos objetivos, eles foram dispostos e identificados em ordem numérica.

- **Objetivo 1:** *Reconhecer a importância da detecção das ondas gravitacionais para a ciência;*

Como já relatado, o pré-teste traz quatro questões objetivas, três voltadas para os objetivos de 1 a 3, e uma sobre interferência. A questão de número 1 do pré-teste, foi retirada da aplicação em 2018, da prova de seleção do MNPEF. Pode até parecer incoerente para alunos do ensino médio e ainda mais para um pré-teste, mas o item traz um questionamento simples acerca da importância das ondas gravitacionais.

No pós-teste, o objetivo 1 também foi avaliado no primeiro item e, além da pergunta, continha ainda espaço para que os estudantes justificassem sua escolha. O resultado dos estudantes nos dois testes é apresentado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Comparação do resultado referente ao objetivo 1.

	Nº de acertos	Nº de não acertos
Pré-teste	48	30
Pós-teste	77	1

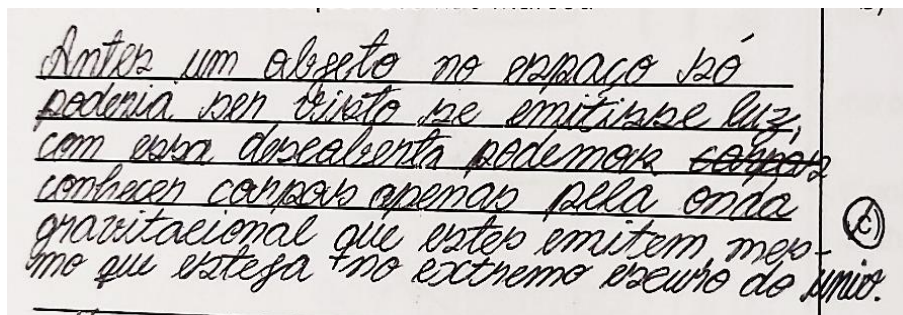
Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

A Tabela 1 apresenta que mesmo no pré-teste, a maior parte dos estudantes acertaram ao item. Como é perceptível, isto deve-se a própria etapa da problemática, que trouxe consigo ferramentas que possibilitassem os estudantes a formarem subsunçores (Ausubel, 1980) por meio de vários aspectos da aula, como por exemplo: as manchetes apresentadas, as discussões em sala e a leitura do fragmento da notícia. Tal fato coopera com a perspectiva de ambas as

teorias fundamentadoras desse trabalho. No que compete ao Alinhamento Construtivo, trazer uma problemática inteiramente pensada no alcance do primeiro objetivo de aprendizagem (Biggs e Tang, 2011) mostrou-se eficiente, visto que o assunto abordado é recente e alheio ao currículo dos estudantes. Já no que se refere a teoria da Aprendizagem significativa, pode-se perceber que a etapa provocou uma aquisição de conhecimentos que servirão como apoio (Moreira, 2009) aos demais que irão ser apresentados nas etapas seguintes.

No tocante ao pós-teste, nota-se um crescimento notável na quantidade de alunos que respondeu corretamente ao questionamento. Isso expõe que as demais etapas da SD, embora abordassem outros objetivos específicos, também estão alinhadas com o objetivo 1, facilitando ainda mais a aprendizagem. Como se pode visualizar na Figura 3, no espaço destinado aos comentários, o ESTUDANTE A escreveu: “*Antes, um objeto no espaço só poderia ser visto se emitisse luz, com essas descobertas podemos conhecer corpos apenas pela onda gravitacionais que esses emitem, mesmo que estejam no extremo escuro do universo*”.

Figura 3: Comentário do ESTUDANTE A acerca da importância da descoberta das ondas gravitacionais



Antes um objeto no espaço só
podia ser visto se emitisse luz,
com essas descobertas podemos
conhecer corpos apenas pela onda
gravitacional que estes emitem mes-
mo que estejam no extremo escuro do universo.

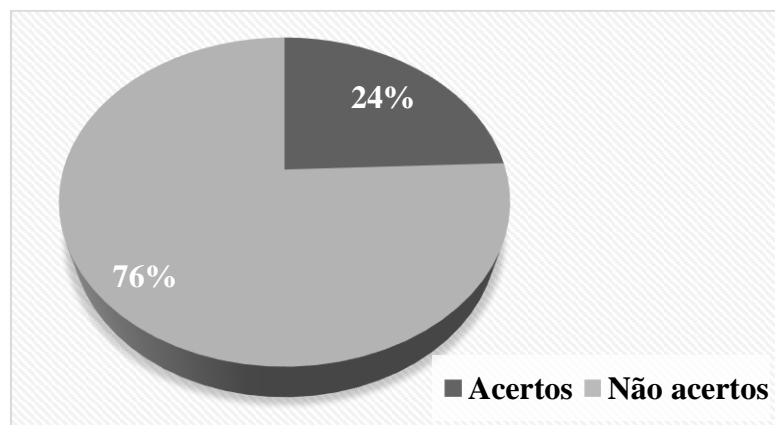
Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

Repara-se nesse comentário, que para esse discente, o impacto das etapas da SD foi além dos objetivos de aprendizagem propostos, visto que nessa nota, identifica-se um conhecimento avante as noções pretendidas. O estudante não apenas reconhece a importância da descoberta das ondas gravitacionais, mas também relata sobre o assunto dando exemplos práticos e coerentes.

- **Objetivo 2:** Desenvolver noções sobre o espaço-tempo e sua relação com a gravidade e corpos massivos;

O pré-teste revelou uma desinformação da maioria dos alunos acerca da relação entre o espaço-tempo e relatividade, principalmente no que se refere a associação dessa curvatura com uma quarta dimensão como se pode ver no Gráfico 1:

Gráfico 1: Porcentagem de estudantes que acertaram e que não acertaram o item do pré-teste acerca do objetivo 2



Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

Depois disso, este objetivo foi contemplado na segunda e terceira etapa da aplicação da SD. Tratou-se da leitura de um artigo e da apresentação de noções sobre a teoria da relatividade de Einstein, com foco na definição de distorção espaço-tempo, por meio de *slides* contendo uma associação entre o entendimento de gravidade para a física clássica e moderna.

No decorrer de toda aula era notória a participação da grande maioria dos estudantes com dúvidas e complementos acerca do assunto. Algumas colocações foram questionamentos acerca do motivo pelo qual apenas a concepção de Newton de gravidade era ensinada na escola, e por quais razões a concepção de Einstein não era cobrada no Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM. Estes questionamentos reforçam a necessidade do ensino de FMC nas escolas de ensino médio, não apenas por carência, mas também por anseio dos próprios estudantes.

Concluída essa teorização, os alunos foram convidados a construir um diagrama de imersão que simulava, mesmo que de maneira limitada, a distorção do espaço-tempo ocasionada pela presença de corpos massivos. Portando os materiais anteriormente solicitados

e reunidos em grupos, os estudantes seguiram um roteiro de experimentação e construíram, cada grupo, o seu experimento. A Figura 4 aponta a atividade:

Figura 4: Manipulação pelos estudantes de um diagrama de imersão construído na experimentação da 3ª etapa.



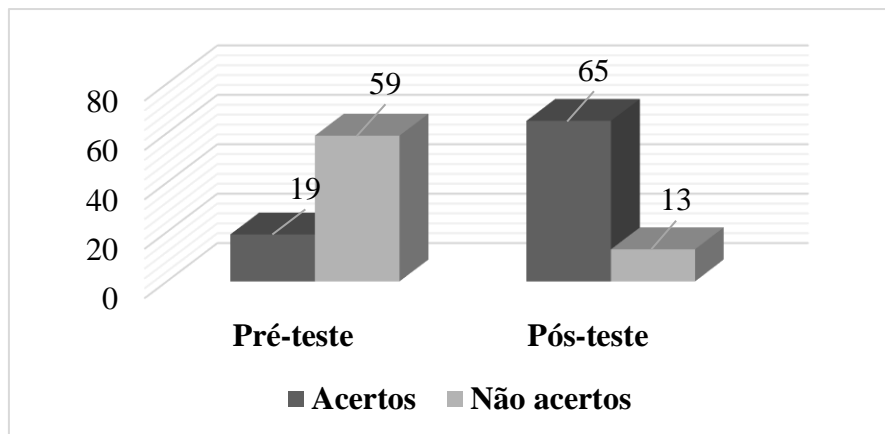
Fonte: Autores.

A Figura 4 apresenta a manipulação do experimento por um dos grupos. É perceptível a atenção dos estudantes ao experimento. Embora a imagem mostre apenas um dos estudantes manuseando efetivamente o diagrama, todos os estudantes de cada grupo puderam operar o instrumento.

O roteiro de experimentação continha alguns desafios que colaboram com a compreensão do espaço-tempo e sua relação com o movimento dos planetas e outros corpos celestes. Um dos desafios era fazer com que uma esfera menor orbitasse uma esfera maior no centro do diagrama. Muitos estudantes testificaram sobre como ficou mais compreensível o entendimento do movimento circular dos planetas, e o papel da curvatura do espaço-tempo nesse contexto.

Diferentemente do pré-teste, onde os estudantes deveriam apenas apontar uma definição simples de espaço-tempo, no pós-teste, além de defini-lo, é necessário que os estudantes expliquem a causa que implica no fato de objetos levarem o mesmo tempo para cair no vácuo e relacionem com a definição. Essa relação foi rapidamente abordada na leitura do artigo na segunda etapa. Coletadas as respostas dos estudantes, a quantidade de acertos foi comparada com o resultado do pré-teste de acordo com o Gráfico 2:

Gráfico 2: Comparação do resultado referente ao objetivo 2.



Fonte: Dados da Pesquisa, (2020)..

O número de alunos que acertaram o questionamento acerca do objetivo 2 subiu de cerca 24% para aproximadamente 83% do total de alunos avaliados. Isso mostra que as atividades das etapas descritas tiveram grande impacto sobre a aprendizagem dos estudantes, à medida que a maioria adquiriu a habilidade de definir simplificada e espaço-tempo de acordo com a teoria da relatividade e também relacionar com um conteúdo de queda livre presente no currículo do ensino médio, contribuindo com a teoria de Ausubel de ancoragem do novo conhecimento à um conhecimento preexistente (Moreira, 2009).

Também se associa o crescimento no número de êxitos à atividade de experimentação, onde os estudantes puderam ter uma participação mais ativa na própria aprendizagem que segundo Biggs e Tang (2011), é fator preponderante para uma aprendizagem e deve ser levado em consideração no planejamento das ações pelo professor.

- **Objetivo 3:** *Descrever os principais eventos do universo que produzem ondas gravitacionais detectáveis na terra.*

A teorização para os objetivos 3 e 4 tem configuração bem semelhante a conceituação do objetivo 2, pois contém uma apresentação de *slides* que foi feita em sala de aula de forma expositiva, mas desta vez, a apresentação traz informações acerca de eventos que produzem ondas gravitacionais detectáveis pelos observatórios terrestres. Durante a aula é feita uma apreciação do observatório de ondas gravitacionais mais famoso do mundo, o *LIGO*, e há comentários acerca de noções básicas do mecanismo utilizado para detecção dessas ondas, o interferômetro.

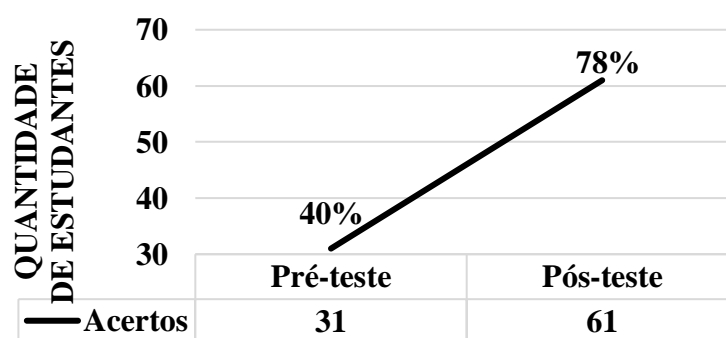
Faz parte da apresentação alguns vídeos de experimentações e animações que simulam o comportamento de sistemas binários de corpos massivos, sistemas esses que foram responsáveis pela primeira detecção das ondas gravitacionais em 2015 (Abbott, 2016). Na oportunidade, os estudantes também puderam ouvir o padrão de interferência captado pelo *LIGO*, convertido em ondas sonoras, advindos da fusão de dois buracos negros que ocorreu a cerca de 1,3 bilhões de anos-luz de distância da terra (Abbott, 2016).

Tais informações, acompanhadas da visualização das simulações, deixaram os estudantes envolvidos e cativados pelo assunto, fato mostrado pelas inúmeras perguntas a respeito de aprofundamentos e solicitações para reprisar os vídeos e animações. Para investigar o conhecimento dos estudantes acerca do objetivo 3, o pré-teste abrange uma pergunta que indaga sobre a origem de uma onda gravitacional.

Depois de todas as etapas da SD, ficaria evidente que iriam associar sistemas binários às ondas gravitacionais, por esse motivo, o questionamento do pós-teste para o objetivo 3, solicita que o estudante tenha a habilidade de associar o tamanho da órbita de um sistema à sua velocidade no que se refere a espiralar.

O ato de avaliar os mesmos objetivos do pré-teste, mas em contextos mais intrincados nos pós-teste, é proposital e coopera com a visão de Ausubel já expressa neste trabalho. O autor relata que para evitar a “simulação da aprendizagem significativa” é necessário utilizar questões e problemas que sejam novos e não-familiares e requeiram máxima transformação do conhecimento existente, afirma também que os subsunçores são organizados hierarquicamente e, ao ancorarem uma informação nova, resultam no crescimento e modificação do conceito subsunçor (Moreira & Mazini, 2001, pag. 18), e a indicação desse progresso é verificada no pós-teste. O Gráfico 3 apresenta o a evolução do número de acertos referente ao objetivo 3.

Gráfico 3: Evolução do número de acertos referente ao objetivo 3.



Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

Fica claro no Gráfico 3 a evidência do crescimento em comparação ao pré-teste, mesmo com uma maior complexidade do fenômeno em comparação ao pré-teste. Semelhantemente ao que ocorre no objetivo 2, o objetivo 3 também é alcançado na maioria dos alunos avaliados. Mais uma vez, a circunstância traz veracidade à teoria da aprendizagem significativa e do alinhamento construtivo, no caso, na associação de ambas.

Grande parte desse crescimento é correlacionado também a aula experimental, onde os estudantes, no laboratório, puderam manipular uma experimentação que simula o comportamento de um sistema binário construído com materiais acessíveis. A Figura 5 traz um registro do momento:

Figura 5: Manipulação pelos estudantes de uma representação do comportamento de um sistema binário.



Fonte: Autores.

Como mostra Figura 5, ao passo que os estudantes eram desafiados a fazerem as esferas girarem em torno de um eixo em comum, no caso a fração dos fios que saíam da parte inferior do peso, algumas indagações contidas no roteiro foram feitas durante a experimentação. Uma das indagações era: “*Conforme o peso desce, o cordão e conseqüentemente a distância entre as esferas diminui, o que ocorre com as esferas?*”.

Prontamente os estudantes respondiam que elas *ficavam mais rápidas* ou *giravam mais rapidamente*, pois é o que era observado nitidamente com a experimentação. Mas o clímax da experimentação inerente a aprendizagem e alcance do objetivo 3, foi o convite aos estudantes

a relacionarem o que estavam observando com o comportamento do sistema binário. Depois de muitas interações, ficou claro que a diminuição da órbita do sistema resulta no aumento da velocidade angular das esferas integrantes do sistema.

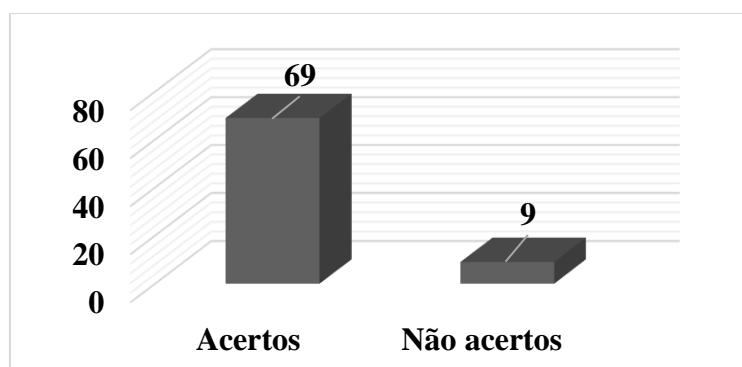
Como complemento ao momento de reflexão e experimentação, foi deixado perceptível aos estudantes que as esferas se aproximavam cada vez mais porque o peso dissipa a energia do sistema. Outra uma vez eles foram indagados: “*em uma situação real de sistemas binários espiralando, quem faria o papel do peso?*”. E novamente, grande parte dos estudantes, de imediato responderam: *as ondas gravitacionais*.

O experimento, juntamente com a interação em seu decorrer, evidenciou aos estudantes que um sistema binário dissipa parte da sua energia em forma de ondas gravitacionais. Isso pode ser observado no crescimento apontado pelo Gráfico 3, o que novamente coopera com a teoria do alinhamento construtivo de Biggs e Tang (2011), em dar um papel mais protagonista ao estudante colocando-o em uma posição de auto responsabilização pelo próprio aprendizado.

- **Objetivo 4:** *Relacionar o fenômeno da interferência com a detecção das ondas gravitacionais.*

O pré-teste não trouxe uma questão para avaliar o objetivo 4, visto que devido ausência total do assunto no currículo e o impacto da descoberta, embora grandioso, ser recente e um tanto restrito a esfera acadêmica. Mas detém um questionamento acerca do fenômeno de interferência. A pergunta é simples e avalia a formação de interferências construtivas e destrutivas, e o resultado é apresentado no Gráfico 4, que é esperado, uma vez que os estudantes já viram o conteúdo de fenômenos ondulatórios no ano anterior.

Gráfico 4: Resultado do pré-teste referente ao conteúdo de interferência.



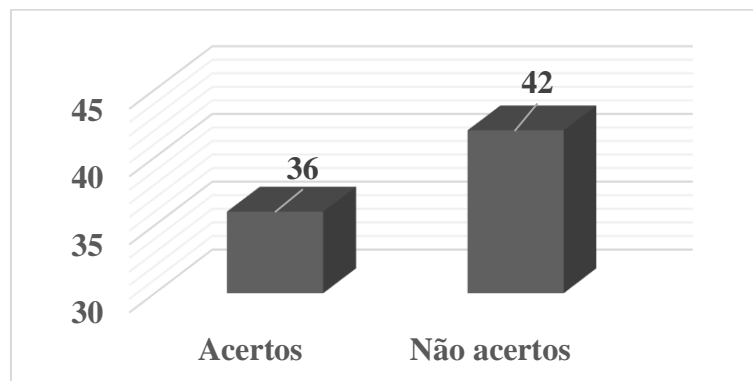
Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

Para destacar a importância de fomentar ações baseadas nos objetivos que se pretende alcançar, as atividades voltadas para o objetivo 4 foram organizadas com um aspecto diferente dos demais objetivos.

A conceituação seguiu os mesmos moldes dos demais, pois esse fragmento do conteúdo também foi conceituado utilizando apresentação de *slides* como descrito no tópico anterior. Mas a atividade de experimentação foi planejada de forma não alinhada com o objetivo 4 de aprendizagem. Nessa experimentação os estudantes manipularam uma animação computacional onde foi disponibilizado um tempo para se familiarizarem com a simulação e entregue um roteiro com algumas etapas e observações a serem registradas. O roteiro é repleto de comandos que levam os estudantes a refletirem sobre o fenômeno ondulatório de interferência, mas não traz qualquer relação ou associação com as ondas gravitacionais conforme solicita o resultado pretendido.

Percebe-se que embora a atividade tenha sido experimental e os estudantes tenham participado ativamente do processo, a atividade não levou em consideração o objetivo de aprendizagem. Já a validação, ou seja, a pergunta que aborda o objetivo no pós-teste, traz um questionamento específico acerca do fenômeno e sua relação com a detecção das ondas gravitacionais. O resultado é expresso Gráfico 5:

Gráfico 5: Resultado do pós-teste referente ao objetivo 4.



Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

Concebe-se agora, que o resultado não é assertivo em comparação aos demais objetivos de aprendizagem anteriores, que tiveram suas atividades alinhadas com os resultados pretendidos. Para isentar a associação desse resultado ao fato de a atividade de experimentação ter ocorrido no laboratório de informática por meio de um computador, diferente das anteriores que ocorreram no laboratório de física e sem a presença de TICs, no final do roteiro os

estudantes foram levados a relatarem sobre a experiência com simulação. A maioria esmagadora dos estudantes avaliaram a vivência como positiva, e o restante simplesmente deixou em branco e não houve quem avaliasse a atividade de forma negativa. Abaixo, a Figura 6 mostra um registro do momento:

Figura 6: Experimentação usando uma simulação sobre interferência



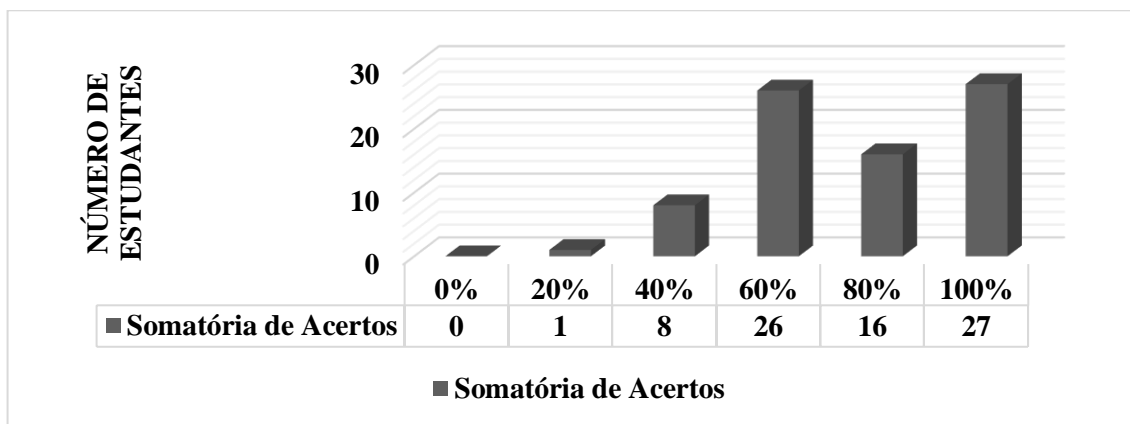
Fonte: Autores.

No registro da Figura 6 percebe-se os estudantes empenhados na resolução das etapas do roteiro de experimentação que, não estando alinhada com o objetivo de aprendizagem, associa o resultado desfavorável apresentado no Gráfico 5 a mudança na estruturação das atividades voltadas a este objetivo de aprendizagem, que foi proposital para mostrar o benefício da proposta deste trabalho. Mais especificamente, se pode fazer duas observações para justificar o resultado. A primeira trata-se do que é proposto na teoria do alinhamento construtivo, como citado anteriormente, o professor deve desenvolver atividades e ações em suas aulas de maneira que venham a propiciar a facilitar o alcance dos objetivos de aprendizagem anteriormente definido (Biggs e Tang, 2011). A segunda refere-se a teoria de Ausubel quando relata que a aprendizagem significativa ocorre quando ancora-se em subsunçores relevantes presentes na presente na estrutura cognitiva de quem aprende (Moreira & Mazini, 2001, pag. 17), o que não ocorreu na etapa da SD, pois as novas informações tinham pouca interação com os conceitos relevantes na estrutura cognitiva (Moreira & Mazini, 2001, pag. 18) inerentes ao objetivo 4, não caracterizando a aprendizagem como significativa para o objetivo proposto.

É importante destacar que este fato não expressa um fracasso na atividade de experimentação, mas sim que a atividade não estava alinhada com o objetivo 4 de

aprendizagem. Outros resultados estão contemplados na atividade de experimentação, mas não são intencionais para esta SD. Para confirmar esse fato, o pós-teste trouxe também uma questão acerca de vários aspectos de ondulatória e interferência, conteúdo abundante na experimentação, onde os estudantes deveriam apontar em um total de cinco afirmações, quais eram verdadeiras ou falsas. Desta forma, cada afirmação que o estudante avalie corretamente, corresponde a 20% de acerto da questão, se avaliar corretamente as cinco, corresponde a 100% de acertos, e 0% caso não qualifique nenhuma afirmação acertadamente. O resultado é expresso no Gráfico 6 abaixo:

Gráfico 6: Resultado da questão do pós-teste sobre interferência.



Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

Perceba que nenhum aluno apontou desconhecimento total acerca das afirmações e, mais ainda, a grande maioria dos alunos, cerca de 88%, acertaram a maior parte das afirmações. Isso caracteriza uma evolução, ou seja, as atividades propostas para o alcance do objetivo 4 não cai em desmerecimento, mas é importante salientar que não cooperaram consideravelmente para o resultado de aprendizagem pretendido como requer a teoria de Biggs e Tang (2011).

Mesmo o resultado do Gráfico 6 apresentando que a maioria dos estudantes tem habilidades referentes ao conteúdo de ondulatória e interferência, é necessário que consigam relacionar esse conteúdo com a detecção das ondas gravitacionais como requer o objetivo 4. Uma outra etapa foi adicionada a SD com a intenção de alcançá-lo. Como a última etapa ocorreu depois da aplicação do pós-teste, para validar esse objetivo, utiliza-se o próprio produto da etapa, que se trata de uma atividade alinhada com o que se pretende alcançar, e que demanda a construção de um mapa mental.

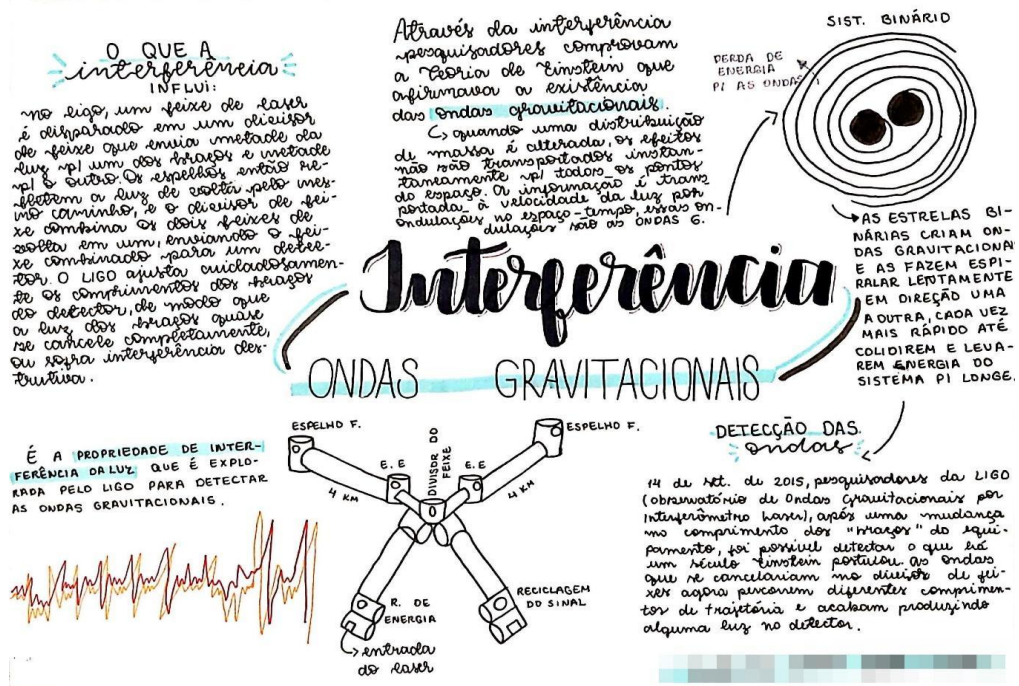
Aos estudantes foi solicitado que organizassem os conteúdos vistos no decorrer das aulas, de preferência em uma folha A4, relacionando a detecção das ondas gravitacionais com

interferência de forma resumida e sistemática, mas que contivesse termos importantes para a compreensão dessa relação, no término da aula os mapas foram recolhidos.

Avaliar por meio de mapas mentais requer mais tempo e atenção em comparação com a contabilização das respostas das questões objetivas, mas abre uma perspectiva muito mais ampla para verificação da aprendizagem. Por meio da leitura e análise dos mapas mentais, é possível abstrair muitas informações sobre a aprendizagem dos estudantes como: riqueza na linguagem, organização das ideias, poder de síntese, entre outros. Para análise do desenvolvimento desse objetivo, se discrimina três categorias de mapas conceituais que são exemplificadas a seguir:

- **Categoria 1:** Mapas mentais que apresentaram uma relação que demonstre uma organização de ideias claras da associação entre o fenômeno da interferência e a detecção das ondas gravitacionais. Apresente menção ao *LIGO* e a utilização da luz como o tipo de onda responsável por apresentar interferência como evidência da passagem de uma onda gravitacional. A Figura 7 configura um exemplo desta categoria de mapa, que foi elaborado por um estudante na última etapa.

Figura 7: Mapa mental elaborado por um estudante



Fonte: Produções dos Estudantes na oitava etapa.

- **Categoria 2:** Mapas mentais que apresentaram uma relação que demonstre uma organização de ideias, mesmo que rasas, da associação entre o fenômeno da interferência e a detecção das ondas gravitacionais. Apresente menção e a utilização ao fenômeno da interferência como evidência da passagem de uma onda gravitacional. A Figura 8 representa um exemplo e foi elaborado por um estudante na última etapa.

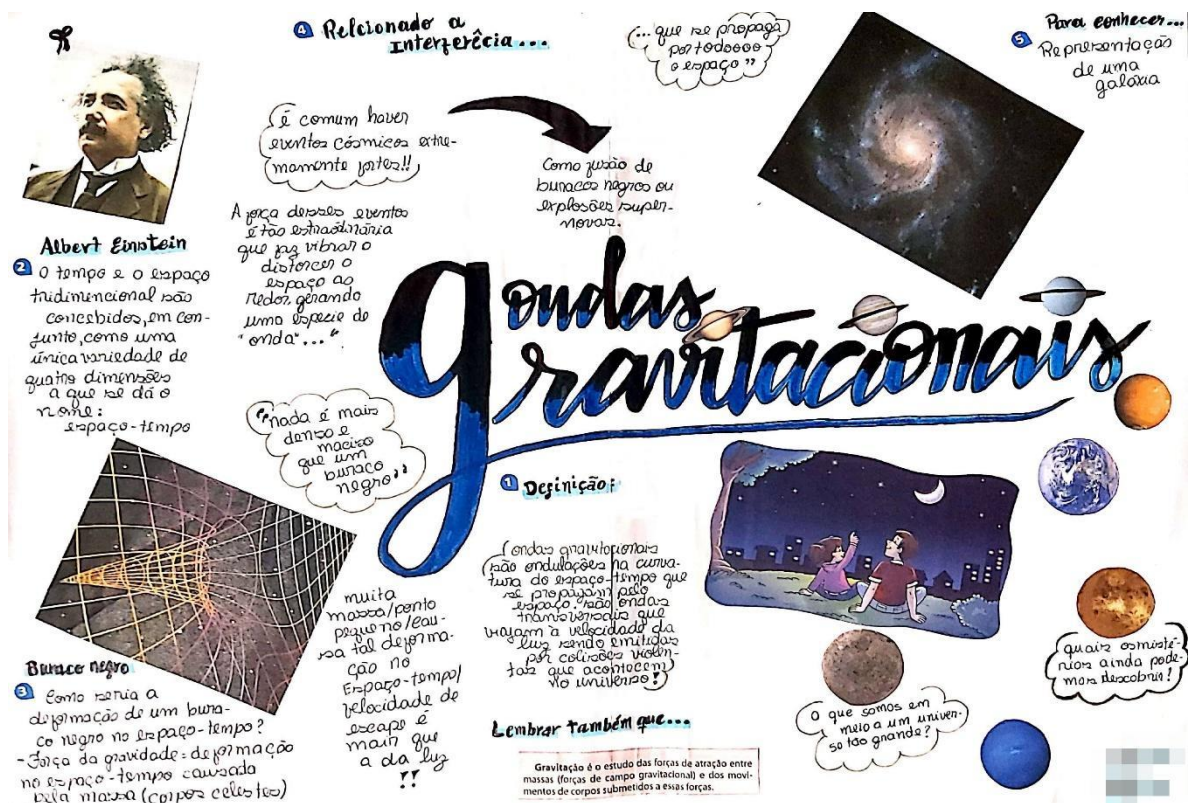
Figura 8: Mapa mental elaborado por um estudante.



Fonte: Produções dos Estudantes na oitava etapa.

- **Categoria 3:** Mapas mentais que embora tragam informações sobre o conteúdo estudado, mesmo que claras e organizadas, não apresentam uma relação e organização de ideias que demonstre a associação entre o fenômeno da interferência e a detecção das ondas gravitacionais. A Figura 9 traz um modelo dessa categoria.

Figura 9: Mapa mental elaborado por um estudante.



Fonte: Produções dos Estudantes na oitava etapa.

Estabelecidas as categorias, os mapas foram separados e classificados. Para ser considerado alcançado o objetivo 4, é necessário que o estudante elabore um mapa mental com evidências que o coloquem na categoria 1 ou 2, mapas mentais que se encontram na categoria 3 representam indicativo do não alcance do resultado pretendido. O condensado é apresentado na Tabela 2 que segue:

Tabela 2: Quantidade de mapas mentais por categoria.

Quantidade de mapas mentais	
Categoria 1	18
Categoria 2	38
Categoria 3	22

Fonte: Dados da Pesquisa, (2020).

Os dados mostram que a maioria dos alunos conseguiu relacionar o fenômeno da interferência com a detecção das ondas gravitacionais, ou seja, aproximadamente 72% dos estudantes mostraram indicações do alcance do objetivo 4 de aprendizagem. É visível a aquisição de conceitos proporcionada pela atividade, principalmente se comparada ao resultado de pós-teste ocorrido antes dessa atividade, onde apenas 46% dos estudantes mostraram evidências de habilidades em associar interferência e detecção de ondas gravitacionais, como mostra o Gráfico 5.

Mais uma vez, o planejamento de atividades equiparadas com os objetivos de aprendizagem mostra-se como algo que tem uma consequência positiva no que se refere a conquista da aprendizagem. (Biggs e Tang, 2011). Também se atribui esse crescimento a configuração da atividade, onde os próprios alunos tiveram que pesquisar, organizar suas ideias e estrutura-las de maneira que viessem a formar uma estrutura conceitual, semelhante a hierarquia de informações existente nas estruturas cognitivas segundo Ausubel (Moreira, 2009), tudo isso integrado ao envolvimento ativo dos estudantes, (Biggs e Tang, 2011) no desenvolvimento da própria aprendizagem por meio da atividade proposta.

5. Conclusão

Como apontado no início deste trabalho, a tarefa de ensinar é incontestavelmente desafiadora e abre incontáveis possibilidades de reflexão e discussões, muitas delas, versadas em um imensurável número de publicações. Dentro desse contexto está o ensino de física e mais profundo ainda o desafio do ensino de FMC que pleiteia o obstáculo do currículo e do sistema de ensino. Espera-se que esta produção seja mais uma possibilidade de reflexão acerca do fazer docente que também se caracteriza desafiador e que por muitas vezes, carece de metodologias eficientes e que, ao mesmo tempo, estejam ao seu alcance.

A luz dos assuntos discorridos, fica explícita a coesão da teoria de Ausubel da aprendizagem significativa, mais especificamente, que existem condições que devem ser levadas em consideração para a aprendizagem. Também fica evidente a eficiência da teoria de Biggs e Tang quando afirmam que no planejamento do professor é necessário alinhar as ações e atividades aos objetivos pretendidos, além de ponderar a avaliação da aprendizagem antes mesmo do planejamento das ações, visando assim o alcance dos resultados pretendidos. Evidencia-se ainda -que a associação da teoria de Biggs e Tang e a de Ausubel trouxe evidências da eficiência dessa relação no favorecimento da aprendizagem de física.

O presente trabalho não se trata de uma SD que traz uma receita infalível para o aprendizado, pois tal afirmação caracteriza-se uma utopia. Este artigo revela a possibilidade de uma reflexão acerca do trabalho docente por meio de uma experiência de sala de aula que traz resultados positivos, além de conter várias perspectivas a serem levadas em consideração.

Um desdobramento possível a elaboração de novas sequências didáticas que também se fundamentem na associação entre as teorias do alinhamento construtivo e da aprendizagem significativa, mas com atividades diferenciadas e conteúdos diferenciados, podendo até transpassar as barreiras da física e serem voltadas a outras disciplinas. Outro ponto de vista futuro é a elaboração de uma SD onde os estudantes tenham posturas ativas na construção do aprendizado em todas as atividades. Levando em consideração que os resultados e perspectivas futuras, são motivadores para o aprofundamento do tema em questão, são muitas as possibilidades.

Uma possibilidade para o desdobramento desse trabalho é a elaboração de uma coletânea de sequências didáticas seguindo esta proposta e voltadas para uma área específica do currículo de física do ensino médio como cinemática ou termologia por exemplo, e verificar o desempenho e aceitação dos estudantes para esta nova proposta.

Referências

Abbott, B. P. et al. (2016). *LIGO Scientific and Virgo Collaborations, Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, *Phys. Rev. Lett.*, 116, no. 6, 061102.

Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. (1 ed.) Portugal: Paralelo Editora.

Ausubel, D. P.; Novak D., J.; Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*. (2 ed.) Tradução de E. Nick, H. R. Barros, M. Â. Fontes, M. d. Maron, Trans. Rio de Janeiro: Interamericana.

Biggs, J; Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University*. (4 ed.) Berkshire, England: *Society for Research into Higher Education & Open University Press*.

Biggs, J. (1987). *Student approaches to learning and studying*. Hawthor.: Australian Council for Educational Research.

Brasil. (2017). *Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Conselho Nacional de Educação. Base Nacional Comum Curricular: educação é a base. Ensino Fundamental*. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/conselho-nacional-deeducacao/base-nacional-comum-curricular-bncc>

BRASIL (2002). *Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Secretaria de Educação Básica.

Correa, D. R. (2016). *A Base e o Edifício. Balanço e Apontamentos Sobre e Fortuna Crítica da BNCC*. Revista do Lhiste, Porto Alegre, num.4, vol.3, jan/jun.

Fusari, J. C. (1998). *O planejamento do trabalho pedagógico: algumas indagações e tentativas de respostas*. Disponível em: http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/ideias_08_p044-053_c.pdf. Acesso em 27/11/2008.

Gonçalves, I. C. (2014). *Contributos dos modelos da auto-regulação da aprendizagem para formação de alunos e professores no ensino superior*. Disponível em: <<http://goo.gl/cJY37K>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

Mendonça, A. P. (2015). Alinhamento Construtivo: Fundamentos e Aplicações. In: *Gonzaga, Amarildo M. (Organizador). Formação de Professores no Ensino Tecnológico: Fundamentos e Desafios*. (pp. 109 – 130). Curitiba, PR: CRV.

Migueis, H. S. V. M. S. (2008) *Avaliação Formativa numa disciplina de investigação e no contexto de um ambiente virtual de aprendizagem: perspectivas dos alunos*. Lisboa.

Moreira, M. A. Masine, E. F. S. (2011) *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Centauro.

Moreira, M. A. (2011) *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Livraria da Física.

Morgenbesser, S. (Org.). (1975). *Filosofia da Ciência por Ernst Nagel (e outros)*. (2. ed.) São Paulo: Cultrix.

Oliveira, F. F. de, Vianna D. M., & Gerbassi, R. S. (2007). *Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 29(3), 447-454.

Ostermann, F., Moreira, M. A. (2000). Uma Revisão Bibliográfica Sobre a Área de Pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em Ensino de Ciências – V5(1)*, pp. 23-48. Porto Alegre, RS.

Peduzzi Luiz O. Q. (1997). Sobre A Resolução de Problemas no Ensino Da Física. In *Cad.Cat.Ens.Fis.*, v.14,n3: p.229-253, dez. Florianópolis, SC.

Pereira, A. S. (2018) *Metodologia da pesquisa científica* [recurso eletrônico (1. ed.). Santa Maria, RS : UFSM, NTE.

Piletti, C.(2001). *Didática geral*. (23ª ed.) São Paulo: Editora Ática.

Pereira, O. S [et al.]. (1997). *Raios cósmicos: introduzindo física moderna no 2 grau*. São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP.

Pires, A. S. T. (2011) *Evolução das Ideias da física*. (2ª ed.) São Paulo: Editora Livraria da Física.

Pontes Neto, J. A. S. (2006) Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas. Série-Estudos. In *Periódico do Mestrado em Educação da UCDB. Série-Estudos - Periódico do Mestrado em Educação da UCDB* n. 21, , jan./jun. 2006. (p p.117-130). Campo Grande, MS.

Ramos, K. R. C.(2017). *Método de Ensino-Aprendizagem Gamificado: Ampliando Mapas Conceituais e Alinhamento Construtivo*. Quixadá: UFC.

Rezende, Flavia, Lopes, A., M. A. e Egg, J. M.(2004) Identificação de Problemas do Currículo do Ensino e da Aprendizagem de Física e de matemática a Partir do Discurso de Professores. In *Ciência & Educação*, v. 10, n. 2, (pp. 185-196). Bauru, SP.

Ribeiro, D. (2000). *O processo civilizatório: etapas da evolução sociocultural*. Companhia das Letras, São Paulo, SP: Publifolha.

Santos, M; Mendonça, A. (2015). Aprendendo as Relações Métricas do Triângulo Retângulo com Robótica: Perspectiva do Planejamento de Ensino. In *Anais do 6o Workshop de Robótica Educacional*. Uberlândia – MG.

Sanches, M. B. et al. (2006) A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Currículo do Ensino Médio. In: *Encontro de Pesquisa em Ensino De Física, 10., 2006, Londrina, PR. Caderno de Resumos*.(pp. 163). São Paulo, SP: Sociedade Brasileira de Física.

Silva, P. O., Krajewski, L. L., Lopes, H. S., Nascimento, D. O. (2018). Os Desafios no Ensino e Aprendizagem da Física no Ensino Médio. In *Rev Cient da Fac Educ e Meio Ambiente: Revista da Faculdade de Educação e Meio Ambiente -FAEMA*, v.9, n. 2. (pp. 829-834). Ariquemes, RO.

SOUZA, P. R. (2016). *Aprendizagem significativa e alinhamento construtivo: uma proposta para o ensino de circuitos elétricos*. Manaus, AM: IFAM.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Francisco Felipe Moura Fontele- 60%

João Cláudio Nunes Carvalho – 40%