

Karina dos Santos Timboni

**ELABORAÇÃO DE UMA UNIDADE DE APRENDIZAGEM
SOBRE RELATIVIDADE GERAL PARA O ENSINO DE FÍSICA
NO PRIMEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana da Silva

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Timboni, Karina dos Santos

Elaboração de uma unidade de aprendizagem sobre relatividade geral para o ensino de física no primeiro ano do ensino médio / Karina dos Santos Timboni ; orientadora, Tatiana da Silva - Florianópolis, SC, 2016.

144 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Ensino de física. 3. Relatividade Geral. 4. Física moderna no ensino médio. 5. Teoria da carga cognitiva. I. Silva, Tatiana da . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.

Karina dos Santos Timboni

**ELABORAÇÃO DE UMA UNIDADE DE APRENDIZAGEM
SOBRE RELATIVIDADE GERAL PARA O ENSINO DE FÍSICA
NO PRIMEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Florianópolis, 29 de fevereiro de 2016.

Prof. Carlos Alberto Marques, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Tatiana da Silva, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José André Peres Angotti, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luiz Peduzzi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Humberto Luz de Oliveira, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao meu marido e aos meus queridos pais por me apoiarem sempre.

AGRADECIMENTOS

Preciso começar meus agradecimentos por meus pais, dona Eva e seu Reni Timboni que sempre me apoiaram nas minhas decisões, mesmo eu saindo de casa cedo para casar, sempre recorro a eles para me aconselhar, pois sei que ambos querem acima de tudo meu bem e minha felicidade. Meu marido também tem um papel muito importante na minha vida pessoal e na minha vida acadêmica, desde a minha graduação ele é o responsável financeiro majoritário da casa. Ainda tenho que agradecer-lo pelo apoio nas horas infundáveis de estudo e nos momentos de estresse durante o processo de desenvolvimento da dissertação aqui presente. Para finalizar a parte familiar também quero agradecer meus irmãos Evani e Luciano que me ajudaram muito nos momentos que me vi sozinha em Florianópolis, uma cidade muito diferente da minha, pois ambos moram na capital do estado de Santa Catarina.

A professora doutora Tatiana da Silva por ser um exemplo de orientadora, sempre muito verdadeira em suas colocações, porém sendo delicada e respeitosa com minhas dificuldades e opiniões. Exigência é uma qualidade para mim, principalmente quando essa exigência vem de maneira humana e coerente, características da professora Tatiana.

Ao programa de pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica pelo profissionalismo e paciência com as diversas dúvidas encontradas pelo caminho do mestrado. Aos meus colegas de turma do mestrado pela parceria durante as disciplinas e em todos os outros momentos da pós-graduação. E quero agradecer especialmente aos meus colegas do grupo de ensino de física, que são muito capazes, inteligentes, educados e agradáveis durante os debates, estudos e na convivência do grupo.

Um agradecimento especial também aos meus antigos professores e colegas do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá que foram importantíssimos, se não essenciais, na minha formação como professora de física e também como pessoa e pesquisadora na área de ensino.

E por último devo agradecimentos ao governo federal por proporcionar e financiar a minha vida acadêmica desde a graduação no IFSC até a pós-graduação na Universidade Federal de Santa Catarina através da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

RESUMO

A partir da publicação do PCN de 2000 tornou-se pública e de interesse do Ministério da Educação a inserção de física moderna e contemporânea (FMC) no ensino médio nacional. Mesmo após 15 anos pouco foi feito para que essa inserção aconteça de fato, e dentre os motivos listados pelos professores está a falta de materiais educacionais. Com a finalidade de diminuir essa lacuna existente decidi refletir sobre a construção de um material instrucional sobre a FMC para o ensino médio. O tema escolhido foi a relatividade geral por ser pouco presente nos materiais instrucionais para essa faixa de ensino e por ser de grande apelo na física e na mídia em geral, com destaque para o cinema, como no recente filme “Interestelar”¹ e outros mais antigos como “Einstein e Eddington”² e “Contato”³. O modelo de educação escolhido foi a educação online que não determina local e tempo, por isso a escolha por um material digital. Um professor pode usar a unidade de aprendizagem proposta com seus alunos ou o aluno pode usar para seu estudo sozinho ou em grupo. A unidade de aprendizagem apresentada é composta por 4 etapas do modelo 4C/ID que são: material introdutório (tarefas de aprendizagem), texto explicativo (informação de apoio), simulação e tutorial da mesma (informação processual) e questões conceituais (prática nas tarefas). Todas essas etapas foram elaboradas sob a organização metodológica do *design* instrucional e pautadas teoricamente na teoria da carga cognitiva objetivando um material educacional facilitador de aprendizagem. O repositório escolhido foi o *Sway*⁴ por se adaptar melhor à proposta que inclui diversos recursos digitais.

Palavras-chave: física moderna e contemporânea, relatividade geral, teoria da carga cognitiva, *design* instrucional.

¹ Título original: *Interestellar*, filme anglo-americano de 2014, dirigido por Christopher Nolan e roteirizado por Jonathan Nolan e Christopher Nolan.

² Título original: *Einstein and Eddington*, filme britânico de 2008, dirigido por Philip Martin e roteirizado por Peter Moffat.

³ Título original: *Contact*, filme norte-americano de 1997, dirigido por Robert Zemeckis e roteirizado por James V. Hart e Michael Goldenberg.

⁴ Aplicativo digital pertencente à Microsoft.

ABSTRACT

Since the publication of the CPN 2000 became public and of interest to the Ministry of Education the inclusion of modern and contemporary physics (FMC) in the national high school. Even after 15 years, little has been done so that this insertion actually happening, and among the reasons listed by the teachers is the lack of educational materials. In order to reduce this gap I decided to reflect on the construction of an instructional material about FMC to high school. The theme was general relativity to be little present in instructional materials for this school range and be of great appeal in physics and in the media, especially the cinema, as in the recent movie "Interstellar" ¹ and more old as "Einstein and Eddington" ² and "Contact" ³. The chosen model of education was online education that does not determine location and time, so the choice of a digital material. A teacher can use the proposed learning unit with his students or the student can use for his study alone or in groups. The presented learning unit consists of four steps from the model 4C/ID: introductory material (learning tasks), explanatory text (supporting information), simulation and tutorial of the same (procedural information) and conceptual issues (practice on tasks). All these steps have been prepared under the methodological organization of instructional design and guided theoretically by cognitive load theory aiming for an educational material facilitator of learning. The repository chosen was the Sway⁴ for better adapt to the tender includes several digital resources.

Key words: modern and contemporary physics, general relativity, cognitive load theory, instructional design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Experimento mental do princípio da equivalência.....	50
Figura 2 – Esfera e suas geodésicas paralelas.....	51
Figura 3 – Geodésica no espaço-tempo curvo da relatividade geral.....	52
Figura 4 – Precessão do periélio nos planetas.....	54
Figura 5 – Princípio da equivalência e a trajetória parabólica.....	56
Figura 6 – Deflexão de um feixe de luz.....	57
Figura 7 – Exemplo real da lente gravitacional.....	58
Figura 8 – Experimento do desvio p/ o vermelho gravitacional.....	59
Figura 9 – Material com fontes de informação separadas	70
Figura 10 – Material com fontes de informação integradas.....	71
Figura 11 – Diagrama explicativo com informações redundantes.....	72
Figura 12 – Diagrama explicativo sem informações redundantes.....	72
Figura 13 – Imagem ilustrativa da curvatura espaço-tempo.....	74
Figura 14 – Fundamentação teórica do <i>design</i> instrucional	78
Figura 15 – Matriz de <i>design</i> instrucional	81
Figura 16 – Exemplo de <i>storyboard</i>	82
Figura 17 – Diagrama V da unidade de aprendizagem	92
Figura 18 – Mapa conceitual do conteúdo.....	95
Figura 19 – Matriz de <i>design</i> instrucional da proposta	97
Figura 20 – <i>Storyboard</i> da proposta de un. de aprendizagem.....	98
Figura 21 – Foto das tarefas de aprendizagem	100
Figura 22 – Foto do vídeo mostrando a passagem do tempo	104
Figura 23 – Foto do vídeo mostrando a edição feita	105
Figura 24 – Foto do vídeo mostrando o controle de passagem	107
Figura 25 – Princípio da autoexplicação	111
Figura 26 – Controle de passagem e de conteúdo pelo aluno	112
Figura 27 – Unidade de aprendizagem e a divisão de atenção	113
Figura 28 – Simulação e tutorial na unidade de aprendizagem	116
Figura 29 – Simulação com duas partes simultâneas	117
Figura 30 – Questões conceituais na unidade de aprendizagem	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tabela com os trabalhos selecionados - 1ª parte.....	28
Quadro 2 - Tabela com os trabalhos selecionados - 2ª parte.....	32
Quadro 3 - Tabela com os trabalhos selecionados - 3ª parte.....	37
Quadro 4 - Tabela com os trabalhos selecionados - 4ª parte.....	41
Quadro 5 - Relatório da análise contextual.....	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
9		
1.1	JUSTIFICATIVA	23
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	27
1.2.1	Objetivos	27
2	PERCURSO TEÓRICO	29
2.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	29
2.2	REFERENCIAL TEÓRICO	49
2.2.1	Teoria da Relatividade Geral	49
2.2.2	Visualização no ensino de ciências	65
2.2.3	Teoria da Carga Cognitiva	67
2.4	DESIGN INSTRUCIONAL	79
3	PLANEJAMENTO DA UN. DE APRENDIZAGEM	85
3.1	ANÁLISE CONTEXTUAL	85
3.1.1	Modelo 4C/ID	86
3.2	DIAGRAMA V	93
3.3	MAPA CONCEITUAL	97
3.4	MATRIZ INSTRUCIONAL E STORYBOARD	99
4	PROPOSTA DA UNIDADE DE APRENDIZAGEM	101
4.1	TAREFAS DE APRENDIZAGEM	101
4.1.1	Princípios multimídia nas tarefas de aprend.	105
4.2	INFORMAÇÃO DE APOIO	111
4.2.1	Princípios multimídia na informação de apoio	112
4.3	INFORMAÇÃO PROCESSUAL	117
4.3.1	Princípios multimídias na informação processual	118
4.4	PRÁTICA NAS TAREFAS	123
4.4.1	Princípio multimídia na prática nas tarefas	124
5	Considerações Finais	127
6	REFERÊNCIAS	131
7	ANEXOS	139

1 INTRODUÇÃO

Os parâmetros curriculares nacionais do ensino médio, apresentados no ano de 1999, trazem orientações para um ensino que insira o jovem na vida adulta de maneira mais contextualizada, integrando-o ao mundo contemporâneo nas dimensões da cidadania e do trabalho. E um dos fatores que corroboram para isso é o estímulo para a transformação da escola incorporado pelas novas tecnologias. Com isso o alvo principal da educação deve ser a aquisição de conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias referentes à área de atuação pretendida pelo aluno posteriormente ao ensino médio (BRASIL, 1999).

Uma das formas de estimular a cidadania no jovem é desenvolvendo seu pensamento crítico para o que está sendo construído nas ciências humanas, nas ciências da natureza e na tecnologia, objetivando assim um egresso apto a tomar decisões importantes para sua vida, para sua comunidade e para a sociedade em geral.

Os PCN's deixam clara a necessidade da abordagem de temas relacionados à física moderna e contemporânea no ensino médio porque a ausência dessa parte da física nas escolas brasileiras e também nos livros didáticos defasa a educação no que diz respeito à contemporaneidade, da forte presença da ciência e da tecnologia nas atividades produtivas e relações sociais atuais. No entanto, mesmo após 15 anos da publicação deste documento, ainda não houve grandes mudanças na escola para que essa inserção aconteça de fato no ensino médio brasileiro. O artigo 36 da Lei de Diretrizes e Bases (nº 9.394), de 20 de dezembro de 1996, traça o perfil pretendido de egresso do ensino médio:

“§ 1º. Os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação serão organizados de tal forma que ao final do ensino médio o educando demonstre:

I - **domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna;**

II - conhecimento das formas contemporâneas de linguagem;

III - domínio dos conhecimentos de Filosofia e de Sociologia necessários ao exercício da cidadania.”

(BRASIL, 1999)

Corroborando com o exposto, defendo nesse trabalho a inserção da FMC no ensino médio, porque além de estar mais próximo do

sugerido pelo Ministério da Educação, também é uma das maneiras de tentar superar barreiras epistemológicas para que o indivíduo conheça a construção do conhecimento científico. Ostermann e Moreira (2011) listam três vertentes principais da área para se trabalhar com a física moderna e contemporânea no ensino médio: *exploração dos limites clássicos* – que traz o ensino do tema revisando as principais contribuições e falhas da física clássica, *não utilização de referências aos modelos clássicos* – em que as referências à física clássica devem ser evitadas e a *escolha de tópicos essenciais* – apenas alguns tópicos devem ser abordados e com apenas o essencial da física clássica sendo utilizado. Acredito que a primeira vertente: exploração dos limites clássicos melhor atende às expectativas dos PCN's por defender sua inserção como uma extensão dos limites encontrados na física clássica, de forma mais integrada ao conteúdo “tradicional”, auxiliando na compreensão de como modelos e teorias científicas são construídos, sua validade, suas limitações e também na compreensão de como os cientistas lidam com os “novos” conhecimentos durante a construção de uma nova teoria.

Para isso escolhi trabalhar com a relatividade geral, que traz a oportunidade de inserir a abordagem moderna no primeiro ano do ensino médio, utilizando a gravitação universal para explorar os limites da física clássica. Esta escolha encontra ressonância em alguns trabalhos que estudaram as principais dificuldades de se inserir a FMC no ensino médio (MONTEIRO, NARDI e BASTOS, 2009). Apontam como obstáculos a falta de tempo ao final do terceiro ano para explorar o tema, dificuldade apontada também por 1 dos 2 questionários (anexo 1) respondidos pelos professores. Se a inserção da FMC acontecesse de forma mais integrada durante todo o currículo de física do ensino médio, essa dificuldade talvez fosse menos evidente, principalmente com esse tema.

Esse trabalho tem como propósito desenvolver uma proposta de unidade de aprendizagem de relatividade geral para o ensino médio, baseado no modelo de educação *online*, que é caracterizada pela distribuição de conteúdo e promoção da aprendizagem sem limitação de tempo ou lugar, buscando-se a flexibilização da sala de aula. Com esse enfoque o material desenvolvido pode ampliar o tempo da física em sala de aula, pois, o aluno sozinho consegue, através de diversos recursos digitais de visualização e hipertextos, estudar sem o auxílio integral do professor. Outro ponto interessante de um material instrucional digital e dinâmico é a motivação em pesquisar e estudar sozinho, porém sob a direção de uma curadoria de produções interessantes para ele, que

possibilitam o controle do ritmo de estudo por ele, respeitando as diferenças entre os estudantes. Além de ampliar o conhecimento científico do aluno no que diz respeito à física que ele conhece na escola e sua relação com a física da mídia em geral, do conhecimento científico contemporâneo e das tecnologias desenvolvidas a partir desse conhecimento. O objetivo no desenvolvimento do material é escolher alguns tópicos sobre o conteúdo, para que assim o aluno não seja sobrecarregado de informações, mostrando as mudanças conceituais ocorridas e as aproximações dessas novas informações com o cotidiano do aluno.

A lacuna existente entre o ensino de física presente nas escolas e a física presente nos jornais, revistas, filmes e na mídia em geral torna cada vez mais difícil uma prática pedagógica contextualizada com o cotidiano do aluno (OLIVEIRA, VIANNA e GERBASSI, 2007). Esse panorama faz o aluno se afastar cada vez mais da física e da ciência de maneira geral, diminuindo potencialmente a participação crítica e cidadã do mesmo nas questões ligadas ao conhecimento científico e tecnológico contemporâneo, pois ele não vê conexão e nem interferência desses conhecimentos na sua vida em sociedade.

Como referencial teórico utilizarei a teoria da carga cognitiva (TCC) (SWELLER, 1988, 2003, 2004; SWELLER, AYRES e KALYUGA, 2011), que é recente, mas que consegue auxiliar nas questões de aprendizagem e nas questões relacionadas ao desenvolvimento do material instrucional visual e conceitualmente. Nessa abordagem, o norteador metodológico indicado é o *design* instrucional (DI), pois ele traz recomendações e uma metodologia de desenvolvimento para a construção do material instrucional, de maneira a aprimorar o recurso utilizado a fim de torná-lo um facilitador de aprendizagem por se preocupar em gerenciar a carga cognitiva de acordo com os pressupostos da TCC.

1.1 JUSTIFICATIVA

Durante três anos da minha graduação, dediquei meus estudos a construção de simulações de fenômenos físicos oscilantes, com amortecimento e forçados com o intuito de auxiliar os professores na exposição desses conteúdos, já que simulações dessa natureza eram mais raras. Porém não tínhamos nenhum referencial teórico preocupado diretamente com a aprendizagem do aluno envolvido no processo, nem para a construção da simulação nem em nenhuma proposta de utilização da mesma. Nesse trabalho proponho uma unidade de aprendizagem de relatividade geral com o objetivo de ela ser um facilitador de aprendizagem. O foco da atenção está voltado para a adoção de um aporte teórico capaz de auxiliar na construção dessa unidade de aprendizagem, para isso, utilizo a teoria da carga cognitiva. Acredito que nenhuma tecnologia ou material é capaz de tornar um conteúdo mais palatável ao aluno sem que para isso haja um estudo específico, desde qual conteúdo abordar e o que deste conteúdo pode utilizar até como apresentar esse conteúdo.

Quando estamos elaborando qualquer material educacional em que o principal objetivo é a aprendizagem dos alunos, precisamos levar em conta diversos elementos relevantes nessa elaboração, “Cada discurso, (...) deve ser elaborado levando em conta a natureza do conteúdo, do receptor e do momento geral” (FILATRO, 2008). Muitos questionamentos são feitos durante essa elaboração, mas, principalmente: Como vou elaborar esse material instrucional para atender os objetivos de aprendizagem?

O *design* instrucional chega para tentar responder esse tipo de questionamento, ele é definido como a ação instrucional que envolve planejamento, desenvolvimento e aplicação de técnicas, atividades, e outros, a fim de promover a aprendizagem dentro de situações didáticas específicas. Ele organiza o material para atender os pressupostos e “efeitos” trazidos pela teoria da carga cognitiva buscando assim obter um melhor gerenciamento das cargas cognitivas envolvidas no processo de aprendizagem humano. Sabemos que não há um formato único para todos os materiais instrucionais, o *design* instrucional nos mostra que este formato depende do tipo de conteúdo, do objetivo de aprendizagem e das características do público alvo (ROMISZOWSKI e ROMISZOWSKI, 2005).

Uma das maiores dificuldades em fazer um material pensando no DI é a distância existente entre os que constroem a tecnologia e os que utilizam essa tecnologia existente, que, segundo Neil Selwyn (2014,

p. 14) gera uma hierarquização, onde os que fazem estão bem acima dos que utilizam a tecnologia. Com essa proposta tenta-se mostrar que pode haver e que já está acontecendo uma aproximação destes dois extremos, buscando-se um meio-termo e que, quanto maior essa aproximação, melhores serão os possíveis resultados.

A escolha pela unidade de aprendizagem se deu devido à sua amplitude, pois podemos utilizar diversos recursos, tantos quanto necessários, para que o conteúdo seja aprendido. Ela é definida, segundo Filatro (2008), como um material que contém os elementos necessários ao processo de ensino/aprendizagem, mas que não pode ser subdividido sem perder significado e tem tempo e extensão limitados, buscando atingir os objetivos de aprendizagem pretendidos apoiado por conteúdos e ferramentas.

A escolha da FMC se dá devido à importância que ela pode ter na formação científica e cidadã do aluno (BRASIL, 1999). Ela pode propiciar ao aluno um entendimento do mundo criado pelo homem atual e tem potencial para auxiliar na formação de um cidadão consciente e participativo para atuar no mundo contemporâneo, dando a oportunidade ao aluno de opinar sobre importantes temas atuais que podem afetar tanto sua vida como a da sociedade em geral.

Para Rodrigues (2001), precisamos inserir conteúdos relacionados a essa área da física no ensino médio no intuito de fornecer ferramentas cognitivas e conhecimentos que auxiliem na interpretação do mundo atual. O que o aluno sabe é devido ao seu contato com a mídia, e a falta de suporte conceitual pode dificultar a aquisição de conceitos científicos para estruturar suas concepções de maneira mais coerente. O aluno recebe muita informação da televisão e da internet, forma suas concepções, mas não tem a oportunidade de discuti-las em sala de aula.

O conteúdo escolhido foi o da relatividade geral. A escolha deste possui algumas vantagens: o interesse dos alunos pelo trabalho de Albert Einstein, Rodrigues (2001) corrobora trazendo que Einstein é um assunto presente no cotidiano do aluno e que precisa estar também presente em sala de aula. Para Zahn e Kraus (2014), a relatividade geral é de grande interesse do público por sua relevância no entendimento dos fenômenos exóticos e das questões cosmológicas. Parece contraditório, se perguntarmos para alguém o nome de um físico famoso: a maioria responde Albert Einstein. Então por que não ensinamos sobre seu trabalho nas aulas de física? Um dos motivos apresentados pode ser o formalismo matemático envolvido que não estaria apropriado para o ensino médio, porém precisamos apresentar o conteúdo utilizando

apenas a matemática? Não, podemos tornar o tema teoria da relatividade de Albert Einstein em algo palatável e interessante para os alunos conhecerem e entenderem um pouco da sua teoria.

Guerra, Braga e Reis (2007) ainda ressaltam a necessidade de materiais instrucionais com os conteúdos das teorias da relatividade trazidos no levantamento bibliográfico com mais detalhes. E posso acrescentar que o conteúdo de relatividade geral é pouco abordado em pesquisas voltadas ao ensino pelo menos aqui no Brasil. Num levantamento exploratório feito no Google Acadêmico, onde busquei as seguintes palavras: “relatividade” e “ensino”, retornaram 42 resultados. Destes 78,6% eram sobre relatividade restrita, 9,5% eram sobre relatividade geral, 7,1% sobre ambas as teorias da relatividade e 4,8% sobre linguística, o que denota uma preferência dos trabalhos pela relatividade restrita.

As teorias da relatividade restrita e geral revolucionaram as concepções de tempo e de espaço e modificaram as concepções clássicas de matéria e energia, portanto deveriam ser tratadas nos livros didáticos e estarem presentes nas salas de aulas do ensino médio.

Outra escolha feita foi em relação à abordagem que será a da exploração dos limites da física clássica para trazer a relatividade geral para o primeiro ano do ensino médio. Essa ligação é feita com a gravitação universal, normalmente ensinada no primeiro ano dessa fase de estudos. Com tal opção, os conteúdos tornam-se mais conectados e menos fragmentados.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento deste trabalho procuro responder ao seguinte problema de pesquisa: **como elaborar uma unidade de aprendizagem sobre Relatividade Geral para o primeiro ano do Ensino Médio de forma que possa atuar como um facilitador de aprendizagem?**

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar uma unidade de aprendizagem sobre relatividade geral ancorada nos princípios da teoria da carga cognitiva e na metodologia do *design* instrucional.

Objetivos Específicos

- Indicar as principais características que uma unidade de aprendizagem de Física na perspectiva de uma educação *online* deve ter para propiciar uma melhor aprendizagem da relatividade geral;
- Identificar as dificuldades predominantemente encontradas pelos professores no ensino da física moderna e contemporânea;
- Organizar uma proposta de unidade de aprendizagem sobre relatividade geral, relacionando as características enfatizadas pelo referencial teórico com as dificuldades citadas pelos professores, baseada na metodologia do *design* instrucional;
- Elaborar uma unidade de aprendizagem sobre a Relatividade Geral para o primeiro ano do ensino médio para a educação *online*.

Hipótese

A hipótese desse trabalho é de que podemos utilizar o *design* instrucional articulado à teoria da carga cognitiva como orientador na elaboração de uma unidade de aprendizagem sobre relatividade geral para ser utilizada no primeiro ano do ensino médio. A TCC auxilia o desenvolvedor do material instrucional a tratar um conteúdo complexo para o público pretendido, tornando-o mais palatável com a seleção e distribuição dos elementos do conhecimento que serão apresentados.

Para isso a teoria concebe um processamento dividido entre dois canais, o auditivo e o visual, tentando equilibrá-los. A educação *online* traz o espaço necessário para que seja possível o desenvolvimento de um material instrucional permeado por diversos recursos digitais, recursos esses elaborados de maneira que não

sobrecarreguem o processamento cognitivo do aluno. Educação *online* é a educação que usa a tecnologia de diversas formas como: hipertexto e redes de comunicação interativa para o compartilhamento de conteúdo educacional, buscando assim promover a aprendizagem através da pluralidade de recursos disponíveis. O diferencial deste tipo de concepção de educação é que ela deve ser elaborada levando em consideração a não limitação de tempo e lugar, tendo como principal característica a mediação tecnológica pela conexão em rede. (FILATRO, 2003, pg.47)

2 PERCURSO TEÓRICO

Nesta etapa da dissertação, serão apresentados: o levantamento bibliográfico feito sobre os temas envolvidos, um capítulo sobre o ensino-aprendizagem da teoria da relatividade geral, uma apresentação do referencial teórico utilizado no desenvolvimento da proposta (Visualização e TCC) e finalmente o percurso metodológico utilizado (DI) para o desenvolvimento da mesma.

2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Com o intuito de explorar o campo de pesquisa em que resolvi desenvolver meu trabalho de pesquisa, realizei um levantamento bibliográfico organizado em partes que visam abranger a extensão do meu problema de pesquisa. A primeira parte foi feita para conhecer trabalhos que pesquisaram sobre o *design* instrucional de materiais instrucionais que utilizam simulação, e se possível com fundamentação teórica na teoria da carga cognitiva; a segunda parte foi feita para se conhecer as principais dificuldades de aprendizagem enfrentadas pelos alunos, relatadas pelos professores sobre o tema da física moderna e contemporânea e a terceira parte trata da relatividade geral, especificamente, buscando trabalhos que problematizam a inserção dela no ensino médio. Com o passar da pesquisa notei uma lacuna no que tange à relatividade geral e por isso ampliei a busca, essa ampliação está descrita na quarta parte desse levantamento.

Primeira Parte:

Foram buscados artigos e trabalhos de teses e dissertações em torno dos seguintes temas: i) Teoria da Carga Cognitiva, ii) *Design* Instrucional e iii) Simulação no ensino.

A busca deu-se da seguinte maneira: na primeira parte, foram colocadas as seguintes palavras chaves: {"cognitive load theory" and "instructional *design*" and "simulation"}, resultando em 60 trabalhos. Na segunda parte, foram colocadas as seguintes palavras chaves: {"teoria da carga cognitiva" and "*design* instrucional" and "simulação"}, obtendo 11. E na última parte foram colocadas as seguintes palavras chaves: {"teoria da carga cognitiva" and "desenho instrucional" and "simulação"}, angariando 4.

Como resultado dessas três buscas, obtive 75 trabalhos, desses, 28 foram descartados por se tratar de citações, livros pagos, grupos de

estudo, outras línguas que não o português e o inglês ou ainda trabalhos repetidos. Dos 47 trabalhos restantes, eu os dividi por países: 2 da Alemanha, 2 da Austrália, 8 do Brasil, 1 do Canadá, 1 da Finlândia, 1 da Holanda, 1 da Índia, 1 da Inglaterra, 3 de Portugal, 1 da Suécia e 26 dos Estados Unidos. Destes trabalhos, 10 estavam dentro do tema e estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1 – Tabela com os trabalhos selecionados – 1ª parte:

Autor	Título, publicação e ano da publicação
Santos (2013)	M - Roamin – Um modelo para Representação de Objetos de Aprendizagem Multimodais Interativos. Tese de doutorado, UFRGS, 2013.
Prevedello (2011)	<i>Design</i> de interação nos projetos de interface para objetos de aprendizagem para EAD. Dissertação de mestrado, UFRGS, 2011.
Lacerda (2013)	Contribuições do <i>design</i> instrucional ao ensino presencial de física apoiado por Ambiente Virtual de Aprendizagem. Dissertação de mestrado, UFSC, 2013.
Martins (2014)	Aplicação da Realidade Aumentada à educação e treino na Engenharia Civil, Arquitetura e construção. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2014.
Nazir, Rizvi e Pujeri (2012)	<i>Skill development in Multimedia Based Learning Environment in Higher Education: An Operational Model</i> . International Journal of Information and Communication Technology Research, vol.2, n.11, 2012.
Cheung (2014)	<i>Preparing for Simulation-Based Education and Training Through Web-Based Learning: The Role of Observational Practice and Educational Networking</i> . Dissertação de mestrado, Universidade de Toronto, 2014.
Friedrich (2010)	<i>Learning with Hypermedia: The Impact of Content Design and Learner Characteristics on Navigation and the Knowledge Acquisition Process</i> . Tese de doutorado, Universidade de Carolo, 2010.
Cook, et. al. (2012)	<i>Comparative Effectiveness of Technology-Enhanced Simulation versus Other Instructional Methods</i> . Simulation in Healthcare, vol.7, n.5,

	2012.
Pace (2014)	<i>Specific Design Strategies to Improve Corporate E-Learning for All Learning Types</i> . Dissertação de mestrado, Westminster College, 2014.
Danilenko (2010)	<i>The relationship of scaffolding on cognitive load in an online self-regulated learning environment</i> . Tese de doutorado, Universidade de Minnesota, 2010.

O trabalho de Santos (2013) trata de apresentar um modelo de representação de objetos de aprendizagem utilizando diferentes recursos, até mesmo impressos. O objetivo do trabalho é fornecer alternativas para o estudo na educação a distância, utilizando trabalhos impressos com *QR Codes* para acessar uma mídia digital. Ele defende o uso de materiais multimodais como uma maneira de possibilitar ao aluno explorar o conteúdo de diferentes modos. Para desenvolver esse material ele apoia seus estudos nos trabalhos de Richard Mayer sobre aprendizagem multimídia e John Sweller e sua teoria da carga cognitiva com três pressupostos: processamento do canal dual, capacidade limitada da memória de trabalho humana, processamento ativo e com princípios que regem tanto a aprendizagem multimídia quanto a teoria da carga cognitiva. Outro ponto interessante deste trabalho, e que vai ao encontro dos temas pesquisados, é trazer o *design* instrucional como suporte na elaboração dos objetos de aprendizagem.

Prevedello (2011) busca estabelecer requisitos para o desenvolvimento de interfaces de objetos de aprendizagem para a educação a distância, fundamentado nos princípios do *design* de interação e na motivação. A parte do trabalho relevante para esta pesquisa é o fato de a autora trazer o *design* instrucional como fundamentação teórica para estabelecer os requisitos de *design* de interação, que está ligado à interface que interage com o aluno. E a teoria da carga cognitiva de John Sweller para estabelecer os requisitos de motivação, buscando compreender qual a melhor maneira de dispor o conteúdo para motivar os alunos. Para isso a autora traz os “efeitos” da teoria, que servem como norteadores no desenvolvimento das interfaces.

No trabalho de Lacerda (2013), sugere-se o *design* instrucional como contribuição para a elaboração de estratégias de aprendizagem para ambientes virtuais de aprendizagem (AVA), para o ensino de física com referências na teoria da carga cognitiva, objetivando auxiliar na compreensão de como estruturar os conteúdos e apresentá-los de maneira a não sobrecarregar a memória de trabalho dos alunos. Baseado

no DI e na TCC, ele desenvolve estratégias de ensino para a utilização em ambientes virtuais de aprendizagem.

A partir daqui mostrarei o que encontrei nos trabalhos estrangeiros que mais se aproximaram dos temas que abordo na minha dissertação. Dos muitos trabalhos encontrados, poucos deles têm linhas parecidas de referencial teórico e problema de pesquisa, apesar de terem em seu conteúdo as palavras-chave pesquisadas.

No trabalho de Martins (2014), o objetivo é propor e avaliar experimentalmente bases para um novo sistema de ensino, através da tecnologia da realidade aumentada. Para isso, ele traz como referências a teoria do ajuste cognitivo, a teoria cognitiva da aprendizagem multimídia de Richard Mayer e a teoria da carga cognitiva de John Sweller. Utiliza desta tecnologia como objeto de pesquisa e conta com *designers* instrucionais como auxiliares no processo de elaboração desses objetos. Nesse estudo, ele trata esse recurso como mais um que promove atitudes positivas, aumenta a motivação pela aprendizagem e estimula a compreensão dos fenômenos invisíveis.

Para os indianos Nazir, Rizvi e Pujeri (2012), a aprendizagem multimídia pode melhorar a aprendizagem, para isso eles sugerem um modelo operacional. Para construir esse modelo, eles contam com os princípios do DI baseado na aprendizagem multimídia levando em conta as limitações da mente humana, para isso tentam reduzir as cargas cognitivas envolvidas. Ao final da construção deste modelo operacional eles o testaram e avaliaram. Adotaram a teoria da aprendizagem multimídia, como auxiliar na construção de um material facilitador de aprendizagem, uma abordagem que é próxima ao meu trabalho, porém não utilizaram nenhum recurso digital educacional no processo.

O trabalho de Cheung (2014) mostra o estudo da integração das aprendizagens baseadas em simulação e web. A simulação em questão trazida neste estudo é uma simulação de acontecimentos, não computacional, já que este trabalho se destina a educação de médicos, para isso ele utiliza-se do *design* instrucional baseado na teoria da carga cognitiva na construção de materiais disponíveis na web. O objetivo deste trabalho é conseguir integrar esses materiais digitais com as simulações de acontecimentos não computacionais feitas durante as aulas com a ajuda dos alunos. O autor acredita que utilizar uma simulação computacional com a de acontecimentos em sala de aula pode facilitar a aprendizagem dos futuros médicos.

A tese de Friedrich (2010) visa construir pontes entre a lacuna existente entre multimídia e a pesquisa hiperfídia: em uma sala de aula realista com alunos complexos e ambiente hiperfídia controlado. Ele

investiga isso, testando diferentes módulos individuais de *design* instrucional incorporando-os em ambiente hipermídia complexo e em ambiente real de aprendizagem. Em busca disso ele utiliza referencial teórico da aprendizagem multimídia de Richard Mayer com implicações da teoria da carga cognitiva de John Sweller, com o aporte teórico para a tecnologia do *design* instrucional.

O artigo de Cook, et. al (2012) compara o treinamento por simulação com tecnologias e instrução sem simulação. Os resultados obtidos por eles mostram que a simulação com tecnologias é mais efetiva comparando com outros métodos, porém é mais cara, em resumo eles falam em efeitos positivos de pequenos a moderados. Este trabalho se baseia na carga cognitiva estranha da teoria da carga cognitiva, inclusive medindo-a, e utiliza os princípios do *design* instrucional para a construção da simulação. Seria muito próximo do trabalho pretendido por mim se não fosse o foco dado à simulação, que no meu caso será pensado toda uma unidade de aprendizagem que inclui outros materiais além da simulação. Outro fator incomum é a comparação e a análise de diversos pontos durante a aprendizagem. Eles elucidam muitas questões em torno da simulação, como, por exemplo, que apenas ela não é capaz de melhorar muito a educação.

O objetivo do trabalho de Pace (2014) é descobrir estratégias de *design* específicas que poderiam melhorar a formação baseada na web corporativa para todos os alunos e focaliza soluções objetivas e práticas operando a partir de um quadro cognitivista. Neste trabalho, ele traz que a teoria da carga cognitiva é a prevalente em *e-learning*, por isso ele irá utilizá-la como embasamento teórico cognitivo na confecção das estratégias de *design*.

Para terminar, trago o trabalho de Danilenko (2010) que diz que a sobrecarga cognitiva pode ser um problema para alguns alunos e as estratégias de *design* instrucional podem ser usadas para diminuir a carga estranha ou incentivar a carga pertinente, a fim de ajudar os alunos a utilizar eficazmente os seus recursos cognitivos. Para isso ele utiliza a estratégia “andaime” que é fornecer informações relevantes antes das tarefas de aprendizagem na forma de um organizador prévio de instrução, que de acordo com a teoria da carga cognitiva ele estará diminuindo a carga cognitiva intrínseca do conteúdo para os alunos, assim reduzindo a carga cognitiva total. Essa estratégia é conhecida por fornecer gradativamente o conteúdo a ser aprendido.

No universo de trabalhos selecionados há lacunas que meu trabalho poderá preencher. Por exemplo, poucos trabalhos são na área de Ciências e menos ainda na área de Física e poucos tratam de simulações

para o ensino, quando tratam de simulações utilizam mais em treinamento. E finalmente algo que nenhum trabalho trouxe foi a utilização do *design* instrucional com a teoria da carga cognitiva no desenvolvimento de uma unidade de aprendizagem que utiliza de simulação na área de física moderna e contemporânea, acredito que esse seja meu grande diferencial, e onde se encontra a maior relevância do meu trabalho.

Segunda Parte:

Nessa segunda parte do levantamento bibliográfico, aprofundei-me numa questão que acredito ser de muita importância para o meu trabalho, que é saber quais as dificuldades percebidas pelos professores do ensino médio para ensinar a FMC e enfrentadas pelos alunos para aprendê-la. Para isso foram buscados, apenas trabalhos nacionais para conhecer o panorama do tema no Brasil. Ao todo foram escolhidos 5 trabalhos, trazidos no quadro 2, em que essas dificuldades mais se destacaram:

Quadro 2 – Tabela com os trabalhos selecionados – 2ª parte.

Autor	Título, publicação e ano da publicação
Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009)	Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. Ensino de Ciências e Matemática I: temas sobre a formação de professores, 2009.
Pereira e Aguiar (2002)	Ensino de Física no nível médio: tópicos de Física Moderna e experimentação. Revista Ponto de Vista, vol.3, 2002.
Souza e Lawall (2011)	Inovação curricular de Física Moderna: motivações, dificuldades e mudanças na prática docente. ENPEC, 2011.
Pinto e Zanetic (1999)	É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 16, n.1, 1999.
Ostermann e Moreira (2011)	Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, vol. 18, n.2,

2011.

Como nessa parte do levantamento bibliográfico há fatores em comum nos trabalhos, vou primeiro fazer um resumo dos trabalhos e depois vou dividir as argumentações por tema.

Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009) fizeram uma pesquisa com professores do ensino médio, buscando evidenciar as dificuldades para a inserção de FMC nessa fase de ensino. A partir dos discursos dos professores, eles notaram a relevância atribuída ao ensino desse tema nessa fase de ensino, apesar de nenhum deles utilizarem esse tema em seus planejamentos. Com a interpretação dos discursos dos professores, obtidos através de entrevistas, eles elencaram os impedimentos para essa inserção, dentre estes estão a falta de tempo, o formalismo matemático e a falta de experiência dos alunos e dos professores com o tema.

Pereira e Aguiar (2002) discutem o ensino de física no ensino médio, defendendo a necessidade da abordagem experimental e da inserção da FMC. Ao final do artigo, trazem uma proposta de atividade prática envolvendo o tema efeito fotoelétrico, como forma de inovar a prática docente e envolver os alunos. As dificuldades para a inserção do tema, citadas posteriormente, são trazidas e pensadas anteriormente à proposta da atividade, como uma forma de reflexão para a elaboração desta.

Souza e Lawall (2011) fizeram entrevistas com professores que participaram de um curso de formação continuada sobre FMC no ensino médio com o objetivo de avaliar os perfis dos participantes e analisar a motivação dos professores em participar do curso. Para os entrevistados a formação inadequada e a pouca atualização os fizeram optar pelo curso de formação continuada. E sobre as dificuldades para a inserção do tema nas escolas, o principal motivo apontado por eles é a falta de estrutura das escolas que, junto a ausência de conhecimentos metodológicos e de conteúdo pelo professor, acaba inibindo essa inserção.

Pinto e Zanetic (1999) apresentam uma experiência educacional em que diferentes formas de expressão são utilizadas na inserção da FMC, apresentando-a como cultura, buscando despertar o interesse do maior número de pessoas possível. Para isso os autores utilizam a noção de perfil epistemológico de Gaston Bachelard. As dificuldades para a inserção da física moderna e contemporânea servem como uma reflexão na elaboração da experiência educacional.

Ostermann e Moreira (2000) trazem uma experiência de ensino-aprendizagem com a FMC que durou três anos, com seleção de tópicos,

elaboração de materiais didáticos, preparação de professores e implementação em sala de aula. Assim como em outros trabalhos, a reflexão acerca das dificuldades para a inserção do tema no ensino médio entra anteriormente à elaboração do material didático. Ao fim dos estudos, os autores listam prioridades para a inserção do tema, como, por exemplo: investir na produção de materiais didáticos, formar professores críticos quanto ao currículo de física, entre outros.

O principal tópico abordado nos trabalhos foi a falta de tempo no ensino médio para inserir tópicos de FMC, e, para Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009), percebe-se no discurso dos professores que eles acreditam que a essa parte da física só deve ser apresentada aos alunos após todo o conteúdo da física clássica e que por isso eles quase sempre não conseguem introduzir o tema no fim do ensino médio. Em busca também de minimizar essa dificuldade no meu trabalho, venho com a proposta de um tópico para ser inserido no 1º ano do Ensino Médio, junto à gravitação, à relatividade geral. Essa proposta vem com a intenção de mostrar os limites da física clássica, inserindo a física moderna, aumentando assim a integração dos dois temas.

Outro tópico presente em muitos trabalhos diz respeito ao formalismo matemático como uma dificuldade para o entendimento dos alunos. Para Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009) fica evidenciado que o professor preocupado com essa dificuldade, provavelmente compreende a FMC restrita ao seu formalismo matemático e ainda questiona: teria sido a formação desse professor restrita a esse formalismo? Para Pinto e Zanetic (1999), o formalismo matemático é um dos pilares da grande dificuldade de se inserir tópicos do tema no ensino médio e trazem como uma possível solução a utilização de diferentes interpretações do formalismo quântico ou a utilização da filosofia e da história da ciência como estratégia de ensino. Em relação a esse tópico nosso trabalho, por ser de um tema bem complexo e que os alunos nessa fase escolar talvez não conheçam nada a respeito, vai ser de modo geral mais teórico, focando na aprendizagem conceitual da Relatividade Geral.

A falta de conhecimento e experiência dos alunos com a FMC pode dificultar o entendimento do conteúdo. Para os trabalhos pesquisados, os alunos não conseguem relacionar o tema com seu cotidiano. Para Pereira e Aguiar (2002), falta um ensino de forma sistemática e experimental para que os alunos reconheçam questões cotidianas relacionadas à física e façam uma reflexão sobre os fatos atuais e suas explicações conceituais. Souza e Lawal (2011) trazem a física moderna e contemporânea como um aproximador do aluno com a

ciência moderna, com a tecnologia atual e assim com o seu cotidiano. Ostermann e Moreira (2000) também constatam, através de sua pesquisa com licenciandos, que a falta de experiência dos alunos com o tema dificulta a exposição dos conteúdos, logo, os pré-requisitos necessários para a explicação são escassos. Em busca de diminuir essa estranheza do tema escolhido, a unidade de aprendizagem terá como base de desenvolvimento teórico o modelo 4C/ID, que foi desenvolvido a partir da TCC. Esse modelo é dividido em 4 fases: tarefas de aprendizagem, informação de apoio, informação processual e prática nas tarefas, as tarefas de aprendizagem são experiências significativas baseadas em tarefas da vida real do aluno e vem com o intuito de conceber uma ambientação do aluno com o tema.

Pereira e Aguiar (2002) trazem como constatação a também falta de estrutura nas escolas para as aulas práticas, dificultando o fornecimento de um ambiente adequado para a aprendizagem da FMC. No trabalho de Souza e Lawall (2011), uma das respostas mais dadas em relação às dificuldades encontradas no ensino do tema é a falta de materiais para atividades diferenciadas e a falta de laboratórios nas escolas. Meu trabalho vem com o intuito de gerar um material instrucional que ajude a visualização dos fenômenos da FMC, buscando trazer essa parte mais prática da física para a unidade de aprendizagem. Essa parte prática será inserida, de acordo com o modelo 4C/ID, na terceira parte do material, na qual se encontrará toda a informação processual referente ao tema e uma simulação para o uso do aluno. A informação processual traz as informações específicas de como os aspectos processuais do tema devem ser executados, ou seja, como o aluno deve utilizar a simulação para uma melhor aprendizagem.

A falta de desenvolvimento de materiais instrucionais para o ensino da FMC vem sendo também apontada como uma dificuldade. Pereira e Aguiar (2002) mencionam que em outros países mais desenvolvidos materiais didático-pedagógicos com esse enfoque vêm sendo desenvolvidos e que no Brasil o interesse e o estímulo para inserção desse tema é mais recente. Souza e Lawall (2011) também trazem, por meio de outros trabalhos, que a falta de materiais instrucionais sobre os conteúdos pode gerar uma grande dificuldade. Para Ostermann e Moreira (2000) é fundamental produzir materiais instrucionais de FMC acessíveis a professores e alunos, demonstrando que essa produção é requisitada desde 2000. Como a proposta é desenvolver uma unidade de aprendizagem para o ensino de relatividade geral para o ensino médio, nos resultados haverá um exemplo de material instrucional que poderá ajudar os professores na inserção desse

tema.

Outro tópico interessante trazido nos trabalhos é a falta de trabalhos em que métodos de ensino são abordados tendo em vista o ensino de FMC. Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009) criticam um pouco a postura do professor que espera que alguém lhe ensine como ensinar. Pereira e Aguiar (2002) trazem a falta de modernização das metodologias, já que, na maioria das escolas de ensino médio, a física é ensinada seguindo metodologias do final do século XIX. Em Souza e Lawall (2011), notou-se nas respostas vindas dos professores um interesse em fazer cursos de inovação curricular, buscando aprender “novas práticas” e se atualizar, para assim melhor ensinar esse “novo” tema. No trabalho de Ostermann e Moreira (2000), essa falta já era trazida como uma dificuldade. A proposta de unidade de aprendizagem está toda embasada na metodologia de desenvolvimento de material instrucional, ancorada no *design* instrucional que propõe formas de se organizar um material didático, segundo pressupostos da teoria da carga cognitiva, o que pode ser novidade para algumas pessoas, mas certamente uma opção reconhecida em trabalhos da área como promissora para o ensino e aprendizagem de um conteúdo.

A falta de experimentação também é trazida por alguns autores como uma dificuldade da FMC. Para Pereira e Aguiar (2002), a experimentação é importante porque consegue vincular teoria e prática e contextualizar o ensino, tornando-o significativo para o aluno. No trabalho de Pinto e Zanetic (1999), destaca-se a dificuldade encontrada pelos professores na falta de atividades experimentais durante a aula inter-relacionando o empírico e o teórico sem supervalorizar nenhum dos dois. Nesse trabalho, trarei a simulação da viagem no tempo como uma alternativa à experimentação. No caso da relatividade geral, há poucos experimentos demonstrando seus princípios, um exemplo é o da cama elástica para demonstrar a curvatura do espaço-tempo devido à distorção causada pela massa dos corpos. Entretanto, outra opção no auxílio à visualização é a utilização de simulações.

Terceira Parte:

Na terceira parte deste levantamento bibliográfico, concentrei-me na relatividade geral, buscando trabalhos que pensaram a inserção deste conteúdo no ensino médio.

A busca ficou concentrada no título dos artigos, excluindo patentes e citações e optei por utilizar apenas palavras em português

para conhecer o panorama deste tema no Brasil. Essa pesquisa se deu em duas etapas, na primeira, as palavras utilizadas foram: “relatividade geral” retornando 47 resultados, 3 estavam relacionados ao ensino, 1 era sobre ambas as teorias da relatividade, voltado à formação de professores. Na segunda etapa, as palavras utilizadas foram: “relatividade ensino” retornando 42 resultados, destes 4 tratavam da relatividade geral, 33 tratavam da relatividade restrita, 3 eram de formação de professores e 2 sobre linguística. Mas um deles era de acesso restrito e não pude ler para contribuir para esse levantamento. Houve repetição de trabalhos com a busca anterior.

Deste primeiro panorama já consegui ver que poucos trabalhos tratam das teorias da relatividade restrita e geral no âmbito nacional. Dentre estes trabalhos, a porcentagem relacionada com a relatividade geral é ainda menor, reforçando a constatação de que há poucos trabalhos sobre o tema. No quadro 3, abaixo, está a lista dos trabalhos encontrados:

Quadro 3 – Tabela com os trabalhos selecionados – 3ª parte.

Autor	Título, publicação e ano da publicação
Guerra, Braga e Reis (2007)	Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 29, n.4, 2007.
Groch e Bezerra Júnior (2009)	O ensino de relatividade restrita e geral nos livros didáticos do PNLEM 2009. SNEF, 2009.
Rodrigues (2001)	A inserção da teoria da relatividade no ensino médio. Dissertação de mestrado, UFSC, 2001.

Assim como ocorreu anteriormente, essa parte do levantamento bibliográfico também tem fatores em comum, então primeiro há resumos dos trabalhos para depois a argumentação sobre tais fatores.

Guerra, Braga e Reis (2007) trazem uma proposta curricular de inserção do estudo das teorias da relatividade restrita e geral no primeiro ano do ensino médio a partir de uma abordagem histórico-filosófica da ciência. Os autores fazem uma reflexão sobre a importância do ensino dessas teorias no ensino médio e a proposta é colocada em prática através de manifestações artísticas como o filme “Em nome da rosa” e diversas pinturas que retratavam determinadas épocas da história. De acordo com os registros feitos pelo professor, os alunos gostaram da

atividade diferenciada, ainda que tenham ocorrido dispersões durante a mesma, eles conseguiram relacionar as pinturas com as épocas históricas e o período científico que estava em vigor. Com essa percepção das diferentes épocas históricas através das pinturas, os alunos conseguiram entender o que mudou nos conhecimentos, como a noção de tempo e de espaço, durante o desenvolvimento científico.

Groch e Bezerra Júnior (2009) fazem uma análise quantitativa e qualitativa da abordagem de FMC nos livros didáticos do ensino médio, eles justificam a ausência da mesma nas escolas com a falta de formação dos professores, pois a maioria não teve esse tema na graduação, e o pouco material disponível nos livros didáticos. O foco dos autores é ver o quanto da teoria da relatividade restrita e da teoria da relatividade geral existe nos livros. Eles investigaram alguns e de resultado obtiveram que a maioria traz pouco de FMC (em torno de 2,9%) e menos ainda sobre as teorias da relatividade restrita e geral (em torno de 0,8%) sendo que um deles nem trata sobre elas. O único livro que se destaca pela quantidade é um que foca realmente no tema, ele traz 11,4% desta temática e 3,2% sobre as teorias da relatividade restrita e geral.

O trabalho de Rodrigues (2001) trata-se de uma dissertação de mestrado e o autor, que tem como objetivo propor uma forma de inserção da teoria da relatividade no ensino médio, faz uma análise a partir da transposição didática, de como a FMC é apresentada em livros didáticos do ensino médio e constata uma aproximação aos livros universitários, que também são alvos de análise. O autor também analisa artigos de divulgação, uma revista de cunho científico e uma enciclopédia buscando entender sua forma de abordar o conhecimento sobre o tema e a partir dessa análise propor uma nova abordagem.

Resumindo, a principal contribuição destes trabalhos está voltada para a importância da inserção das teorias da relatividade geral e restrita no ensino médio. Guerra, Braga e Reis (2007) citam o exemplo do ano 2005, em que se comemorou o centenário no ano miraculoso de Einstein, onde muitas escolas realizaram atividades de divulgação da obra do autor, porém poucas incluíram essa temática como parte do currículo. Seguindo esta lógica, o ano de 2015 é o centenário da teoria da relatividade geral. Groch e Bezerra Júnior (2009) chamam a atenção para o fato de que muitos fenômenos só conseguem uma explicação razoável quando apelamos para essa teoria do século XX, e que essas teorias ainda estão ausentes das salas de aula do ensino médio. Rodrigues (2001) corrobora com a fala de Groch e Bezerra Júnior (2009), falando que a relatividade geral foi um marco histórico tanto no

pensamento crítico quanto para a sociedade em geral e que seus conceitos são completamente diferentes dos presentes na física clássica, como o tempo e o espaço, dependendo do referencial.

Outro tópico abordado por dois dos trabalhos é a inserção desses conteúdos de FMC durante o ensino médio todo e não apenas como um apêndice ao fim do curso. Guerra, Braga e Reis (2007) lembram que a inserção das teorias da relatividade restrita e geral no primeiro ano do ensino médio não é uma estratégia inédita, mas que vem cada vez mais se mostrando capaz de envolver o aluno no conhecimento científico contemporâneo, potencializando sua criticidade e sua cidadania. Groch e Bezerra Júnior (2009) defendem a inserção da FMC durante os três anos do ensino médio e que ela seja incorporada à apresentação e ao desenvolvimento das teorias clássicas.

O terceiro tópico abordado é a relevância de abordar o desenvolvimento do conhecimento científico nas aulas de física e de mostrar que a ciência não é linear e também não é feita só por gênios. Guerra, Braga e Reis (2007) exemplificam, lembrando a luta que Einstein teve que travar para alterar conceitos estabelecidos e vivenciados pelo senso comum como os de tempo e espaço, com a finalidade de resolver alguns problemas que a física clássica estava tendo dificuldades de explicar. Groch e Bezerra Júnior (2009) como tratam de livros didáticos alertam para essa questão presente em alguns livros, que reforçam a concepção empírico-indutivista do fazer científico. O PCN trata desse assunto como abordei anteriormente, enfatizando a importância de mostrar o desenvolvimento da ciência como uma construção humana e não linear.

Quarta parte:

Com o intuito de aprofundar o meu conhecimento a respeito da produção de trabalhos de pesquisa sobre a relatividade geral, dediquei-me aos seguintes periódicos: Revista Brasileira de Ensino de Física e Caderno Brasileiro de Ensino de Física e no portal de periódicos da CAPES. Não houve recorte temporal e foram feitos ajustes nas palavras de busca de acordo com cada periódico. Nos periódicos de ensino de física a busca foi apenas por “relatividade geral”, no portal de periódicos da CAPES houve a inclusão do termo “ensino” tanto para os trabalhos em português quanto para os trabalhos publicados em inglês, seguindo o seguinte protocolo:

Periódico: Revista Brasileira de Ensino de Física

Palavras da busca: relatividade geral
 Especificação da busca: buscar nos títulos
 Data da busca: 19/10/2015
 Resultados: 4

Periódico: Caderno Brasileiro de Ensino de Física
 Palavras da busca: relatividade geral
 Especificação da busca: nenhuma
 Data da busca: 19/10/2015
 Resultados: 3

Periódico: Portal de Periódicos da CAPES
 Palavras da busca: “relatividade geral” and “ensino”
 Especificação da busca: revisados por pares, área da educação
 Data da busca: 19/10/2015
 Resultados: 4

Periódico: Portal de Periódicos da CAPES
 Palavras da busca: “general relativity” and “high school” and
 “education”
 Especificação da busca: revisados por pares
 Data da busca: 20/10/2015
 Resultados: 4

Periódico: Portal de Periódicos da CAPES
 Palavras da busca: “general relativity” and “difficulty” and “learning”
 Especificação da busca: revisados por pares
 Data da busca: 20/10/2015
 Resultados: 8

A partir dos trabalhos obtidos, comecei o levantamento lendo os resumos, dessa forma consegui separar os trabalhos que contemplavam os questionamentos da pesquisa. Os trabalhos excluídos foram aqueles que fugiam do tema ou eram puramente técnicos, no quadro 4, abaixo, listo os trabalhos selecionados:

Quadro 4 – Tabela com os trabalhos selecionados – 4ª parte.

Autor	Título, publicação e ano da publicação
Eisenstaedt e Fabris (2004)	Amoroso Costa e o primeiro livro brasileiro sobre a relatividade geral. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 26, n.2, 2004.

Falciano (2009)	Geometria, espaço-tempo e gravitação: conexão entre conceitos da relatividade geral. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.31, n.4, 2009.
Fabris e Velten (2012)	Cosmologia neo-newtoniana: um passo intermediário em direção à relatividade geral. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.34, n.4, 2012.
Medeiros (2005)	Einstein, a física dos brinquedos e o princípio da equivalência. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, vol. 22, n. 3, 2005.
Castellari (2001)	Discussão dos conceitos de massa inercial e massa gravitacional. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.3, n. 3, 2001.
Zahn e Kraus (2014)	Sector models – a toolkit for teaching general relativity; Part 1: curved spaces and spacetimes. The european Journal of Physics, vol. 35, 2014.
Farr, Schelbert e Trouille (2012)	Gravitational wave Science in the high school classroom. American Journal of Physics, vol. 80, n. 10, 2012.
Pitts et al (2014)	An exploratory study to investigate the impact of an enrichment program on aspects of einsteinian physics on year 6 students. Research in Science education, vol. 44, n. 33, 2014.

O primeiro trabalho desta parte é o de Eisenstaedt e Fabris (2004) que traz a trajetória de Amoroso Costa e o contexto científico da época em que ele escreveu seu livro: “Introdução à relatividade geral”, publicado em 1922. O texto busca entrelaçar a história da relatividade geral com a história de Amoroso Costa. Os autores creditam o interesse de Amoroso Costa pela relatividade geral à expedição encabeçada por Stanley Eddington e Franck Dyson para Sobral, no Ceará, com a finalidade de corroborar o desvio da luz na presença de fortes campos gravitacionais, pois essa expedição obteve ótimos resultados e chamou a atenção para o Brasil no mundo científico. O texto termina com a análise do livro em si, que, segundo os autores, demonstra um grande aprofundamento teórico por Amoroso Costa, algo suspeito para alguns críticos, como se ele estivesse copiando trabalhos lidos por ele. Esse

artigo foi interessante na construção do meu trabalho, pois trouxe o aspecto contextual da relatividade geral no Brasil e no mundo, situando a pesquisa da área na época da publicação de Einstein.

O trabalho seguinte é o de Falciano (2009), que propõe uma reflexão filosófica sobre as ideias que guiaram o pensamento de Einstein na construção da teoria da relatividade geral, conectando conceitos como geometria, espaço-tempo curvo e gravitação. O autor contextualiza a teoria da relatividade restrita e, principalmente, a teoria da relatividade geral, fazendo uma explicação de cunho teórico. Os experimentos mentais de Einstein estão presentes durante a explicação da teoria e conclui que a relatividade geral é a expressão da identificação do campo gravitacional com a métrica do espaço-tempo. Apesar do caráter filosófico do trabalho, ele contribui para a construção da unidade de aprendizagem quando enfatiza os experimentos mentais detalhadamente, algo presente na mesma.

Os autores Fabris e Velten (2012) reconhecem as limitações de uma cosmologia newtoniana no trabalho e propõem uma teoria neo-newtoniana tratando também de suas consequências para a cosmologia. O ponto inicial do artigo é o fato de a cosmologia poder ser explicada pela relatividade geral, mas também pela teoria de Newton, de maneira mais simplificada, inserindo o que ela não considerava: a pressão. Para demonstrar e entender o papel da pressão, os autores trouxeram cálculos a partir das equações de Einstein, que acabam em um universo dinâmico, algo não considerado por Newton. O trabalho também explica por que a cosmologia neo-newtoniana e a relatividade geral levam aos mesmos resultados quando aplicadas a um universo uniforme com pressão nula, demonstrando que a lei universal de Newton torna-se um caso especial da teoria da relatividade geral de Einstein.

O próximo, Medeiros (2005), trata da importância de Einstein para a alegria na aprendizagem de ciências, a relação dele com os brinquedos científicos e com o princípio da equivalência. Este trabalho junta duas vertentes: a alegria no ensino de ciências como valor pedagógico e a apresentação de assuntos mais complexos, como a relatividade geral de maneiras novas e mais efetivas. O autor introduz a teoria que embasa a alegria na aprendizagem de ciências, inclusive a posição favorável de Einstein e sua paixão por quebra-cabeças e brinquedos científicos. Em um segundo momento, eles trazem à tona os conceitos de dimensão do mistério e conflito cognitivo nos quais Einstein salientava o papel das imagens e das visualizações como elemento essencial na construção do pensamento, ocorridos na interação com brinquedos científicos. Para contextualizar toda a teoria exposta

acima, o autor traz o “elevador de Einstein” relacionado a relatividade geral para fazer uma análise crítica do papel pedagógico desse experimento. Na conclusão do trabalho, o autor enfatiza a importância da ludicidade na aprendizagem e fornece vários exemplos de brinquedos reais que ilustram o princípio da equivalência, que podem inclusive ser feitos em casa. Esse foi um dos trabalhos que mais gostei, por diversos motivos, mas principalmente pelos exemplos de brinquedos trazidos pelo autor que me auxiliaram no desenvolvimento da unidade de aprendizagem, para trazer um pouco dessa ludicidade à relatividade geral.

O último trabalho nacional é o de Castellari (2001) que discute a igualdade das massas inercial e gravitacional e também a origem da relatividade geral, que tem como base essa igualdade. O objetivo do autor é fazer um texto que sirva como objeto de discussão para pessoas que estão aprendendo sobre a relatividade geral. O público alvo é o de professores do ensino médio que desejam enriquecer suas aulas com questões conceituais. E o texto começa com a não explicação de Newton para o fato da igualdade entre as massas inercial e gravitacional e tem continuidade com a elucidação desse fato, por meio da relatividade geral, do princípio da equivalência e do “elevador de Einstein”. O autor credita a demora dessa elucidação devido ao grande poder de abstração e intuição necessários para reconhecer filosoficamente a explicação para essa lei. Esse artigo trouxe mais embasamento conceitual sobre a relatividade geral para o meu trabalho, principalmente na construção dos textos de apoio da unidade de aprendizagem.

Os trabalhos estrangeiros começam com Zahn e Kraus (2014) que apresentam uma abordagem da introdução da relatividade geral no ensino médio com matemática mais elementar, utilizando modelos setoriais reais que descrevem os espaços curvos. Os autores enaltecem a relevância da relatividade geral para o ensino médio e discutem a abordagem matemática mais pertinente para esta faixa etária e de conhecimento. Expõem as abordagens mais utilizadas e propõem uma nova, usando matemática elementar e baseada na seguinte ideia: “o espaço-tempo diz para a matéria como se mover, a matéria diz para o espaço –tempo como se curvar”. As questões foco desta abordagem são as seguintes: O que é o espaço-tempo curvo? Como a matéria se move no espaço-tempo curvo? Como a curvatura do espaço-tempo está conectada com a distribuição da matéria? Com os modelos setoriais (que são construções tridimensionais) eles conseguem ilustrar o caráter tensorial da curvatura em espaços de mais de duas dimensões e auxiliam no entendimento de outros conceitos, como geodésica e transporte

paralelo. Eles afirmam que, através desses modelos setoriais, as questões acima trazidas podem ser respondidas sem grande dificuldade. O estudo vem como um exemplo de uma proposta de abordagem para o meu trabalho, que também se trata de uma proposta. Apesar das diferenças entre os mesmos, nota-se o interesse de trazer a relatividade geral de maneira a ser entendida por um público ainda não preparado para assuntos mais complexos como esse.

O próximo é o de Farr, Schelbert e Trouille (2012), que descreve uma lista de modificações curriculares desenhadas para integrar a ciência da onda gravitacional na física do ensino médio, buscando expor os alunos à uma ciência interdisciplinar. Começando com uma introdução das ondas gravitacionais e técnicas de detecção, de fontes e de dados das mesmas, com exemplos de como incorporar a ciência das ondas gravitacionais no currículo de astronomia do ensino médio. Essas mudanças foram implementadas em 8 salas de 25 alunos cada, durante 1 ano letivo e, por meio de modelos computacionais, eles forneceram aos alunos uma variedade de maneiras de entender a física das ondas gravitacionais. Em outro momento utilizaram um tecido para representar o espaço-tempo com o intuito de fazê-los começar a entender o conceito de gravidade na relatividade geral. Finalizando com uma atividade em grupo para guiá-los no raciocínio científico para determinar as características básicas de uma onda gravitacional em um sistema binário. As conclusões dos autores foram as seguintes: a combinação de atividades foi essencial para os alunos superarem suas concepções errôneas, mas que apenas 50% deles conseguiram isso apenas com as atividades. Esse percentual só aumentou depois da discussão com a sala de aula toda, na qual os alunos falavam com suas palavras sobre as ondas gravitacionais. No meu trabalho, também proponho um conjunto de atividades utilizando o computador para o ensino da relatividade geral, porém apoiadas na teoria da carga cognitiva e na metodologia do *design* instrucional. Mas o que pode fazer falta na unidade de aprendizagem proposta, segundo esse artigo, é a discussão entre os alunos sobre o tema abordado, algo não proposto por não fazer parte das teorias em que a unidade é embasada.

O último trabalho é o de Pitts et al (2014), que fazem um estudo exploratório em uma classe de 26 alunos, entre 10 e 11 anos, com o objetivo de conhecer o impacto do enriquecimento do programa escolar com os aspectos da física Einsteiniana. Primeiramente os autores contextualizam a dificuldade citada por outros autores em relação ao ensino de física moderna a alunos mais novos: a grande dificuldade deste conteúdo. O texto começa com uma explicação conceitual sobre a

relatividade geral e diz que a dificuldade citada anteriormente se deve ao abstrato da teoria, por não conseguirmos sentir ou visualizar os fenômenos explicados por ela. Para facilitar essa visualização, algumas pessoas precisam de modelos, animações, entre outros recursos para conseguir pensar nessas ideias de forma mais concreta ou experimental. O texto conta ainda com um detalhamento do estudo exploratório feito e gráficos com os resultados obtidos. Desses conseguimos inferir que dos 26 alunos, 15 melhoraram seus testes, 4 ficaram na mesma medida e 7 pioraram. A explicação dada pelos autores foi que os alunos que pioraram seus testes foram aqueles que se saíram muito bem na primeira fase, e a piora deve ter sido detectada devido ao pós-teste não ter sido desenvolvido se pensando na possibilidade de ótimos resultados no pré-teste. O programa proposto tinha aulas expositivas dos conceitos envolvidos, uma excursão para um museu científico sobre a gravidade, que fica na Austrália, onde o estudo foi feito, e a representação teatral de uma peça com o tema pelos alunos. Os autores notaram um ganho no empenho e interesse dos alunos pelo tema e pelas atividades e concluíram que é possível habilitar as crianças para aprender a física einsteiniana. Concordando com essa possibilidade de os adolescentes aprenderem conteúdos complexos é que meu trabalho vem à tona, justamente propondo um material voltado para esse público, mas construído de maneira coerente com essa faixa etária com esse nível de conhecimento sobre o tema.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Aqui serão expostas as teorias envolvidas no processo de desenvolvimento da unidade de aprendizagem: a teoria da relatividade geral, a visualização no ensino de ciências, a teoria da carga cognitiva. O tópico sobre a teoria da relatividade geral dá início à esta etapa, evidenciando os conceitos que são abordados na unidade de aprendizagem, sendo assim a base científica para a construção da mesma. Os outros dois tópicos, de visualização e da teoria da carga cognitiva, auxiliaram nas escolhas e na organização do conteúdo de física durante toda a elaboração da unidade de aprendizagem. E no final deste capítulo encontra-se a metodologia empregada para costurar esses dois aportes teóricos, o *design* instrucional.

2.2.1 TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL

Por que uma nova teoria para a gravitação foi desenvolvida?

Durante séculos, a mecânica newtoniana foi muito bem-sucedida e considerada por muitos uma revolução na interpretação do universo, pois conseguiu descrever a natureza por meio de leis matemáticas. Um de seus triunfos foi a confirmação da periodicidade do cometa Halley, apesar disso a presença de algumas anomalias dificultou sua aceitação, como aconteceu também com outras teorias. Uma limitação da teoria é o fato de a teoria necessitar de forças com ação imediata à distância, algo refutado pela teoria da relatividade restrita, publicada em 1905 por Einstein, que determina um limite para a velocidade da luz no vácuo (c). Com esse limite, se algum evento ocorrer a anos luz da Terra, não perceberemos esse evento até que a luz percorra essa distância.

Outra limitação é tratar o espaço e o tempo como grandezas absolutas e independentes. A teoria da relatividade restrita não trata a gravidade, mas já nos apresenta o espaço e o tempo como grandezas não absolutas e interligadas com a necessidade de uma métrica não euclidiana, na qual temos um espaço-tempo quadridimensional.

Além das limitações anteriormente apresentadas, a teoria da gravitação universal de Newton não explicava a excessiva precessão do periélio de Mercúrio. Ela previa que a órbita de cada planeta seria uma elipse com o Sol em um dos seus focos e que os eixos principais sempre deveriam apontar para a mesma direção no espaço, e quando isso não ocorria era devido ao fato de haver perturbações ocasionadas pelos

outros planetas próximos. Um planeta em que isso acontecia era Mercúrio, buscando explicar o fato, Newton calculou as perturbações existentes e chegou numa precessão com 8,85 minutos de arco por século, quando o observado pelos astrônomos era de 9,55 minutos de arco por século (TIPLER, LLEWELYN, 2008, cap. adicional).

Einstein, interessado na generalização da relatividade restrita para a descrição de todos os fenômenos sem se ater a uma classe privilegiada de referenciais e o desejo de compreensão a respeito do que é a gravitação, publica, em 1915, a teoria da relatividade geral. Nos próximos tópicos desse texto, estão os pressupostos utilizados na sua elaboração, os seus principais conceitos e as explicações e previsões advindas da teoria da relatividade geral.

Quais os pressupostos utilizados durante o seu desenvolvimento?

O ponto de partida para essa mudança foi a extensão do princípio da relatividade para incluir referenciais não inerciais com a formulação do princípio da equivalência que, como no nome revela, estabelece a equivalência entre todos os observadores e não mais apenas entre os inerciais. Assim, de acordo com os efeitos cinemáticos decorrentes da relatividade geral, o espaço deveria se mostrar encurvado para observadores não inerciais, o tempo deveria fluir diferentemente para observadores submetidos a campos gravitacionais diferentes e a equivalência entre massa e energia estabelecida na relatividade restrita faz com que não só matéria, mas também energia tornem-se fonte de campo gravitacional. Neste caso, rompe com a visão de que somente massa atrai massa.

O que a nova teoria da relatividade de Einstein trouxe de novidade?

A motivação para a construção da teoria da relatividade geral foi o desejo de incluir as descrições de todos os fenômenos naturais no quadro da teoria da relatividade restrita. Para isso ele precisaria resolver a única exceção existente, a teoria da gravitação universal.

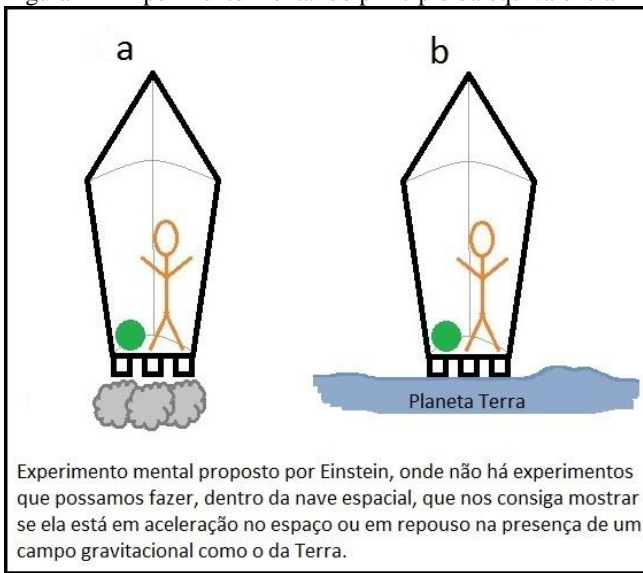
Uma frase dita por Einstein (1946 apud PAIS, 2005, p. 178) retrata o sentimento do cientista durante seus estudos para o desenvolvimento da teoria da relatividade geral: “O pensamento mais feliz da minha vida”, e esse pensamento foi o seguinte: “porque para um observador caindo livremente do telhado de uma casa não existe campo gravitacional”, a partir disso, foi construído o postulado fundamental da teoria da relatividade geral, o princípio da equivalência.

O princípio da equivalência é baseado no seguinte postulado: um campo gravitacional homogêneo é completamente equivalente a um quadro de referência uniformemente acelerado. Esse princípio surgiu de uma forma diferenciada da mecânica newtoniana por causa da aparente identificação entre a massa gravitacional e a massa inercial, onde em um campo gravitacional uniforme todos os objetos caem com a mesma aceleração g independentemente de sua massa, porque a força gravitacional é proporcional à massa (gravitacional) enquanto a aceleração varia inversamente com a massa (inercial) (TIPLER, LLEWELYN, 2008).

Segundo Newton (1934 apud BOULOS, 2006, p.12), todos os corpos gravitam todos os planetas, e o peso desses corpos é proporcional à quantidade de matéria que eles possuem rigorosamente. Apesar dessa proposição e da equivalência numérica demonstrada por ele, não forneceu qualquer explicação para essa igualdade, algo que só apareceu com o princípio da equivalência da teoria da relatividade geral.

Para melhor entender esse princípio, existe um experimento mental (Figura 1), no qual devemos nos imaginar dentro de uma nave espacial totalmente fechada, longe de qualquer campo gravitacional e sofrendo aceleração uniforme. Se soltarmos um objeto dentro dessa nave, ele cairá no “chão” da nave com aceleração $g = -a$, porém nenhum experimento de mecânica feito dentro da nave espacial conseguiria nos ajudar a distinguir se a nave está em aceleração no espaço (a) ou em repouso (b) (se movendo em velocidade uniforme) na presença de um campo gravitacional uniforme.

Figura 1 – Experimento mental do princípio da equivalência



Fonte: elaborada pela autora.

A relatividade geral ampliou então o princípio da equivalência para todos os experimentos físicos, mostrando que não existe nenhuma experiência de qualquer tipo que possa nos ajudar a distinguir o movimento uniformemente acelerado da presença de um campo gravitacional, sendo assim, $m_{\text{gravit}} = m_{\text{inercial}}$ é uma exigência e não uma coincidência.

Então, devido ao princípio da equivalência, assim como a velocidade, não há aceleração absoluta, tornando a aceleração, também uma grandeza relativa.

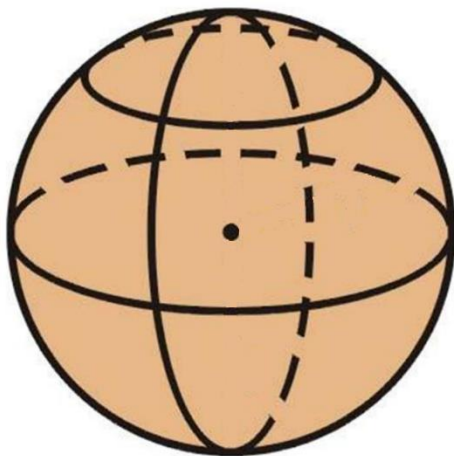
Gravidade como curvatura do espaço-tempo

De forma bastante simplificada, pode-se fazer uma analogia com a relatividade restrita que deixa de ser descrita por uma geometria euclidiana e os efeitos cinemáticos decorrentes (contração do espaço, dilatação do tempo) aparecem. Dessa forma, ao se incluir os referenciais não inerciais, tempo e espaço na relatividade geral, também são alterados e é preciso descrever como serão vistos por observadores nesses referenciais. O espaço e o tempo são “encurvados” pela presença do campo gravitacional. Einstein atribui o comportamento do campo gravitacional às propriedades geométricas do espaço-tempo e estabelece

que um corpo se mova de um ponto a outro no espaço-tempo, descrevendo a trajetória de menor comprimento e, ao invés de uma reta, (espaço euclidiano) uma geodésica (uma linha curva) (PORTO e PORTO, 2008).

Geodésica é uma linha que se curva o mínimo possível. Para uma esfera, a geodésica é referida como grandes círculos, por exemplo a linha do equador. Essas linhas inicialmente paralelas, permanecem paralelas indefinidamente em uma esfera, como podemos ver na figura 2 abaixo:

Figura 2 – Esfera e suas geodésicas paralelas.



Fonte: elaborada pela autora.

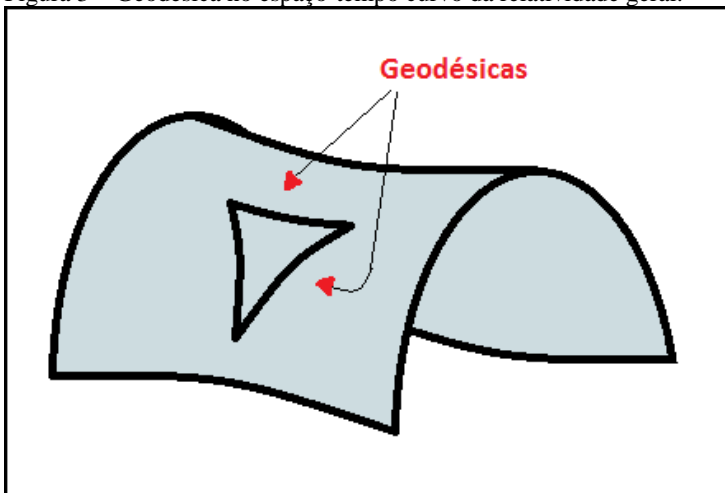
As linhas aéreas seguem o menor caminho entre duas cidades na Terra (esfera), então elas seguem esses grandes círculos (geodésicas). Podemos então concluir que geodésica é o menor caminho percorrido entre dois pontos e, no caso da esfera, esse caminho é um grande círculo.

Na teoria da relatividade geral, a métrica do espaço-tempo também contém todas as informações sobre a geometria do espaço curvo.

Na nova teoria da gravitação, há uma tentativa de manter a identificação das linhas de mundo dos observadores inerciais com as geodésicas da métrica espaço-tempo. No entanto, em campos gravitacionais não uniformes, dois observadores caindo livremente, que estavam inicialmente em repouso, não permanecem em repouso em relação ao outro. Por isso, na relatividade geral, as geodésicas não

permanecem paralelas, elas acabam se encontrando, porque o espaço-tempo é curvo, aparente na figura 3, abaixo:

Figura 3 – Geodésica no espaço-tempo curvo da relatividade geral.



Fonte: elaborada pela autora.

Na relatividade geral, Einstein postulou uma equação que, em essência, diz o seguinte: “curvatura espaço-tempo” = “densidade de energia da matéria”. Essa equação nos forneceu uma bonita teoria da gravidade, na qual os efeitos da gravitação são totalmente expressos em termos da estrutura do espaço-tempo e buscam relacionar as propriedades da curvatura espaço-tempo em cada ponto do campo gravitacional com a quantidade de matéria e energia presentes neste ponto.

A descrição da equação acima é uma simplificação e é preciso deixar alguns comentários sobre ela. O lado esquerdo da equação não é toda a curvatura do espaço-tempo, apenas uma parte dela. Então, fora a distribuição da matéria (onde o lado direito da equação de Einstein é zero), o espaço-tempo ainda será curvo, ou seja, um campo gravitacional estará presente. Além disso, o lado direito contém contribuições de outras propriedades da matéria, além da densidade de energia, as pressões e tensões também contribuem para a curvatura do espaço-tempo na relatividade geral. Se a matéria não está presente, o lado direito da equação desaparece, e uma solução válida é o espaço-tempo plano da relatividade restrita, neste sentido a teoria da relatividade geral inclui a teoria da relatividade restrita como um caso especial. (WALD, 1992)

Após 10 anos da publicação da relatividade geral, descobriu-se que a equação de Einstein determina o movimento da matéria no espaço-tempo. A hipótese da geodésica, na verdade, segue como uma consequência da equação e não precisa ser postulada separadamente. Na prática, é muito difícil obter soluções exatas dessa equação. Felizmente muitas soluções interessantes de grandes físicos (utilizando buracos negros) são conhecidas e as propriedades destes espaços-tempo têm sido investigadas detalhadamente, mas o estudo de quais possíveis estruturas do espaço-tempo são permitidas na teoria da relatividade geral continua sendo adiada por causa da incapacidade de se resolver a equação de Einstein. (WALD, 1992)

Quais as explicações e previsões provenientes da teoria da relatividade geral?

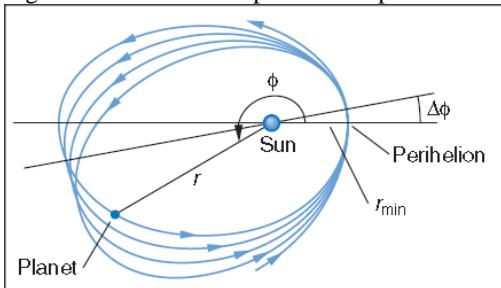
A primeira explicação foi sobre a excessiva precessão do periélio de Mercúrio, em seguida, a teoria traz uma previsão sobre o desvio da luz e sobre a desaceleração da frequência da luz e dos relógios, ambas na presença de um campo gravitacional.

Precessão do periélio de Mercúrio

A publicação da teoria da relatividade geral, em 1916, obteve seu primeiro sucesso quando conseguiu explicar a excessiva precessão do periélio de Mercúrio.

A lei da gravitação de Newton, responsável pela explicação das órbitas dos planetas, previa que a órbita de cada planeta devia fechar uma elipse com o Sol, em um dos seus focos, e que os eixos principais sempre deveriam apontar para a mesma direção no espaço, porém a interação gravitacional entre os planetas adicionava uma pequena força que variava em função do tempo na força exercida pelo Sol. O resultado dessa soma de forças é o movimento das órbitas em elipses não completamente fechadas, girando lentamente em torno do Sol como na figura 4, abaixo:

Figura 4 – Precessão do periélio nos planetas ao redor do Sol.



Fonte: Capítulo adicional de livro - Capítulo 2, número 1, (TIPLER, LLEWELLYN, 2008).

Na ausência dessas interações gravitacionais entre os planetas, a teoria newtoniana prevê a órbita como uma elipse perfeita com a distância r dada por:

$$r = \frac{r_{\min} (1 + \varepsilon)}{1 + \varepsilon \cos \phi} \quad \text{eq. 1}$$

onde r_{\min} é a distância na parte mais próxima do Sol (periélio) e ε é a excentricidade da órbita.

A precessão do periélio é a rotação descrita em termos da mudança progressiva na direção de r_{\min} . A teoria da gravitação de Newton permitiu o cálculo da interação entre todos os pares de planetas, com esses cálculos, era possível subtrair os pequenos efeitos no movimento dos planetas, gerando órbitas elípticas não rotacionais e fechadas. Porém, através de medidas astronômicas precisas viu-se que isso não ocorria, principalmente com Mercúrio. A observação mostrava uma precessão de 9,55 minutos de arco por século, enquanto os cálculos de Newton mostravam 8,85 minutos de arco por século, uma discrepância de 0,7 minutos de arco por século ou 42 segundos de arco por século (a discrepância observada pelos astrônomos é de 43,1 segundos de arco por século), (TIPLER, LLEWELLYN, 2008, cap. adicional).

Essa diferença era conhecida antes mesmo da teoria da relatividade geral ser desenvolvida e na sua publicação explicou-se a origem e o cálculo correto da precessão do periélio de Mercúrio. Einstein modificou a equação (eq. 1) para incluir o $\Delta\phi$ e a equação ficou da seguinte forma:

$$r = \frac{r_{\min} (1 + \varepsilon)}{1 + \varepsilon \cos(\phi - \Delta\phi)} \quad \text{eq. 2}$$

e disse que a precessão por volta ($\Delta\phi$) seria dada por:

$$\Delta\phi = \frac{(6\pi GM)}{c^2 (1 - \varepsilon^2) R} \quad \text{eq. 3}$$

onde R é o eixo semi-principal da órbita e M é a massa do Sol.

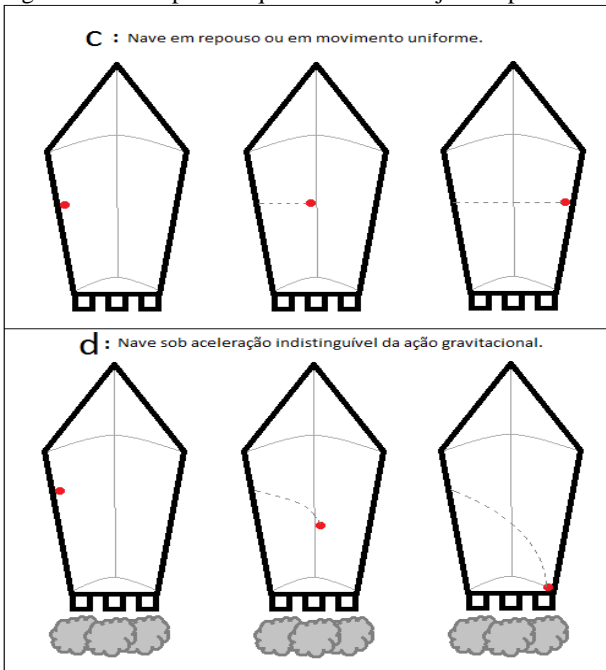
Mercúrio tem a menor órbita dos planetas (R) e maior excentricidade (ε) mostrando-se a maior precessão ($\Delta\phi$) relativística, substituindo os valores corretos na equação acima se consegue o resultado de $\Delta\phi = 43,0$ segundos de arco por século, valor muito próximo ao da observação.

Desvio da luz em um campo gravitacional

A curvatura da luz prevista na relatividade geral nasce estendendo a ação do campo a todos os objetos com ou sem massa, já que não é mais uma interação entre matérias. Essa foi uma das primeiras previsões do princípio de equivalência a ser testada experimentalmente, mas, antes mesmo disso, Einstein propôs experimentos mentais para conseguirmos entender porque a deflexão da luz é esperada.

Imagine que você quer lançar uma bolinha de um lado a outro de uma nave totalmente fechada. Você então joga a bola na direção da mesma altura do outro lado da nave. Se a nave estiver em repouso ou em movimento uniforme (c), a bolinha atingirá o local onde você mirou, porém, se a nave for acelerada uniformemente (d), a bolinha fará uma trajetória parabólica, como se ela estivesse na presença de um campo gravitacional como mostrado na figura 5, abaixo:

Figura 5 – Princípio da equivalência e a trajetória parabólica.

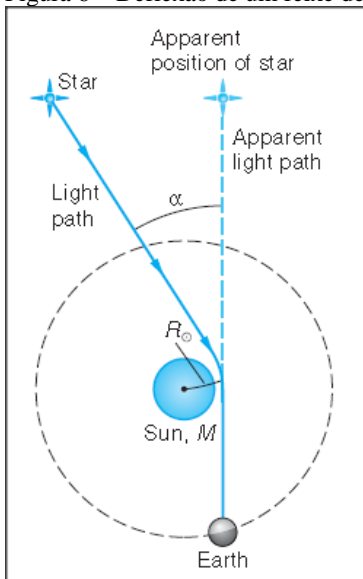


Fonte: elaborada pela autora.

O mesmo deveria acontecer com a luz se você fizesse esse mesmo experimento de acordo com o princípio da equivalência, porém, para conseguirmos notar essa curvatura, a aceleração da nave teria que ser bem maior. Com o intuito de testar essa previsão foram realizadas expedições de cientistas ingleses para a Ilha de Príncipe, na África, e para Sobral, no Brasil, em 1919, onde aconteceriam eclipses solares totais (VIDEIRA, 2005). Eles mediram a curvatura da luz vinda de estrelas distantes, quando elas passam próximas ao Sol, da seguinte forma: primeiro era preciso de um eclipse solar total para que a luz do Sol não ofuscasse a observação das estrelas, com isso tirar fotografias do Sol encoberto pela Lua, quantas fossem possíveis durante o eclipse. A segunda parte desse experimento é tirar fotografias dessa mesma parte do céu durante a noite e com as fotografias desses dois momentos fazer a comparação entre elas. Se, ao sobrepor as fotografias, ou seus negativos, as estrelas não se sobrepuserem, então houve desvio da luz vinda dessas estrelas por passarem pelo Sol e seu forte campo gravitacional. A conclusão foi que a luz na presença de um campo

gravitacional se curva na direção do campo, na distância mais curta, que é uma curva por causa da curvatura do espaço-tempo (Figura 6).

Figura 6 – Deflexão de um feixe de luz.



Fonte: TIPLER, LLEWELLYN (2008), pag. 101.

Expressão para o cálculo do desvio da luz pela gravidade (ZYLBERSZTAJN, 1989):

$$\alpha = \frac{4GM}{c^2 R} \quad \text{eq. 4}$$

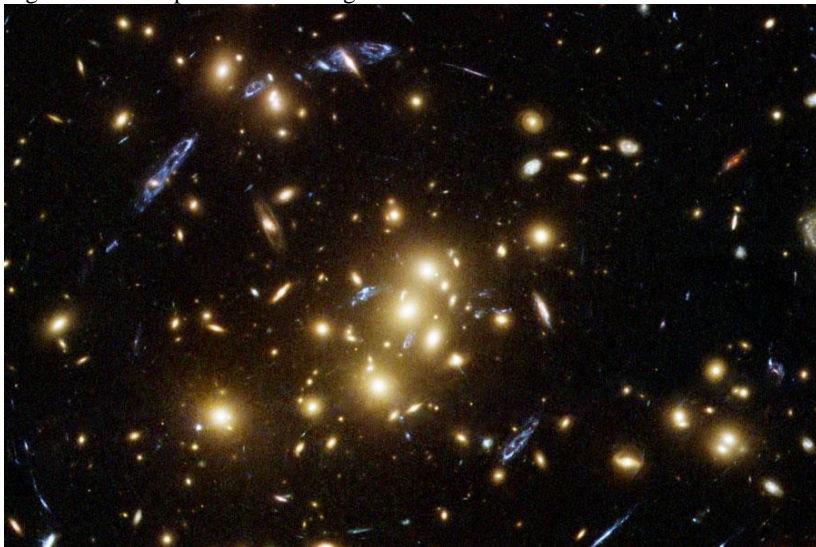
onde R é a distância de maior aproximação do feixe de luz com o centro de M , e com o feixe de luz contornando o Sol, $R =$ raio do Sol.

Substituindo o valor de G , da massa e do raio do Sol temos: $\alpha = 1,75$ segundo de arco. As medidas feitas em Sobral (Brasil) ficaram em torno de $\alpha = 1,98$ segundo de arco e na ilha de príncipe (África) em torno de $\alpha = 1,61$ segundo de arco (ZYLBERSZTAJN, 1989). Como a medida depende da distância entre o Sol e o feixe de luz os astrônomos conseguiram valores de deflexão entre 2% ($R =$ raio do Sol) e 0,1% ($R = 7$ raios do Sol).

A deflexão da luz é usada por astrônomos pelo fenômeno da *lente gravitacional* no estudo das galáxias e outras grandes massas no

espaço. Para entender esse fenômeno, imagina-se que no lugar do Sol, na figura acima, encontra-se a grande concentração de massa de uma galáxia, por exemplo. A luz de galáxias muito distantes passa através dessas grandes concentrações de massa, facilitando sua visão e seu estudo. Essa facilidade acontece, pois, quando se utiliza o fenômeno da lente gravitacional, a luz se distancia da concentração de massa, tornando a visualização dessa luz mais nítida para o observador aqui da Terra, como na figura 7, abaixo:

Figura 7 – Exemplo real de lente gravitacional.

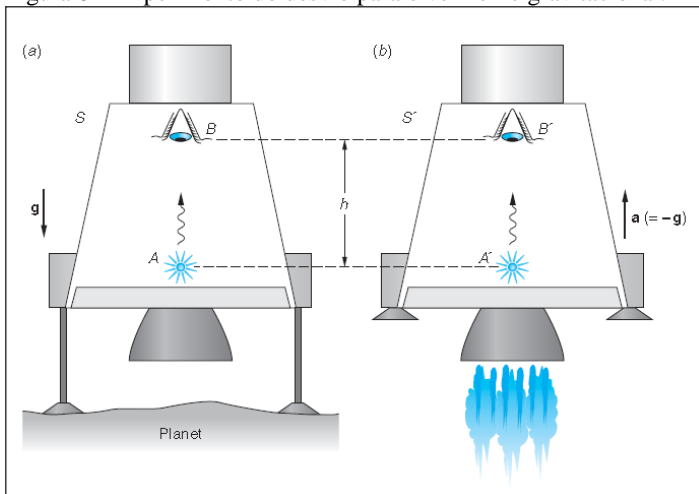


Fonte: NASA, 2009.

A desaceleração da frequência da luz em um campo gravitacional

Outra predição da teoria da relatividade geral diz respeito às taxas de relógios e as frequências da luz na presença de um campo gravitacional, essa predição é explicada através do fenômeno do desvio para o vermelho gravitacional, consequência direta do princípio da equivalência. Para conhecer melhor esse fenômeno TIPLER e LLEWELLYN (2008) trazem um experimento mental que nos auxilia na compreensão do fenômeno, então vamos imaginar duas fontes de luz idênticas (A e A') e detectores (B e B') localizados em naves espaciais também idênticas (S e S') conforme a figura 8, abaixo:

Figura 8 – Experimento do desvio para o vermelho gravitacional.



Fonte: TIPLER, LLEWELLYN (2008), pag. 103.

Esta nave S' está distante de qualquer massa que gere um campo gravitacional. No instante $t = 0$, ela começa a acelerar e, ao mesmo tempo, um átomo na fonte A' emite um pulso de luz com sua frequência característica f_0 , durante o tempo $t = \frac{h}{c}$ em que a luz viaja do ponto A' para o ponto B' , esse pulso adquire uma velocidade de $v = at = g \frac{h}{c}$, e o detector B' acaba recuando do local original, medindo a frequência de luz que está chegando igual a f desviada para o vermelho por uma quantidade fracionária β quando $v \ll c$, em que:

$$\frac{(f_0 - f)}{f_0} = \frac{\Delta f}{f_0} \approx \beta = \frac{v}{c} = \frac{gh}{c^2} \quad \text{eq. 5}$$

Nota-se que o lado direito da equação (eq. 9) é igual ao potencial gravitacional (energia potencial gravitacional por unidade de massa) $\Delta\phi = gh$ entre A e B , dividido por c^2 . De acordo com o princípio da equivalência, o detector B na nave espacial S também mede a frequência da luz que chega como f , apesar de S estar em repouso no planeta, portanto, a mudança não ocorre devido ao efeito *Doppler*. Desde que um átomo vibratório, que produz um pulso de luz, pode ser considerado um relógio e desde que nenhum “ciclo” de vibração é perdido na viagem entre A e B , o observador em B deve concluir que o relógio avança mais lentamente em A , comparado a um relógio idêntico

em B. Como em B o potencial gravitacional é menor, o observador conclui que os relógios avançam mais lentamente quanto menor for o potencial gravitacional.

O desvio das taxas dos relógios para frequências mais baixas é chamado de desvio para o vermelho gravitacional. O caso contrário, que é o desvio para frequências mais altas, chama-se desvio para o azul gravitacional que não será tratado nesse capítulo, pois calcula a mudança no potencial gravitacional com o seu início no infinito, o que não comumente calculamos quando tratamos da Terra e seu campo gravitacional.

Para conseguirmos calcular o quanto essa taxa dos relógios (biológicos ou não) muda entre dois pontos, em um determinado campo gravitacional, utiliza-se uma dedução matemática a partir do cálculo do potencial gravitacional e que será detalhada a seguir. Nos casos mais gerais de uma esfera, sem rotação e com massa M , a mudança no potencial gravitacional entre alguma distância R do centro e um ponto no infinito é dada por (TIPLER, LLEWELLYN, 2008):

$$\Delta\phi = \int_R^\infty \frac{GM}{r^2} \partial r = GM \left(\frac{-1}{r} \right) \Big|_R^\infty = \frac{GM}{R} \quad \text{eq. 6}$$

E o fator pelo qual a gravidade desvia a frequência da luz é encontrado por:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{(f_0 - f)}{f_0} = \frac{GM}{c^2 R} \quad \text{eq. 7}$$

que é igual a $\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{GM}{c^2 R}$ (desvio para o vermelho gravitacional).

Substituindo os valores de G (constante gravitacional), M (massa), c (velocidade da luz no vácuo) e R (distância entre o observador e o relógio), conseguimos calcular a diferença entre as frequências do relógio, sempre levando em consideração que o observador está no maior potencial gravitacional e o relógio no menor potencial gravitacional. Para exemplificar o cálculo anterior e conseguirmos interpretar essa diferença e sua dependência com o campo gravitacional, vamos calcular a diferença entre as frequências e compará-las, utilizando como corpos massivos a Terra e depois o Sol.

Cálculo da diferença das frequências com a massa da Terra:

$$\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{GM}{c^2 R} = 1 - \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,98 \times 10^{24}}{(3 \times 10^8)^2 \times 1,5 \times 10^8} = 1 - 2,95 \times 10^{-11}$$

$$\frac{f}{f_0} = 1 - 0,0000000000295 = 0,9999999999705$$

Com esse resultado notamos que a diferença entre as frequências dos relógios é quase nula, mesmo que a distância (R) considerada seja muito grande para os parâmetros terrestres. Agora vamos calcular essa diferença, utilizando a massa do Sol:

$$\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{GM}{c^2 R} = 1 - \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 1,99 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2 \times 1,5 \times 10^8} = 1 - 9,85 \times 10^{-6}$$

$$\frac{f}{f_0} = 1 - 0,00000985 = 0,99999015$$

A diferença nesse segundo cálculo ainda é pequena, mas bem mais mensurável se comparada com o resultado anterior, da Terra. Se substituirmos f_0 por 200, por exemplo, no primeiro caso teríamos $f = \approx 200$, já no segundo caso, teríamos $f = 199,99803$, o observador então notaria que a frequência está menor que a original do relógio. Podemos atribuir uma maior diferença devido ao fato de o campo gravitacional gerado pela massa do Sol ser mais intenso (curvatura do espaço-tempo mais acentuada) do que o campo gravitacional gerado pela Terra.

Qual o papel da teoria da gravitação universal de Newton frente à teoria da relatividade geral?

Os trabalhos de Newton e a lei da gravitação universal descreveram por muitos anos o comportamento do universo. Partindo da “simplicidade” das leis de movimento dos planetas de Kepler, até levar em consideração as interações mútuas entre os planetas, para descrever a precessão de suas órbitas. (GAMOV, 1962)

Com a chegada da teoria da relatividade geral de Einstein, uma nova visão surgiu. Houve uma grande mudança do que conhecíamos como gravitação, os referenciais utilizados foram ampliados e conceitos base como espaço e tempo absolutos foram totalmente reformulados. Porém os resultados obtidos quando utilizamos a gravitação newtoniana no âmbito de campos gravitacionais “fracos” (pouca curvatura no espaço-tempo) são muito próximos dos obtidos utilizando a teoria da

relatividade geral, pois a teoria einsteiniana, quando lida com esses parâmetros, recai na teoria newtoniana da gravitação.

Então a teoria da relatividade geral é utilizada quando sai dos parâmetros gravitacionais terrestres (espaço-tempo quase plano) para parâmetros gravitacionais bem grandes (espaço-tempo curvado), quando lida com referenciais não-inerciais e quando tempo e espaço não são absolutos, ou seja, quando são modificados de acordo com o campo gravitacional envolvido. Porém ela também tem suas limitações. Uma delas é a não possibilidade de união entre a relatividade geral e a física quântica. Assim a relatividade geral não consegue lidar com o muito pequeno e a física quântica com o muito grande. Outro fato é a não explicação sobre a energia escura, encontrada por cientistas nos últimos anos, e que pode indicar uma parte da cosmologia ainda por ser explicada. O ponto positivo da teoria einsteiniana é que ela ainda está sob investigação pela comunidade científica, que, por meio de alguns experimentos, tenta corroborar ou derrubar a teoria, dinamizando a ciência cosmológica e ampliando o conhecimento público da mesma.

Na unidade de aprendizagem proposta, os conceitos abordados são os que auxiliam para o melhor entendimento da viagem no tempo, para que os alunos consigam responder o principal questionamento do material: “É possível viajar no tempo como no filme interestelar?”. Esses conceitos são: princípio da equivalência e curvatura do espaço-tempo, que são as principais mudanças conceituais com a vinda da relatividade geral. Além disso, trato das previsões advindas da nova teoria da gravitação, com o intuito de mostrar onde podemos “perceber” as principais mudanças na descrição de fenômenos gravitacionais. A desaceleração do tempo é uma dessas previsões, a que finaliza a unidade de aprendizagem, mas, anteriormente, trago a explicação para a excessiva precessão do periélio de Mercúrio e o desvio da luz na presença de um campo gravitacional. O conteúdo básico da unidade está exposto nesse capítulo. O recorte feito nessa transposição foi o de sintetizá-lo, para que a carga cognitiva exigida para compreendê-lo não ultrapassasse o processamento cognitivo do usuário (novato no tema). Por isso a quantidade de texto e figuras é balanceada, assim como a inserção de vídeos para que o processamento cognitivo da memória de trabalho do público alvo consiga ter a melhor distribuição possível. Caso o usuário queira conhecer todo o conteúdo aqui exposto (alunos com maior experiência com o conteúdo), esse texto está acessível em forma de hipertexto na unidade de aprendizagem.

2.2.2 Visualização no ensino de ciências

Visualizações científicas podem fornecer um meio para imaginar e criar representações mentais do que se observa e podem ser importantes no ensino de ciências.

O termo visualização é amplo e pode ser usado, segundo Vavra et. al. (2011), para nomear uma representação, para referir ao processo de criação de uma representação gráfica ou como um sinônimo para a imaginação visual. Os autores classificam em três tipos: visualização de objetos, visualização introspectiva e visualização interpretativa.

- Visualização de objetos – utiliza-se de objetos em geral como: fotos, diagramas, simulações, vídeos e outros.

- Visualização introspectiva – utiliza-se de objetos mentais, é uma visualização de objetos por meio da imaginação. Ainda se tem poucos estudos do impacto desse tipo de visualização isolada na aprendizagem efetiva do aluno.

- Visualização interpretativa – utilizam-se criações de representações próprias a partir da relação entre a visualização de objetos e a visualização introspectiva. Para os autores, a criação das imagens geradas pelos alunos facilita a aprendizagem dos mesmos porque assim eles dão significado pessoal e relevância ao conteúdo ensinado.

A visualização dentro da educação científica tem duas bases teóricas: a teoria da codificação dual e a hipótese das imagens visuais (VAVRA et. al., 2011).

A teoria da codificação dual (PAIVIO, 1986; SADOSKI, PAIVIO, 2001) está focada na visualização como um meio para o entendimento de como a informação verbal e a informação visual são codificadas pelos dois sistemas mentais independentes. A combinação dos dois fornece um suporte duplo para a aprendizagem e a aquisição de conhecimento. Ela fornece importantes pensamentos intuitivos de como a visualização pode melhorar a aprendizagem e o entendimento de novos conceitos.

A hipótese das imagens visuais (JOHNSON-LAIRD, 1998; PYLYSHYN, 2003) está focalizada em objetos de visualização. De acordo com Vekiri (2002), as representações gráficas permitem um processamento da informação mais eficiente que as representações verbais, reduzindo a demanda na memória de trabalho.

Vavra et. al. (2011) fizeram uma pesquisa para conhecer os resultados de trabalhos que aplicaram as bases teóricas de visualização (codificação dual e hipótese das imagens visuais) e obtiveram algumas

respostas a respeito de como utilizá-la, buscando seu melhor aproveitamento para a aprendizagem de ciências. Abaixo trago resumidamente alguns desses tópicos pertinentes a este trabalho:

- Algumas visualizações podem melhorar ou substituir explicações verbais e textuais adicionais de conceitos científicos;

- Podem habilitar os estudantes para visualizar as conexões entre as representações e os conceitos;

- Combinar a visualização com a informação textual ou verbal melhora o entendimento dos conceitos;

Agora trago algumas recomendações que esses autores fazem sobre visualização dinâmica:

- Quanto maior a quantidade de informações que o aluno tiver sobre o assunto antes de ser apresentado ao material, mais facilmente o novo conhecimento será relacionado ao conhecimento já obtido pelo aluno, facilitando assim também sua aprendizagem;

- Muita informação em um só material pode comprometer seu entendimento, devido à sobrecarga da memória de trabalho do aluno;

- A adição de imagens em 3D pode resultar em uma sobrecarga cognitiva para estudantes com baixa habilidade de visualização espacial;

- Interatividade do aluno com o material pode gerar carga cognitiva extra se esse aluno não tiver as habilidades necessárias para lidar com essa interatividade;

- Utilizar animação apenas quando os alunos necessitarem da visualização de movimento, de forma que desafie o aluno, dando atenção ao gráfico e utilizar com outras atividades em conjunto;

- Dar maior atenção ao conteúdo do material do que o “realismo” do mesmo. O “realismo” pode gerar carga cognitiva extra ao aluno;

- Os alunos necessitam de conhecimentos e habilidades prévias para lidar com a visualização, seja estática ou dinâmica;

- A visualização deve: ajudar a pensar, a processar e analisar informações para reduzir a carga na memória de trabalho.

Hegarty (2004) traz alguns outros pontos interessantes para a discussão. Como o fato de que a visualização dinâmica não é sempre melhor que a estática, ela tem um grande potencial, porém é necessário ter uma atenção extra durante sua elaboração e utilização.

Seguindo o mesmo protocolo, a autora também traz algumas recomendações de como se deve construir e utilizar esse material instrucional, buscando uma maior aprendizagem do conteúdo pelo aluno:

- O realismo não é tão bom para novatos, pois eles não têm

conhecimento prévio para lidar com tanta informação visual e acabam se distraíndo do que é realmente relevante para sua aprendizagem;

- Visualização dinâmica, sem o controle de passagem pelo aluno, gera demanda cognitiva como a transitoriedade, que é gerada pelo fato de a visualização rodar mais rapidamente do que o aluno é capaz de processar;

- O controle de passagem dá um maior domínio da velocidade aos alunos, tornando-os mais ativos na aprendizagem;

- A interface interativa pode gerar carga cognitiva estranha para novatos, pois ela assume que os alunos têm habilidades cognitivas necessárias para lidar com a interatividade, o que não é sempre verdade;

- A melhor maneira de lidar com as diferenças de habilidades entre os alunos é fornecer um ensinamento de como utilizar o material instrucional antes de apresentá-lo.

O próximo tópico é dedicado à teoria da carga cognitiva, que é a base teórica escolhida para auxiliar no entendimento da cognição humana e fornecer norteadores teóricos na busca de uma melhor elaboração do material instrucional com a finalidade de torná-lo um facilitador de aprendizagem.

2.2.3 Teoria da Carga Cognitiva

Ela é uma teoria que vem se fortalecendo na área da educação, e que leva em conta a arquitetura cognitiva humana para o seu desenvolvimento. Para esse trabalho, concentrei-me em estudar detalhadamente o último livro lançado por John Sweller: “Teoria da Carga Cognitiva” com outros dois autores, Paul Ayres e Slava Kalyuga publicado, em 2011. Essa teoria foi desenvolvida a partir do pressuposto que o ser humano tem uma capacidade limitada de processamento de uma nova informação, e que podemos aperfeiçoar os materiais instrucionais para apresentá-los de maneira que não sobrecarreguem essa capacidade e sejam utilizadas estratégias que tornem esse material um facilitador da aprendizagem.

Começo pela arquitetura cognitiva humana, pois ela tem uma grande importância para a carga cognitiva que serve como base da teoria. Por “arquitetura cognitiva” entende-se a maneira como as estruturas cognitivas são organizadas. Há muitas pesquisas relacionadas ao tema desde os anos 1930, mas elas se tornaram unificadas em torno de 1970 (SWELLER, 2003). Apesar de ser um tema em desenvolvimento, há um consenso sobre seu esboço básico e a partir

daqui vamos descrever esse esboço, que é composto por: memória de trabalho, memória de longo prazo, esquemas e automação.

A memória de trabalho é a máquina de processamento do sistema cognitivo. É a memória intelectual consciente, que nos permite pensar, resolver problemas, redigir um texto. Tem como característica principal processar a nova informação com os conhecimentos prévios do indivíduo, objetivando fazer alterações na memória de longo prazo, para adição deste novo conhecimento. Os seus principais atributos são: ter uma capacidade extremamente limitada de processamento (MILLER, 1956) e a duração do tempo em que o conhecimento permanece nela para ser processado é extremamente limitado (PETERSON & PETERSON, 1959). É composta por dois processadores, um processador visual e um processador auditivo.

A memória de longo prazo é o local onde fica o armazenamento do conhecimento adquirido. Tem tamanho ilimitado, e é uma forma de conseguirmos fazer a distinção entre novatos e especialistas. Quanto maior a quantidade de conhecimento armazenado na memória de longo prazo, maior a experiência da pessoa em algo. Também é responsável pelo armazenamento dos esquemas adquiridos ao longo do tempo, resultantes do processo de aprendizagem e que auxiliam o aprendiz no processamento de novas informações. Aprender para essa teoria é conseguir fazer alterações e adições de conhecimento na memória de longo prazo, de modo que possa ser resgatado quando necessário, facilitando o processamento na memória de trabalho do indivíduo, que é limitada em capacidade e duração.

Esquemas são a maneira como o conhecimento é armazenado na memória de longo prazo. Os esquemas permitem que os elementos de informação sejam categorizados de acordo com a maneira que devem ser utilizados e a habilidade, em qualquer área, depende da aquisição de esquemas específicos, armazenados na memória de longo prazo.

Automação nos traz que tudo que é aprendido pode ser automatizado se houver prática do indivíduo. Quando o conhecimento é automatizado, ele exige menos esforço consciente e assim acaba diminuindo a sobrecarga na memória de trabalho.

Outro ponto importante para a teoria da carga cognitiva são os 5 princípios que fundamentam a arquitetura cognitiva humana, por meio deles conseguimos entender mais facilmente como a mente humana funciona quando é apresentada a uma nova informação:

- **Princípio do armazenamento de informação:** precisamos de um grande armazenamento de informação para lidar com ambientes

complexos e variáveis e os sistemas naturais de processamento de informação devem poder lidar com esta informação. Para estarmos preparados, precisamos enriquecer nossa memória de longo prazo, por isso, antes de aprendermos algo, é necessário que haja a construção de esquemas iniciais sobre o tema para que eles ancorem o novo conhecimento.

- **Princípio do empréstimo e reorganização:** obtemos informação organizada de um armazenamento de informação de outro indivíduo (empréstimo) e a reorganizamos com o conhecimento prévio existente em nossa memória de longo prazo. Essa obtenção do conhecimento de outra pessoa pode ocorrer através da imitação (utiliza os neurônios espelho), da demonstração e da reorganização do novo conhecimento combinando-o com o conhecimento prévio. Um exemplo clássico: quando somos ensinados por alguém sobre um conteúdo específico.

- **Princípio da aleatoriedade como gênese:** fornece o mecanismo pelo qual a informação é inicialmente criada, é o motor de criatividade. Quando não se tem conhecimento prévio na memória de longo prazo, a geração aleatória e o procedimento de teste exercem esse papel. Eles criam informação, para posteriormente processá-la e adicioná-la na memória de longo prazo. Esse princípio é a fonte da criatividade, pois requer um movimento para o desconhecido e essa criatividade só é diferente entre os indivíduos por causa das diferenças entre os conhecimentos armazenados na memória de longo prazo de cada um deles.

- **Princípio do estreito limite de mudança:** fornece o mecanismo pelo qual o sistema natural de processamento de informação interage com o ambiente externo, por meio das características da informação armazenada. Essa interação ocorre a partir da memória de trabalho, pois ela conecta os dois “mundos”, a memória de longo prazo do indivíduo e seu conhecimento armazenado com o ambiente externo e as novas informações com que o indivíduo é confrontado.

- **Princípio da vinculação e organização ambiental:** trabalha com o princípio do estreito limite de mudança na vinculação da informação armazenada e organiza o ambiente para que aconteça a interação com o sistema natural de processamento de informação. Por exemplo, em frente a informações novas, esse princípio organiza essas informações, de maneira que aconteça a interação com a memória de longo prazo por

meio da memória de trabalho, da melhor maneira possível e de maneira mais tranquila também.

O conjunto de princípios acima serve como base para a teoria da carga cognitiva, fundamentando-a. A partir do próximo parágrafo, entrarei na parte específica da teoria, começando pelo que se entende por carga cognitiva.

Carga cognitiva é a quantidade total de atividade mental despendida pela memória de trabalho no processamento de uma nova informação. E, de acordo com a teoria, para um melhor desempenho desta memória, a carga cognitiva deve ser gerenciada para seu melhor aproveitamento.

Ela é dividida em três componentes: carga cognitiva intrínseca, carga cognitiva estranha e a carga cognitiva pertinente, que foi integrada por Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) à carga cognitiva intrínseca. A carga cognitiva intrínseca está relacionada inerentemente à complexidade do conteúdo a ser ensinado, associada ao grau de dificuldade que o aluno precisa enfrentar para compreender o que está sendo ensinado. A carga cognitiva estranha está relacionada ao material instrucional, associada a como ele é apresentado ao aluno ou às atividades propostas em que os alunos devem se engajar. A carga cognitiva pertinente, parte integrante da intrínseca, não está associada com o material ou conteúdo que está sendo apresentado ao aluno. Ela pode ser melhor entendida quando relacionada aos recursos da memória de trabalho, que são dedicados para lidar com a informação que é relevante para a aprendizagem. As cargas cognitivas intrínseca e estranha são adicionais e juntas compõem a carga cognitiva total, imposta pelo material didático ou processo de instrução subjacente. Se os recursos requeridos para lidar com a carga cognitiva imposta pelo material excederem os recursos disponíveis na memória de trabalho, o sistema falhará, não haverá aprendizagem.

A melhor maneira de utilizarmos a memória de trabalho é gerenciando as cargas cognitivas, tanto a carga cognitiva gerada pelo material, como a carga cognitiva gerada pelo conteúdo, assim os recursos disponíveis da memória de trabalho podem se dedicar ao que é relevante para a aprendizagem, ao invés de serem sobrecarregados pelas cargas cognitivas intrínseca e estranha. Como gerenciamos as cargas cognitivas do conteúdo e do material instrucional? Por meio dos efeitos trazidos por John Sweller, que são como norteadores da elaboração e utilização de qualquer material instrucional. São eles: efeito “sem-metas”, efeito do exemplo trabalhado e complementação de problemas,

efeito da divisão de atenção, efeito modalidade, efeito redundância, efeito da *expertise* reversa, efeito queda de direcionamento, efeito da imaginação e o efeito do elemento interatividade. A seguir, descrevo cada um deles:

Efeito “sem metas” – ele ocorre quando um problema de aprendizagem com um objetivo específico é substituído por um problema sem um objetivo específico. Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) trazem o exemplo: um problema típico de geometria pede que os alunos calculem um ângulo específico de uma figura, quando utilizamos o efeito “sem-metas”, substituímos esse problema por um que peça que os alunos calculem quantos ângulos eles conseguirem da mesma figura.

Efeito do exemplo trabalhado – ocorre quando os alunos são apresentados a exemplos de solução de problemas, para estudarem e, somente após isso, tentarem resolver sozinhos problemas similares. Eles nos fornecem esquemas que guardamos na memória de longo prazo para utilizarmos posteriormente, como o princípio do empréstimo e reorganização já nos mostrou. Um exemplo disso são os típicos problemas, quando o professor resolve um no quadro e após isso fornece outros para que os alunos resolvam sozinhos.

Efeito da complementação de problemas – é muito próximo ao efeito do exemplo trabalhado, a diferença é que neste efeito o professor fornece uma parte do problema resolvida, ao invés de mostrar um exemplo completo. Uma aplicação possível é a resolução de equações como descrito a seguir:

“Calcule a força da atração gravitacional entre dois objetos com massas iguais a 500 *kg*, distantes 5 metros um do outro. ”

No exemplo trabalhado, o exemplo seria mostrado da seguinte forma:

$$F = \frac{G.M.m}{r^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 500 \cdot 500}{5^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 250000}{25} = 6,67 \times 10^{-11} \cdot 1 \times 10^4$$

$$F = 6,67 \times 10^{-7} \text{ N}$$

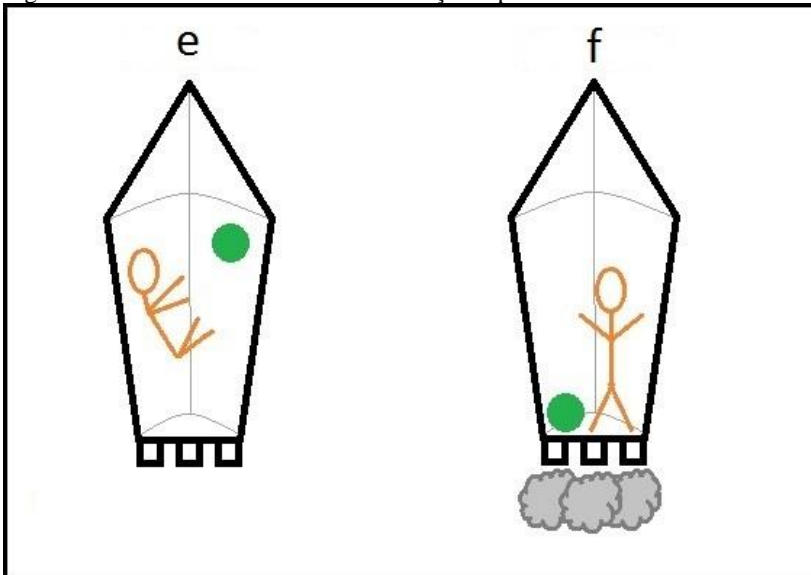
No efeito da complementação de problemas, essa mesma equação poderia ser mostrada da seguinte forma:

$$F = \frac{G.M.m}{r^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 500 \cdot 500}{5^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 250000}{25} = ?$$

Dessa forma, o aluno tem que completar o exemplo dado para depois estudá-lo.

Efeito da divisão de atenção – quando é requisitado do aluno que ele dê atenção a, pelo menos, duas fontes de informação separadas espacialmente ou temporalmente. Se cada fonte de informação é essencial para a aprendizagem e ininteligíveis isoladamente, o aluno precisa integrá-las mentalmente, o que pode gerar uma alta carga cognitiva estranha. Para diminuir essa carga, o professor precisa fornecer o material já integrado aos alunos. Veja o exemplo exibido nas figuras 9 (e) e (f) e 10 (g) e (h), abaixo:

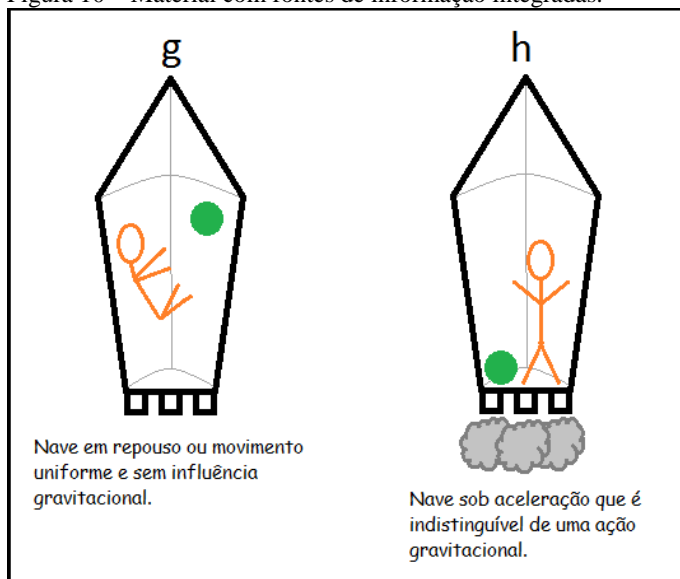
Figura 9 – Material com fontes de informação separadas.



A figura e nos mostra a nave em repouso ou em movimento uniforme e sem influência gravitacional e a figura f traz a mesma nave sob aceleração que é indistinguível de uma ação gravitacional

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 10 – Material com fontes de informação integradas.

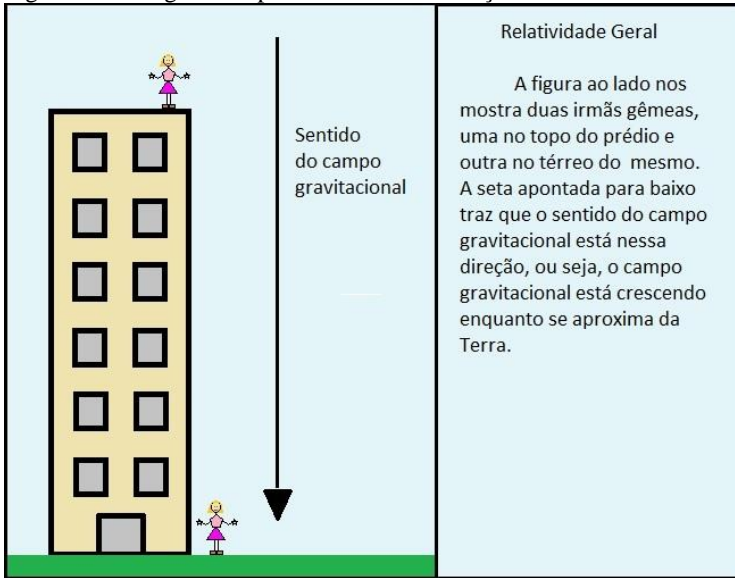


Fonte: elaborada pela autora.

Efeito modalidade – uma maneira alternativa para lidar com a divisão de atenção é utilizar mais de um canal de processamento para apresentar o material. Ao invés de utilizar apenas a visão dos alunos para a compreensão de algum material instrucional, utiliza-se a audição com a visão, assim, divide-se a carga cognitiva, antes colocada toda apenas em um canal. Por exemplo, quando utilizamos figuras (visual) e explicamos verbalmente (auditivo) a figura, facilita a aprendizagem, pois divide a carga tradicional processada em dois canais visual (figura) + auditivo (texto falado).

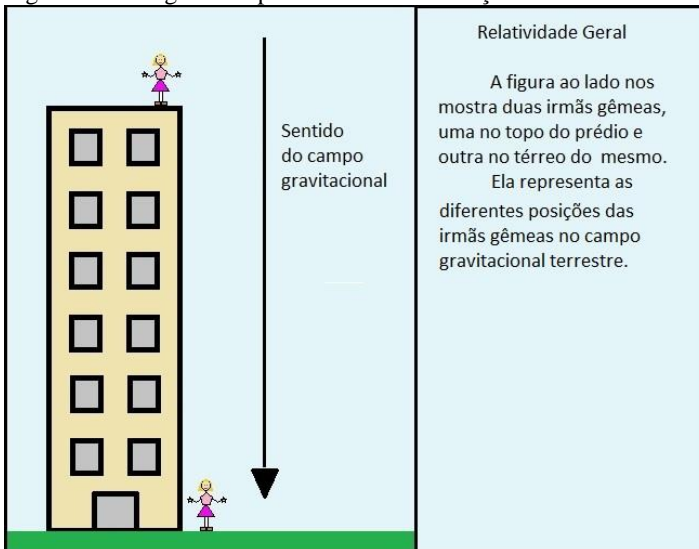
Efeito redundância – apesar da aparente semelhança com o efeito da divisão de atenção, esses dois efeitos têm diferenças de grande importância. No caso da divisão de atenção as duas fontes de informação são inteligíveis, ou seja, não podem ser entendidas isoladamente. No caso do efeito redundância as informações são inteligíveis isoladamente e não precisam ser integradas. Pensando nisso esse efeito nos diz que é melhor retirar as informações redundantes, pois essa informação excessiva e irrelevante é prejudicial para a aprendizagem do aluno. Exemplo nas figuras 11 e 12, abaixo:

Figura 11 – Diagrama explicativo com informações redundantes.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 12 – Diagrama explicativo sem informações redundantes.



Fonte: Elaborada pela autora.

Efeito da experiência reversa – surge do estudo do efeito de redundância. Ele ocorre quando o material apresentado é muito carregado de diagramas e explicações detalhadas de algo, que para novatos é essencial, mas para especialistas se tornam redundantes. Neste caso, a preocupação é com o nível de experiência do aluno, para que o material não se torne redundante.

Efeito da queda de direcionamento – para iniciantes, o efeito do exemplo trabalhado é muito eficiente, porém com alunos mais experientes essa prática acaba gerando carga cognitiva desnecessária. Isso ocorre porque o aluno se envolve em aprender um esquema de solução de problemas que ele já tem, desperdiçando processamentos da memória de trabalho. A solução proposta é ir reduzindo o direcionamento de acordo com a experiência do aluno, primeiro pode-se fornecer um exemplo completo e aos poucos reduzir o quanto do exemplo é fornecido, através de problemas por completar, como nos exemplos abaixo:

“Calcule a força da atração gravitacional entre duas massas de 500 *kg*, distantes 5 metros uma da outra. ”

Exemplo completo, primeiro passo do efeito:

$$F = \frac{G.M.m}{r^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 500 \cdot 500}{5^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 250000}{25} = 6,67 \times 10^{-11} \cdot 1 \times 10^4$$

$$F = 6,67 \times 10^{-7} \text{ N}$$

Exemplo parcialmente completo, segundo passo do efeito:

$$F = \frac{G.M.m}{r^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 500 \cdot 500}{5^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 250000}{25} = ?$$

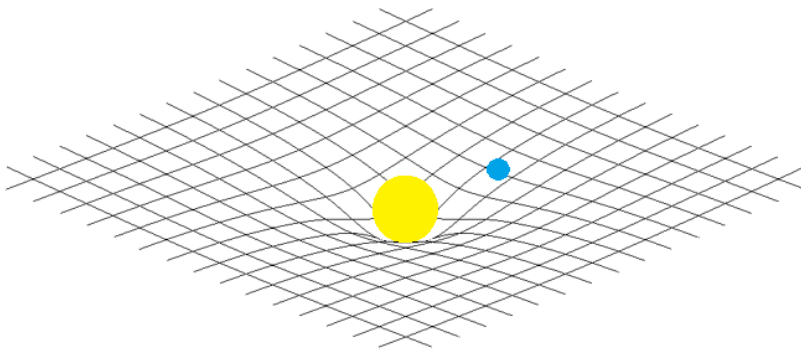
Exemplo parcialmente completo, terceiro passo do efeito:

$$F = \frac{G.M.m}{r^2} = ?$$

Efeito imaginação – este método é baseado em atividades de imaginação, procedimentos ou conceitos. Por exemplo, imaginar a solução de um problema equivale a um exemplo trabalhado. Imaginar é definido como a reprodução mental de um procedimento ou um

conceito. Um estudo feito por Cooper, Tindall-Ford, Chandler e Sweller (2001) revelou que alunos obtiveram melhores resultados quando incentivados a imaginar os passos de um exemplo trabalhado, mostrado anteriormente, do que os alunos que viram novamente o mesmo exemplo trabalhado. Este efeito é mais indicado para alunos com um vasto armazenamento de informação em sua memória de trabalho, pois é despendida uma grande quantidade de processamento, que só é facilitada com uma memória de longo prazo ampla. Um exemplo que podemos utilizar para entender é sobre a curvatura do espaço-tempo na teoria da relatividade geral, quando o professor usa a figura 13 para explicar a gravitação:

Figura 13 – Imagem ilustrativa da curvatura do espaço-tempo.



Fonte: <http://graphicdesign.stackexchange.com/>, editada pela autora.

Segundo esse efeito, o aluno (mais experiente) aprenderá mais e melhor se, após utilizar-se da imagem, o professor incentivar seus alunos a imaginarem o mecanismo da curvatura do espaço-tempo. O professor pode, por exemplo, citar o exemplo da cama elástica com o intuito de ilustrar o efeito imaginação, conduzindo os alunos por um “experimento mental” que facilite a construção de esquemas mais complexos na memória de longo prazo.

Efeito autoexplicação – é semelhante ao efeito imaginação e é definido como um diálogo mental que o aluno tem quando estuda um exemplo trabalhado que o ajuda a entender o exemplo e a construir um esquema para si. Também é indicado para alunos com maior experiência e conhecimento prévio, já que para isso a memória de longo prazo será muito requisitada.

Efeito da interatividade de elementos – a carga cognitiva intrínseca é determinada pelo nível de interatividade entre os elementos essenciais da informação. Se o nível da interatividade entre elementos é alto, conseqüentemente esta carga também é alta, tornando a reflexão para a elaboração do material instrucional fundamental. Relembrando que devemos diminuir a carga cognitiva estranha do material principalmente quando a carga cognitiva intrínseca do conteúdo for alta. Este efeito é tratado separadamente, porque há indícios empíricos de que a quantidade de interatividade entre elementos leva conseqüências a todos os outros efeitos. Podemos refletir sobre a relatividade geral e a quantidade de elementos que interagem entre si, essa quantidade é muito alta, portanto a carga cognitiva intrínseca é muito alta. Quando um aluno novato em relação ao tema se depara com um material de alta interatividade de elementos, a aprendizagem dele vai ser dificultada. Portanto, ao elaborar o material, para esse público alvo, precisamos “quebrar” essa interatividade e trazer o conteúdo de maneira fracionada. Por exemplo: na unidade de aprendizagem proposta, eu fraciono o conteúdo de alta interatividade de elementos, que é a relatividade geral, em questões centrais sobre a mesma e trago de maneira separada os conceitos básicos envolvidos como: princípio da equivalência, curvatura do espaço-tempo, relatividade temporal, entre outros.

Para desenvolver e elaborar a unidade de aprendizagem proposta, busco embasamento na metodologia do *design* instrucional. O capítulo sobre o *design* instrucional é apresentado a seguir.

2.3 DESIGN INSTRUCIONAL

Neste capítulo, apresento minha metodologia de desenvolvimento da unidade de aprendizagem, ela é fortemente baseada no DI que foi escolhido por alguns motivos. Um destes motivos é o fato de ser uma metodologia preocupada com a elaboração de materiais instrucionais digitais, mas que tem como base as ciências humanas, as ciências da informação e as ciências da administração. A seguir descrevo um pouco da teoria e também as etapas que foram feitas para a elaboração da unidade de aprendizagem.

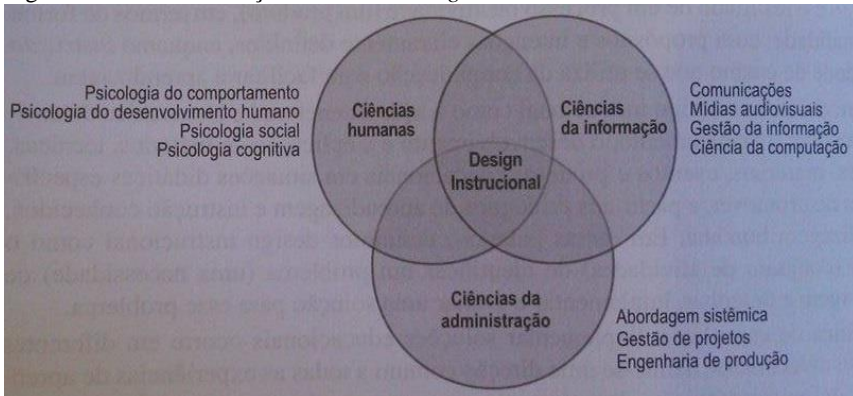
Para Filatro (2008, pág. 3) “definimos *design* instrucional como a ação intencional e sistemática de ensino que envolve o planejamento, o desenvolvimento e a aplicação de métodos, técnicas, atividades, materiais, eventos e produtos educacionais em situações didáticas específicas, a fim de promover, a partir dos princípios de aprendizagem e instrução conhecidos, a aprendizagem humana”. Uma definição complementar é dada por Batista e Menezes (2008), lembrando que essa metodologia se apropriou de práticas e teorias da educação convencional e sofre um cruzamento de seus caminhos com o *design* gráfico na concepção e produção de materiais instrucionais.

Pode-se desenvolver apenas um objeto educacional em si ou todo o módulo educacional, toda a atividade em torno da aprendizagem de algum tema, chamada de unidade de aprendizagem. Ele pode ser identificado como uma metodologia educacional:

“É identificado como uma metodologia educacional capaz de se valer da tecnologia para propor práticas e soluções para uma aprendizagem colaborativa, autônoma, que atenda às novas demandas da sociedade da informação e do conhecimento.” (BATISTA, MENEZES, 2008, pág. 3)

Ele é fundamentado em três diferentes campos do conhecimento, como mostrado na figura 14, abaixo:

Figura 14 – Fundamentação teórica do *Design Instrucional*.



Fonte: FILATRO, 2008, pág. 4.

- Ciências humanas – torna central a ideia de que a aprendizagem pode não apenas ser compreendida, mas também controlada. Iniciada com a instrução programada comportamentalista e chegando aos princípios sócio construtivistas de interação pessoal e cooperação social.
- Ciências da informação – o campo das comunicações traz a consciência de que as características de determinada mídia afetam tanto a percepção de conteúdos quanto o armazenamento e a recuperação das informações pelo aprendiz.
- Ciências da administração – os princípios e procedimentos da engenharia de produção podem ser aplicados à concepção, melhoria, implementação e desenvolvimento de produtos e sistemas instrucionais.

O *design* instrucional vem com o intuito de integrar essas três áreas, mantendo uma equivalência de importância no desenvolvimento de alguma atividade instrucional, seja ela um objeto educacional ou uma unidade de aprendizagem. Ele pode ser desenvolvido sob qualquer abordagem pedagógica/andragógica, porém é necessário que haja um embasamento em alguma delas para que seja um guia e ajude no desenvolvimento da unidade de aprendizagem. Neste trabalho, vamos utilizar como teoria de instrução a teoria da carga cognitiva para alcançar os objetivos pretendidos.

Há diversas tecnologias que podem ser empregadas nesse desenvolvimento, por exemplo: distributivas, interativas, colaborativas, conteúdo aberto, aproveitamento da inteligência coletiva, e outros. Para essa pesquisa vamos nos centrar na tecnologia do tipo interativa, do tipo um-para-um, um aluno mais ativo que aprende na interação com o material instrucional. Essas tecnologias podem dar origem a três formas

de *design* instrucional: fixo, aberto e contextualizado. O escolhido para desenvolvermos é o fixo, que envolve o planejamento criterioso e a produção de cada um dos componentes antecipadamente à ação de aprendizagem (FILATRO, 2008, pág. 19). O produto final deste tipo de *design* é fixo, que não pode sofrer alterações de terceiros, pois é rico de conteúdos bem estruturados, mídias selecionadas, para que não precise necessariamente de um professor para fazer a interação material instrucional e aluno.

O processo de DI geralmente segue uma sequência de fases chamada Addie, que se adapta muito bem ao DI Fixo: (1) analisar a necessidade, (2) projetar a solução, (3) desenvolver a solução, (4) implementar a solução e (5) avaliar a solução. Neste trabalho pretendemos cumprir as três primeiras fases desse processo, devido à dinâmica do mestrado.

A primeira fase é a de **análise**, que consiste em entender o problema educacional e projetar uma solução aproximada por análise contextual, que abrange o levantamento das necessidades educacionais, a caracterização dos alunos e a verificação de restrições (FILATRO, 2008, pág. 28). Nessa fase, vamos fazer uma detalhada investigação das necessidades de aprendizagem referente à modalidade educacional escolhida, no caso a educação *online*.

Para o planejamento da análise contextual, estão envolvidas algumas etapas:

- Identificar o problema de aprendizagem, os resultados esperados, as características dos alunos, os recursos disponíveis e as limitações técnicas;
- Identificar os fatores contextuais de orientação e instrução que tenham relevância para o projeto;
- Listar os dados que devem ser coletados, as fontes digitais, os documentos que precisam ser estudados e as ferramentas que devem ser analisadas;
- Selecionar os métodos mais adequados aos objetivos e às restrições do projeto;
- Localizar, construir ou modificar ferramentas e técnicas para a análise contextual do projeto.

Para coleta e análise de dados estão envolvidos os seguintes passos:

- Reunir dados sobre os fatores contextuais de orientação e instrução, que pode ser de diversas maneiras, incluindo mapeamentos conceituais;

- Levantar fatores contextuais inibidores, como uma interface digital imprópria;
- Analisar fatores contextuais ausentes, como a ausência de materiais de orientação;
- Destacar fatores contextuais facilitadores da aprendizagem que podem ser salientados, como as oportunidades de transferência imediata da aprendizagem;
- Relacionar os fatores inibidores, ausentes e facilitadores em benefício do projeto, criando um ambiente propício à aprendizagem.

Ao final da etapa de análise contextual teremos um relatório de análise estruturado contendo:

- As necessidades de aprendizagem;
- A caracterização do aluno;
- O levantamento de restrições;
- E o encaminhamento a soluções.

A segunda fase é o *design* (projetar a solução), abrange o planejamento e o *design* da situação didática propriamente dita, com o mapeamento e sequenciamento dos conteúdos a serem trabalhados, a definição das estratégias e atividades, a seleção das melhores mídias e ferramentas e a descrição dos materiais que deverão ser produzidos (FILATRO, 2008, pág. 29). Nessa etapa, vamos construir documentos de especificação, como roteiros ou *storyboards*, que antecipam decisões essenciais à apresentação dos conteúdos, como a organização, linguagem, plano, ilustrações e locuções que posteriormente poderão aparecer no desenvolvimento. Essa parte está repleta de tomada de decisões e suas justificativas para a construção do material instrucional.

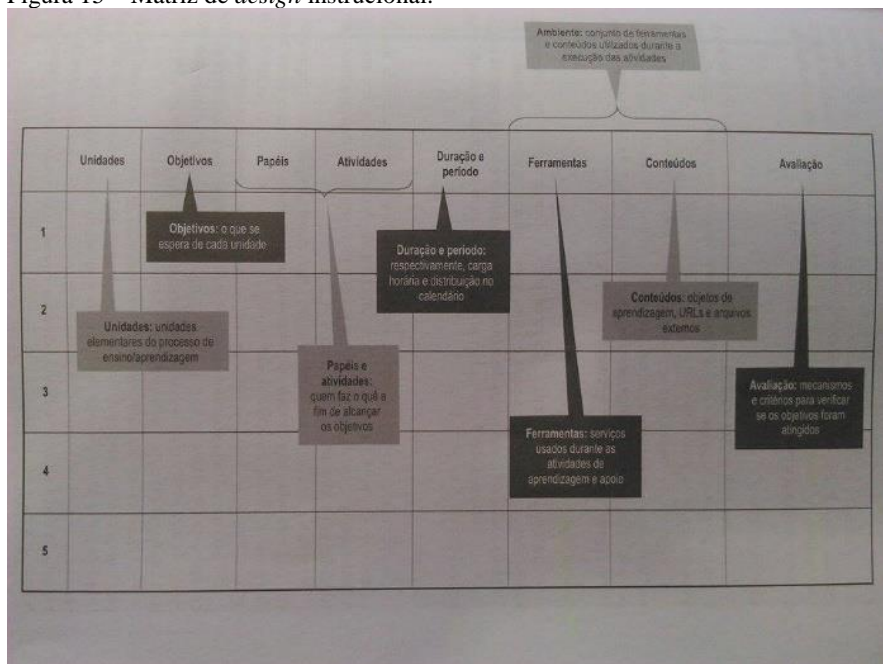
A terceira e última fase neste trabalho é a de **desenvolvimento** instrucional, que envolve a proposta de material instrucional em si, com possíveis construções de etapas da unidade de aprendizagem. Geralmente esta fase é feita por especialistas em colaboração com os profissionais da área de educação. Como trabalhei alguns anos com a construção de simulações e páginas da internet, construírei a unidade de aprendizagem, de acordo com as recomendações do DI e da teoria da carga cognitiva.

Mas o que é uma unidade de aprendizagem? Unidade de aprendizagem é definida, segundo Filatro (2008), como uma unidade elementar que contém os elementos necessários ao processo de ensino/aprendizagem. Ela não pode ser subdividida sem perder significado e tem tempo e extensão limitados, buscando atingir os objetivos de aprendizagem pretendidos, apoiada por conteúdos e ferramentas. Para Romiszowski e Romiszowski (2005), o formato do

material instrucional elaborado depende do tipo de conteúdo abordado e a ser apresentado, do objetivo de aprendizagem a ser trabalhado e da caracterização do público alvo.

Para entender como será o desenho desta unidade de aprendizagem, recomenda-se a construção da matriz de *design* instrucional, para melhor exemplificar a matriz a seguir, há a figura 15 que facilita esta explicação:

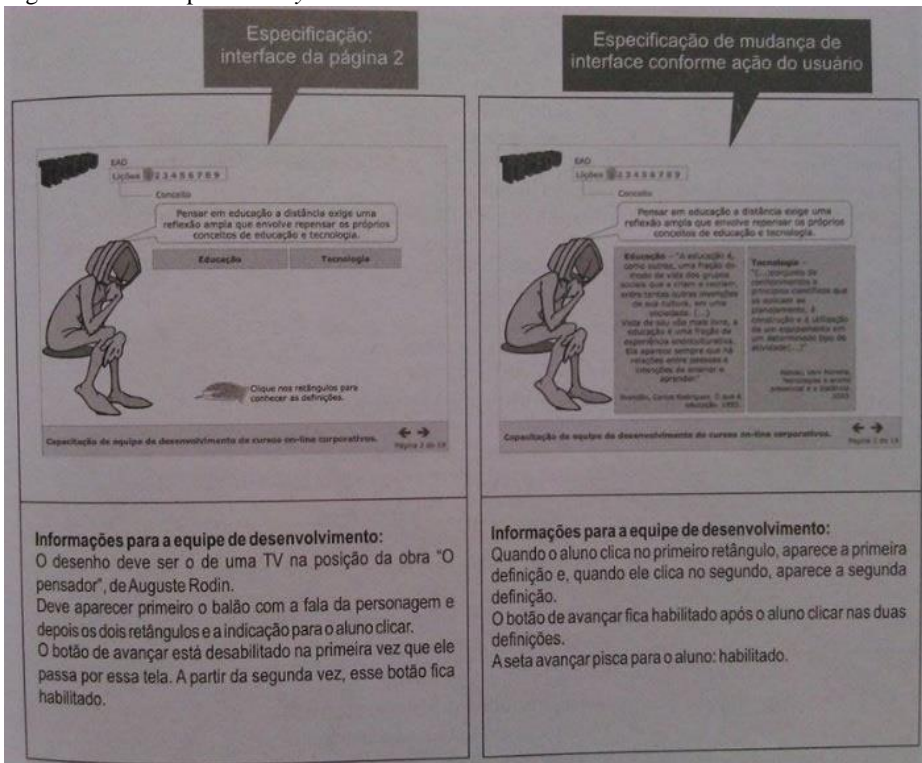
Figura 15 – Matriz de *design* instrucional.



Fonte: FILATRO, 2008, pág. 45.

Com a matriz de *design* instrucional completa, tem-se uma melhor visualização do que será a unidade de aprendizagem como um todo.

Já sabendo os objetivos e as atividades necessárias para alcançá-los, podemos pensar no *storyboard*, que descreve com detalhes a sequência das telas, representando cada cena e cada ação em uma linha do tempo, referente à segunda fase. A figura 16 ilustra uma *storyboard*:

Figura 16 – Exemplo de *storyboard*.

Fonte: FILATRO, 2008, pág. 61.

Ao fim dessas etapas, teremos um roteiro de análise com a análise contextual, uma matriz de *design* instrucional com os objetivos da unidade de aprendizagem e uma *storyboard* com a descrição e sequência das telas do material instrucional. Apenas a partir daí será feita uma proposta, integrando as decisões do *design* instrucional com a teoria da carga cognitiva e as dificuldades de aprendizagem em relatividade geral.

3 PLANEJAMENTO DA UNIDADE DE APRENDIZAGEM

3.1 ANÁLISE CONTEXTUAL

Essa análise contextual está baseada em 4 pilares: necessidades de aprendizagem, caracterização dos alunos, levantamento de restrições e encaminhamento a soluções. Após responder os questionamentos sobre esses pilares, montei o relatório de análise, apresentado no quadro 5:

Quadro 5 – Relatório de análise.

RELATÓRIO DE ANÁLISE	
Necessidades de aprendizagem	A motivação para este trabalho surgiu da demanda por materiais sobre relatividade geral que auxiliem na inserção deste conteúdo no ensino médio. O diferencial deste material instrucional é a proposta de um material instrucional digital que utiliza a teoria da carga cognitiva como embasamento teórico de aprendizagem.
Caracterização dos alunos	O enfoque deste trabalho é na educação <i>online</i> , onde não se conhece o aluno de fato. Porém, o perfil do aluno tem as seguintes características: estudante do primeiro ano, do ensino médio (ano em que aprende gravitação newtoniana), novato em relação ao conteúdo (relatividade geral) e com o mínimo de conhecimento de informática para utilizar o material instrucional proposto (clicar com o <i>mouse</i> e escrever no teclado).
Levantamento de restrições	Uma limitação técnica, em relação à utilização do material, é a obrigatoriedade do uso do computador pelo aluno. Isso pode ser um fator limitador para alguns alunos que não têm o computador, porém pode ser um fator de maior compartilhamento do material, podendo assim atingir um maior público. Outro fator importante para o desenvolvimento da proposta é o tempo que o aluno terá para utilizar o material. Apesar de não estar pensando em uma sala de aula regular, acredito que o material não deve ultrapassar o tempo de uma hora aula, ou seja, uns 50 minutos. Assim facilitará a utilização do material dentro e fora da sala de

	aula.
Encaminhamento a soluções	Para obter uma solução mais ampla para a demanda exigida, o conjunto de ações planejado foi: um vídeo com um trecho de um filme, um texto explicativo com a parte conceitual do conteúdo, uma simulação do fenômeno envolvido e questões conceituais de múltipla escolha. Essa estrutura está baseada no modelo 4C/ID.

3.1.1 Modelo 4C/ID

Ele faz parte da teoria da carga cognitiva e está presente no livro “Teoria da Carga Cognitiva” de John Sweller, Paul Ayres e Slava Kalyuga de 2011. É composto por 4 componentes necessários para a aquisição de um novo conhecimento: (1) tarefas de aprendizagem, (2) informação de apoio, (3) informação processual e (4) prática nas tarefas. No primeiro, os alunos podem trabalhar nas tarefas de aprendizagem em ambientes simulados onde os princípios multimídia relevantes se destinam principalmente a facilitar o processo de aprendizagem indutiva. No segundo, podem estudar a informação de apoio em sistemas hipermídia, nos quais os princípios facilitam o processo de elaboração e abstração consciente. No terceiro, podem consultar as informações processuais onde os princípios facilitam o processo de compilação dos conhecimentos e, no quarto e último, podem participar de atividades práticas nos quais os princípios promovem o processo de reforço psicológico (MERRIËNBOER e KESTER, 2009). Abaixo, trago cada um dos componentes, exemplificando-os e listando seus princípios:

Tarefas de aprendizagem

São experiências significativas baseadas em tarefas da vida real e incluem: explicação, orientação com exemplos, tarefas por completar e outros. Elas exigem que os alunos integrem e coordenem muitos aspectos do desempenho de tarefas da vida real. Nessa primeira parte da aprendizagem o aluno deve receber auxílio na compreensão de alguns conteúdos do tema abordado, como o uso de um exemplo, e aos poucos esse auxílio pode ir diminuindo com o avanço do mesmo na tarefa.

O objetivo principal dessa etapa é construir esquemas iniciais na memória de longo prazo do aluno através da aprendizagem indutiva.

O melhor ambiente para que isso aconteça é aquele que toma a forma de um ambiente real ou simulado.

Os princípios que estão ligados a esse componente são: princípio da sequenciação, princípio da fidelidade, princípio da variabilidade, princípio da individualização, princípio das rodas de apoio e princípio da estratégia de conclusão. Com o intuito de melhor elucidar os princípios listados, trago abaixo o seu significado e alguns exemplos.

Princípio da sequenciação – indica que, na maioria das vezes, é melhor sequenciar tarefas de aprendizagem ou informações das mais simples para as mais complexas e apenas depois apresentá-las em toda a sua complexidade. Mayer e Moreno (2003) trazem que os alunos se saem melhor nos testes quando aprendem os componentes que constituem um sistema e só depois estudam como o sistema completo funciona.

Princípio da fidelidade – levando em consideração que as tarefas de aprendizagem são executadas em algum ambiente e que elas são baseadas em tarefas da vida real, elas não necessariamente precisam ser executadas numa reprodução exata do ambiente real e sim num ambiente próximo ao real e que talvez seja limitado a apenas um aspecto da realidade. Este princípio indica que um ambiente com muita fidelidade pode ter muitos pormenores irrelevantes para a aprendizagem, podendo assim dificultá-la. Segundo Harp e Mayer (1998), os “pormenores de sedução” sem relevância direta pioram o desempenho na aprendizagem de um conteúdo. A sequência melhor empregada é a que expõe o aluno às tarefas de aprendizagem com pouca fidelidade e gradualmente, dependendo do avanço do aluno, ir inserindo-o em ambientes com maior fidelidade.

Princípio da variabilidade – as tarefas de aprendizagem devem ser suficientemente diferentes umas das outras para que assim permitam a construção de esquemas gerais e abstratos para facilitar a aprendizagem do novo conhecimento. O melhor seria que elas variassem como variam no mundo real. A indicação é que não se precisa obter uma grande variabilidade em cada tarefa, mas sim uma variabilidade suficientemente elevada entre as tarefas de uma aula (ou unidade de aprendizagem) completa, com todas as etapas do modelo 4C/ID.

Princípio da individualização – indica que sistemas de aprendizagem adaptativos, que selecionam as tarefas de forma dinâmica, baseados nas características de cada aluno, têm os melhores resultados do que os

sistemas de aprendizagem não adaptativos. Esse princípio leva em consideração as diferenças existentes entre os alunos, avaliando o desempenho em cada tarefa e com isso dando *feedback* a eles.

Princípio das rodas de apoio – mesmo as tarefas de aprendizagem relativamente fáceis, executadas em ambientes com baixa fidelidade, podem conter algumas dificuldades para os alunos com menos experiência com o conteúdo. Uma forma de auxiliar esses alunos nessas tarefas é fornecer exemplos resolvidos por um especialista, durante a execução da mesma, outra maneira é utilizar fichas de trabalho, que por meio de questões vão guiando, passo a passo, no processo de raciocínio. Um ponto possivelmente negativo é o fato de o aluno ter que dividir sua atenção entre a tarefa de aprendizagem e o material de apoio, porém, se a tarefa for difícil, o não auxílio impedirá a aprendizagem. Assim como nos princípios anteriores, a melhor sequência é ir com total auxílio e gradativamente ir tirando esse auxílio, conforme o avanço do aluno na compreensão do conteúdo.

Princípio da estratégia de conclusão – apoio implícito na tarefa, começa com exemplos resolvidos para o estudo dos alunos, continua com tarefas que apresentam soluções parciais para serem completadas e termina com tarefas convencionais em que os mesmos têm que resolvê-las na íntegra. Novatos se saem melhor com exemplos resolvidos do que com tarefas convencionais e o contrário também acontece, os alunos mais experientes se saem melhor com tarefas convencionais nas quais eles têm que resolvê-las na íntegra.

Informação de apoio

São as informações que servem de apoio à aprendizagem e ao desempenho de tarefas de resolução de problemas e raciocínio. O principal objetivo dessa informação é a construção de esquemas, ligando o novo conhecimento aos já armazenados e disponíveis na memória de longo prazo. Essa etapa é costumeiramente chamada de “teoria”, que é um complemento ou reforço das informações previamente apresentadas, permitindo aos alunos a execução de tarefas que antes não estavam aptos a fazer, e contém:

- Modelos de domínio, que são os modelos conceituais (O que é isto?), estruturais (Como está organizado?) e causais (Como funciona?);
- Abordagens sistemáticas que especificam as fases do processo de resolução de problemas e suas regras básicas;

- *Feedback* cognitivo que é dado em função da qualidade do desempenho do aluno na tarefa.

Os princípios que estão ligados a esse componente são: princípio da redundância, princípio da autoexplicação e o princípio do ritmo próprio, explicitados a seguir.

Princípio da redundância – indica que a apresentação de informação redundante tem geralmente efeito negativo na aprendizagem. Os alunos tem que descobrir que a informação repetida é de fato redundante, exige recursos da memória de trabalho que poderiam estar empenhados em informações relevantes do material instrucional para a aprendizagem do conteúdo. Neste princípio, também se deve olhar a experiência do aluno, ao elaborar o material, pois alunos novatos precisam realmente de mais informações do que alunos experientes, informações redundantes para alunos experientes não são, na maioria das vezes, redundantes para novatos. Nesta etapa, embora a relação entre o novo conhecimento e o conhecimento apresentado anteriormente deva ser apontada para os alunos, é importante não repetir as informações dadas na etapa anterior.

Princípio da autoexplicação – a multimídia no ensino tem diversos atributos, dentre eles o de motivação, porém esses meios devem estar associados a um profundo processamento e devem suscitar a autoexplicação das informações, nos alunos. A capacidade de os alunos se autoexplicarem os passos das tarefas é um bom indício de resultados positivos na aprendizagem. Para incentivar a autoexplicação, um pedido direto pode ser feito por meio de um tutor em sala de aula ou com questões que conduzam a isso dentro de qualquer material.

Princípio do ritmo próprio – assinala que dar aos alunos o controle sobre o ritmo da aprendizagem pode facilitar a elaboração e o processamento da informação. Quando a informação é transitória, ou seja, é contínua sem nenhuma possibilidade de interrupção, o aluno pode não ter tempo suficiente para processar as informações do material abordado. A melhor forma de apresentar o material é dando a possibilidade de controle ao aluno. O trabalho de Mayer e Chandler (2001), por exemplo, mostra que os resultados nos testes de transferência foram melhores quando os alunos tiveram o controle sobre uma animação do que quando a animação era apresentada com velocidade normal e sem qualquer controle por parte dos alunos. Com uma possível pausa durante a apresentação de um material, o aluno pode refletir melhor sobre as

novas informações para poder associá-las às estruturas cognitivas já existentes.

Informação processual

São as informações que formam um requisito prévio para a aprendizagem e a realização de tarefas. Traz a forma de como esses aspectos devem ser executados e incluem: instruções de como fazer, regras para executar, informações previamente requeridas, *feedback* corretivo, entre outros. O principal objetivo desta etapa é a automatização de esquemas através da compilação de conhecimentos. Ela deve ser apresentada apenas no momento que o aluno necessitar dela para executar algo da unidade de aprendizagem, e geralmente são formuladas para os alunos novatos com o intuito de que todos possam executar todos os passos necessitados. A transmissão dessa informação pode ser feita pelo professor ou por recursos auxiliares, como cartazes, guias, folhetos ou tutoriais com os comandos utilizados na tarefa pretendida, que devem ser ativadas com a iniciativa do aluno, quando ele sentir necessidade.

Os princípios que estão ligados a esse componente são: princípio da atenção dividida no tempo, princípio da atenção dividida no espaço, princípio da sinalização e princípio da modalidade, a seguir explano mais sobre eles.

Princípio da atenção dividida no tempo – indica que a aprendizagem por meio de fontes de informação complementares é facilitada quando essas fontes não estão separadas temporalmente, elas devem ser apresentadas simultaneamente. Esse princípio nos diz então que a informação processual deve aparecer juntamente ao que ela se refere, para que todos os elementos necessários para o processamento cognitivo da memória de trabalho estejam prontos e disponíveis.

Princípio da atenção dividida no espaço – indica que a aprendizagem através de fontes de informação complementares é facilitada quando essas fontes não estão separadas espacialmente. A integração de textos e imagens pode se dar através da segmentação do texto para que um segmento que se refere a uma parte específica de uma figura possa ser associado a ela ou até incluído na mesma. No caso da informação processual, é melhor que, se a tarefa esteja sendo feita no computador, a informação também esteja, para que se possa evitar a dispersão da

atenção ao aluno, no caso de ter que ler alguma instrução fora da tela do computador.

Princípio da sinalização – assinala que, se a atenção do aluno estiver focada no que é essencial e relevante do material, a aprendizagem pode ser maximizada. Ao sinalizar os pontos mais importantes do material, o aluno não precisa fazer uma maior busca visual pelos aspectos relevantes, utilizando assim seus recursos disponíveis na memória de trabalho para processar as informações selecionadas pelo professor e conseguir criar esquemas na memória de longo prazo de maneira facilitada. Há diversas maneiras de fazer a sinalização no material. Pode-se realçar algo do que se esteja explicando no momento ou utilizar-se de códigos de cor, onde cada componente e sua explicação é de uma cor diferente.

Princípio da modalidade – traz que a apresentação de um material em que se utilizam duas modalidades tem melhores resultados na aprendizagem do que aqueles materiais que utilizam modalidade única. Modalidades aqui se referem aos dois canais de processamento cognitivo, o visual e o auditivo. O efeito positivo deste princípio se deve ao fato de que, quando o material é de modalidade dupla, ele expande a capacidade cognitiva da memória de trabalho do aluno, isso porque ao invés de ele ter que processar a nova informação toda por um único canal de processamento, esse volume é dividido entre os dois canais, não sobrecarregando nenhum deles.

Prática nas tarefas

São os exercícios adicionais centrados em aspectos das tarefas de aprendizagem que requerem um nível de automação elevado após a instrução e contemplam a prática. O objetivo desta etapa é a automatização dos esquemas por meio da consolidação pela prática, sempre após o aluno ter sido apresentado e aprendido todo o contexto em que essa prática está baseada. É feita com repetição de conteúdo, para se obter automação, porém as práticas em si devem ser as mais variadas possíveis com a intenção de criar esquemas mais complexos e amplos. A melhor indicação para se fazer esta etapa é utilizando o computador, pois ele permite a realização de mais exercícios em tempo real, torna os exercícios mais eficazes e apelativos, possibilita apoio processual, teórico e algumas vezes o *feedback* imediato, além de ter uma infinidade de possibilidades de representações para a apresentação do material instrucional.

O princípio ligado a este componente é o princípio da fluência de componentes, do qual trago suas principais características abaixo.

Princípio da fluência de componentes – indica que os exercícios de prática e repetição de um ou mais aspectos da tarefa podem ter efeitos positivos na aprendizagem e na execução integral da tarefa. Com a automatização desses aspectos, há a liberação de capacidade cognitiva para lidar com outras informações também relevantes do material proposto, mas que não estão presentes na prática. Um fator muito importante neste princípio é utilizar a prática de tarefas apenas quando todo o contexto cognitivo já tenha sido apresentado e assimilado.

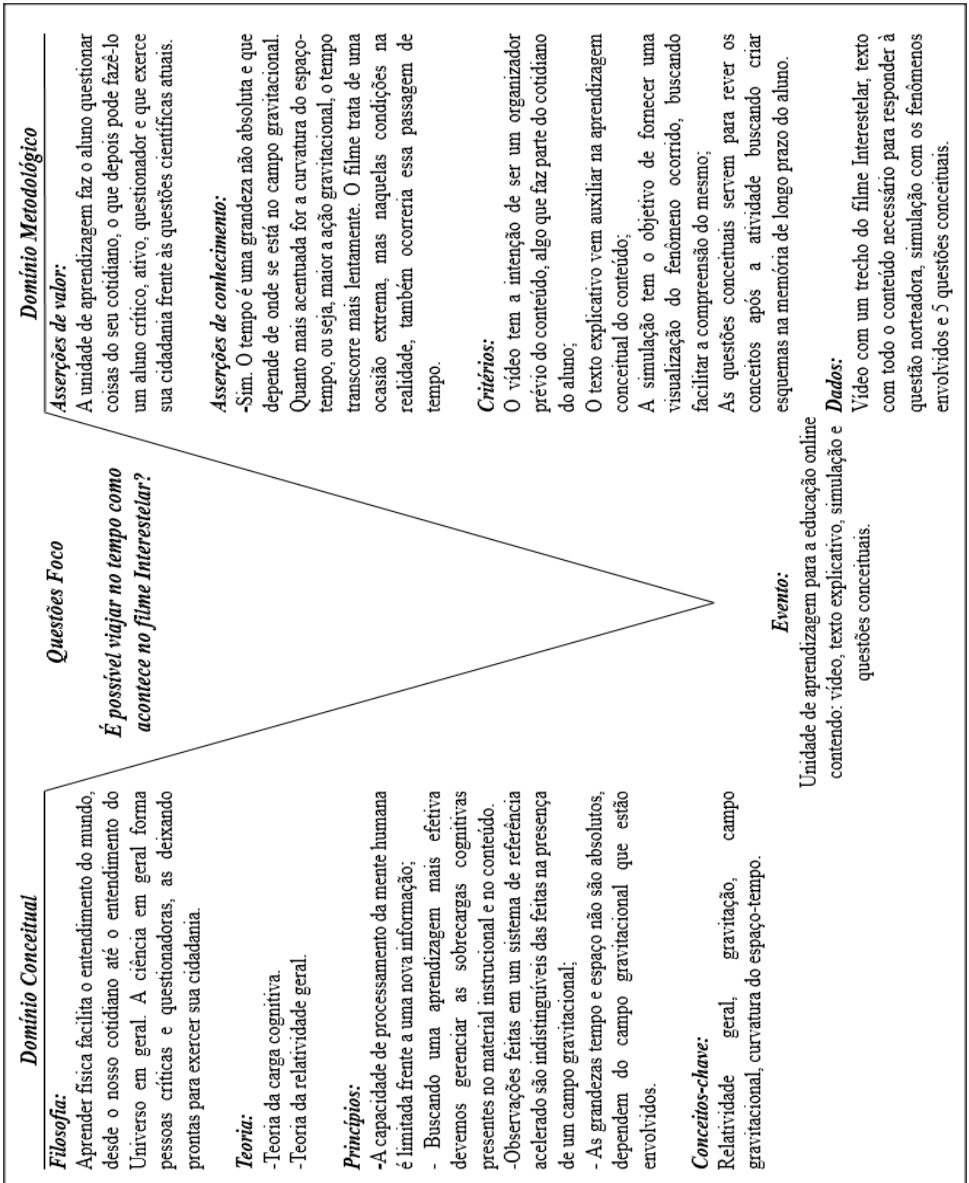
O importante no modelo 4C/ID é a disposição das atividades dentro da unidade de aprendizagem, ele é um organizador do material, para que este tenha um melhor aproveitamento do conteúdo e uma melhor aprendizagem.

3.2 DIAGRAMA V

O diagrama V nos mostra o processo da pesquisa como um todo, onde o evento, a ponta do V, está ligado a conceitos e fatos em ambos os lados. O lado esquerdo é o de domínio conceitual, com sistemas conceituais, princípios e teorias, conhecido como o lado da reflexão. O lado direito é o de domínio metodológico, com registros, dados, asserção de conhecimento e asserção de valor, conhecido como o lado fatural. A ponta do V é o evento, que é o que o pesquisador faz para conseguir os registros e dados mostrados no lado direito. (MOREIRA, 2006)

Com a finalidade de sintetizar as principais decisões e facilitar a compreensão sobre o planejamento da unidade de aprendizagem, construí o diagrama V apresentado na figura 17:

Figura 17 – Diagrama V da unidade de aprendizagem.



Fonte: Elaborada pela autora.

O diagrama é dividido em três partes: a parte conceitual, a parte metodológica e a questão foco com o evento.

No domínio conceitual, estão concentradas a justificativa da unidade de aprendizagem, a teoria e os princípios do conteúdo e da teoria de aprendizagem. Todas essas partes conceituais são anteriores à atividade de aprendizagem.

A parte central do diagrama engloba a questão foco, na qual conhecemos o objetivo da aprendizagem e o evento que nos mostra as etapas da atividade necessárias para atingir o objetivo de aprendizagem.

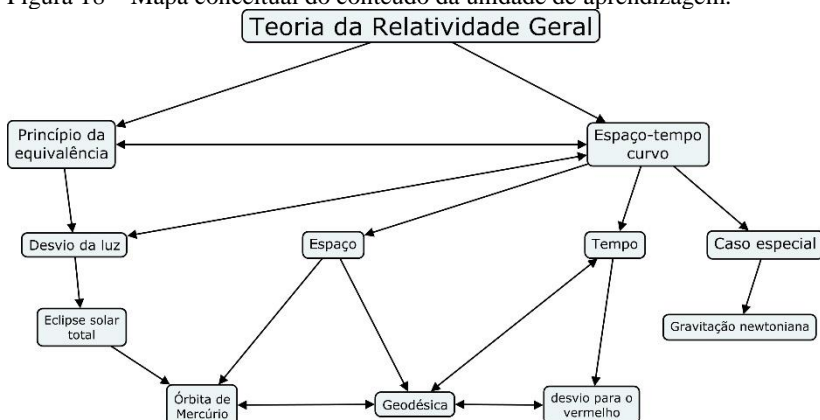
No domínio metodológico, estão concentradas as etapas que acontecem durante a atividade, com as justificativas para a escolha das mesmas. Nessa parte do diagrama, também estão contidas a resposta à questão foco e a asserção de valor da unidade de aprendizagem.

3.3 MAPA CONCEITUAL

Mapas conceituais são diagramas, que mostram as relações entre os conceitos, e surgem a partir da estrutura conceitual de um conteúdo. O objetivo de sua construção é organizar hierarquicamente os conceitos de um corpo de conhecimento. (MOREIRA, 1986)

Para expor os principais conceitos que serão abordados na unidade de aprendizagem sobre a relatividade geral, elaborei o mapa conceitual apresentado na figura 18:

Figura 18 – Mapa conceitual do conteúdo da unidade de aprendizagem.



Fonte: Elaborada pela autora.

Leitura do mapa: A teoria da relatividade geral apresentada na dissertação e também na unidade de aprendizagem tem por objetivo apresentar dois conceitos principais: o princípio da equivalência e o espaço-tempo curvo. Com o princípio da equivalência, conseguimos compreender o desvio da luz em um campo gravitacional, que foi corroborado através do eclipse solar total de 1919. Com o espaço-tempo curvo, compreendemos que o espaço e o tempo são variáveis de acordo com sua localização no campo gravitacional. Essa dependência pode ser explicada e exemplificada através da precessão excessiva do periélio de Mercúrio, das geodésicas e do desvio para o vermelho gravitacional. A gravitação newtoniana é um caso especial da teoria da relatividade geral.

No mapa conceitual acima, estão os conceitos centrais da unidade de aprendizagem sobre relatividade geral necessários para responder à questão foco do diagrama V, que é o objetivo da atividade de aprendizagem. Nota-se a quantidade de conceitos e o alto grau de

interatividade entre seus elementos, mostrando que o conteúdo é de alta complexidade e apresenta uma alta demanda de carga cognitiva intrínseca.

O objetivo é responder à questão foco, trazendo a relatividade geral, utilizando os limites da gravitação newtoniana para mostrar que ela é um caso especial da relatividade geral.

Dentro da gravitação einsteiniana, os principais conceitos para responder à questão foco são: o princípio da equivalência e a curvatura no espaço-tempo. Para isso, trarei os fenômenos de desvio da luz, expansão e retração do espaço e aceleração e desaceleração do tempo junto a seus exemplos, tentando facilitar a compreensão do conteúdo pelos alunos. Para isso, utilizarei a teoria da carga cognitiva, durante toda a elaboração da unidade de aprendizagem, ou seja, nas quatro etapas da atividade que incluem: vídeo, texto explicativo, simulação e questões conceituais.

3.4 MATRIZ DE *DESIGN* INSTRUCIONAL E *STORYBOARD*

A matriz apresentada na figura 19 traz as partes da unidade com seus objetivos de aprendizagem pautados na teoria da carga cognitiva. A seguir são apresentados os papéis, a duração, as ferramentas necessárias e os conteúdos da atividade.

Figura 19 – Matriz de *design* instrucional.

MATRIZ DE <i>DESIGN</i> INSTRUCIONAL DA PROPOSTA DE UNIDADE DE APRENDIZAGEM DE RELATIVIDADE GERAL					
UNIDADES	OBJETIVOS	PAPÉIS	DURAÇÃO	FERRAMENTAS	CONTEÚDOS
1	Identificar os elementos do cotidiano e relacioná-los com o conteúdo a ser aprendido Construir esquemas sobre o conteúdo para usá-los na compreensão da simulação do fenômeno	Aluno assiste ao vídeo	Menos de 10 minutos	Computador com o arquivo ou com internet	Arquivo de vídeo
2	Texto explicativo	Aluno lê o texto com figuras sobre o conteúdo	Em torno de 20 minutos	Computador com o arquivo ou com internet	Arquivo de texto
3	Simulação do fenômeno envolvido	Aluno inicia e interage com a simulação	Em torno de 10 minutos	Computador com o arquivo ou com internet	Arquivo da simulação
4	Questões conceituais	Aluno responde as questões conceituais de múltipla escolha e vê as respostas corretas	Em torno de 10 minutos	Computador com o arquivo ou com internet	Arquivo do questionário com respostas

Fonte: Elaborada pela autora.

A matriz de *design* instrucional facilita a organização do *design* da unidade de aprendizagem. Com ela em mãos a chance de se perder durante a execução da proposta é bem menor, assim como a *storyboard* mostrada na figura 20, abaixo, que mostra a organização geral da unidade de aprendizagem:

Figura 20 – *Storyboard* da proposta de unidade de aprendizagem

<p>1 - Questão Foco; - Tarefas de Aprendizagem: - Vídeo com trechos do filme; - <i>Hiperlinks</i> para outros vídeos e textos da internet;</p>	<p>2 - Informação de apoio: - Textos explicativos da teoria com figuras e exemplos.</p>
<p>3 - Informação processual: - Tutorial para o uso da simulação; - Simulação sobre a mudança do tempo em dependência com a gravidade.</p>	<p>4 - Prática nas tarefas: - Questões conceituais sobre o tema.</p>

Fonte: elaborada pela autora.

4 PROPOSTA DA UNIDADE DE APRENDIZAGEM

Para planejar a unidade de aprendizagem, foi utilizado o modelo 4C/ID para aprendizagem complexa, e a proposta final está disponível na seguinte página da internet: <https://sway.com/4LxIXm-v0eiUjvdM>. Esta estratégia vem se demonstrando efetiva (SWELLER, AYRES e KALYUGA, 2011) em lidar com altos níveis de carga cognitiva intrínseca, que é o caso da relatividade geral para alunos do 1º ano do ensino médio, por ser um conteúdo de alta interatividade de elementos como: princípio da equivalência, curvatura do espaço-tempo, relatividade temporal, entre outros, para alunos novatos. Ela nasceu da necessidade de se pensar estratégias de ensino que levem em conta toda a teoria da carga cognitiva e tem como objetivo facilitar a aprendizagem através da diminuição das cargas cognitivas desnecessárias do material instrucional.

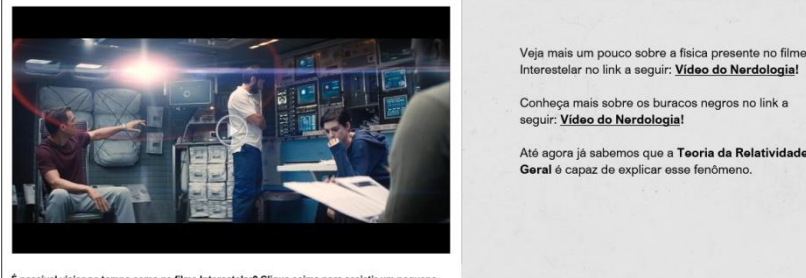
A base do modelo 4C/ID é a metodologia de tarefas em partes, reduzindo a carga cognitiva intrínseca, porque uma parte da tarefa tem menos elementos interagindo do que uma tarefa completa. Ele consiste de 4 componentes em sequência: tarefas de aprendizagem, informação de apoio, informação processual e prática nas tarefas. A partir desse ponto, descreverei a proposta de unidade de aprendizagem, seguindo o modelo 4C/ID, mas sempre considerando toda a teoria da carga cognitiva nas escolhas feitas para que, teoricamente, a proposta final seja de um material instrucional digital o mais próximo de facilitador da aprendizagem possível.

4.1 TAREFAS DE APRENDIZAGEM

O primeiro componente do modelo 4C/ID é o que se refere às tarefas de aprendizagem que buscam apresentar ao estudante experiências significativas, baseadas em atividades da vida real, objetivando a construção de esquemas iniciais. Para esta etapa, escolhi um trecho de vídeo do filme “Interestelar”, com duração de 3:02 minutos, editado por mim; um *link* para um [artigo](#) da Revista Ciência Hoje⁵, tratando da viagem no tempo para os cientistas, e dois *links* para vídeos do canal Nerdologia do *youtube*, que exploram [a física do filme Interestelar](#) e os [buracos negros](#), mostrados na figura 21.

⁵ Título: As viagens no tempo, publicado em 12/03/2012, disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2012/290/as-viagens-no-tempo/?searchterm=As%20viagens%20no%20tempo>

Figura 21 – Foto das tarefas de aprendizagem na proposta de unidade.



Veja mais um pouco sobre a física presente no filme Interstellar no link a seguir: **[Vídeo do Nerdologia!](#)**

Conheça mais sobre os buracos negros no link a seguir: **[Vídeo do Nerdologia!](#)**

Até agora já sabemos que a **Teoria da Relatividade Geral** é capaz de explicar esse fenômeno.

É possível viajar no tempo como no filme Interstellar? Clique acima para assistir um pequeno

Mas para começarmos, você sabe o que é considerado **viagem no tempo para os cientistas**? Nesse **artigo da Revista Ciência Hoje** conseguimos entender melhor esse conceito.

Fonte: Vídeo editado pela autora e postado no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=xvsMBLjt1EM>, parte da proposta de unidade de aprendizagem.

A escolha do vídeo se deu por alguns fatores: o primeiro deles, é o fato de estarmos lidando com alunos novatos em relação ao conteúdo, porque, se iniciássemos com uma simulação (mais comumente utilizado nesta etapa), estaríamos aumentando a carga cognitiva total do material instrucional em relação a esse perfil de aluno. Para esse perfil de aluno, a carga cognitiva intrínseca desse conteúdo já é bem alta. Uma simulação nesta etapa traria também uma alta carga cognitiva estranha, podendo assim exceder a capacidade de processamento da memória de trabalho do aluno.

Sendo assim, um vídeo curto contendo um trecho do filme em que se demonstre a viagem no tempo com algumas explicações mais gerais pode auxiliar o aluno novato a criar, em sua memória de longo prazo, esquemas iniciais para lidar com um conteúdo tão complexo.

Um outro fator importante na decisão pelo vídeo para a primeira etapa é o fato de este filme ter sido lançado recentemente, com uma grande audiência mundial, trazendo algo contemporâneo ao aluno para esta etapa da aprendizagem. Isso ajuda o aluno a perceber a presença da física moderna ao seu redor, e este pode se sentir instigado a questionar-se sobre os fenômenos físicos que estão presentes nos filmes, no noticiário, na internet e em outros meios de comunicação.

O cotidiano do aluno também é muito importante para a construção dos esquemas, segundo a teoria da carga cognitiva, pois o

aluno faz essa construção ancorando as novas informações processadas na memória de trabalho no conhecimento que já está armazenado na memória de longo prazo. Quanto mais natural for essa ancoragem, ou seja, quanto maior for o reconhecimento das novas informações pela memória de longo prazo, mais facilmente os esquemas iniciais da aprendizagem serão construídos. Com o propósito de fornecer o conhecimento necessário, alguns pontos do filme não podiam ficar de fora da edição final, como: a explicação geral da viagem no tempo, fazendo menção à relatividade geral, a viagem de ida e de volta da nave para a estação espacial e o encontro dos viajantes no tempo com o astronauta que estava na estação. Esses trechos têm o intuito de facilitar a ancoragem dos conceitos relevantes, através da criação de esquemas iniciais com as informações contidas no vídeo, o esquema inicial pretendido com essa edição de vídeo relaciona: relatividade geral, viagem no tempo e gravidade. Apesar de bem inicial, ele pode facilitar a compreensão do conteúdo de relatividade geral, necessário para responder à questão foco da unidade de aprendizagem: “é possível viajar no tempo como no filme Interestelar? ”. Em seguida, descreverei o vídeo utilizado, enfatizando quais são os conceitos relevantes para posterior aprendizagem.

Descrição do vídeo

O vídeo começa com a questão foco da unidade de aprendizagem: “É possível viajar no tempo como no filme Interestelar?”, para localizar o aluno frente ao problema que se pretende resolver, no fim da unidade de aprendizagem.

A primeira cena do filme presente no vídeo é a que mostra os personagens discutindo sobre a dificuldade de se chegar em um planeta, candidato a substituir a Terra, devido à sua proximidade de um buraco negro. Em seguida, eles afirmam que buracos negros em geral possuem uma grande força gravitacional e que, devido a isso, os astronautas que fizessem a viagem teriam seus relógios biológicos desacelerados em consequência do forte campo gravitacional.

Eles ainda calcularam que cada hora no planeta equivaleria a 7 anos no relógio terrestre, citando a relatividade como explicação ao fenômeno. Esse trecho é importante, pois traz um primeiro contato do aluno com alguns conceitos como: desaceleração do tempo, força gravitacional nos buracos negros e ainda traz uma estimativa de diferenças entre as passagens do tempo, o que pode levar a um último e relevante conceito, a relatividade do tempo dependente do campo

gravitacional em que ele está inserido. Como o objetivo desta etapa é apresentar os conceitos básicos para que o aluno crie esquemas iniciais, podemos considerar que o objetivo tenha sido alcançado na apresentação superficial desses conceitos.

A segunda cena mostra os astronautas pousando no planeta estudado, e serve para ilustrar a viagem do ponto 1 (estação espacial) ao ponto 2 (planeta Miller) do campo gravitacional. Aqui busca-se criar esquemas referentes à diferença de localização no campo gravitacional.

A terceira cena traz a volta da aeronave para a estação espacial, com ênfase na cena do astronauta que ali ficou já envelhecido. O intuito em trazê-la é exemplificar a viagem no tempo que ocorreu devido à diferença existente entre os campos gravitacionais do ponto 1 e do ponto 2 e mostrar o passar dos anos (com diferentes velocidades) para os astronautas envolvidos. Pretende-se aqui criar esquemas iniciais da relação entre passagem do tempo e localização no campo gravitacional e ainda possibilitar a identificação dos elementos do cotidiano pelo aluno para que os esquemas criados por eles tenham o maior embasamento possível.

O vídeo termina com a questão foco da unidade de aprendizagem novamente, para que nesse instante o aluno reflita sobre ela, mas já faça ligações com o que foi ilustrado no vídeo.

Elementos não produzidos

Ainda nessa primeira etapa da unidade de aprendizagem, incrementei os elementos das tarefas de aprendizagem com trabalhos de outros autores através de *hiperlinks*. São trabalhos feitos por estudiosos da área e têm como objetivo a aprendizagem e a divulgação da ciência.

O primeiro trabalho explora a visão dos cientistas sobre viagem no tempo, publicado na Revista Ciência Hoje em 2012, e está na proposta por se tratar de um texto escrito para o público alvo da unidade de aprendizagem e que auxilia nos objetivos da etapa envolvida. Os principais conceitos neste artigo para a ampliação das relações entre os elementos do esquema construído anteriormente são: a não possibilidade de viagem para o passado e o conceito (explicitado de maneira mais geral) de espaço-tempo curvo.

Os dois outros vídeos trazidos na proposta, por meio de *links*, são do canal Nerdologia, editados por cientistas, e que têm como objetivo a divulgação da ciência para pessoas que não necessariamente estejam envolvidas diretamente com ela. Esses vídeos estão na proposta, pois auxiliam na compreensão da física encontrada no filme *Interestelar*,

além de ampliar o conhecimento sobre o mesmo e trazem algo já “conhecido” indiretamente pelo público alvo, mas que não necessariamente já tenha sido apresentado oficialmente: os buracos negros. Apesar de não abordar esse assunto na minha unidade de aprendizagem, toda essa gama de conceitos fortalece a construção dos esquemas iniciais necessários na memória de longo prazo, pois na explicação dos buracos negros no vídeo, aparecem conceitos importantes para a unidade de aprendizagem proposta como: gravitação, espaço-tempo, campo gravitacional, entre outros.

O modelo 4C/ID fornece princípios multimídias, que devem ser levados em conta no desenvolvimento da estratégia de ensino planejada. Esses princípios são baseados nos efeitos trazidos pela teoria da carga cognitiva.

4.1.1 Princípios multimídia relevantes para o componente tarefas de aprendizagem

Para a primeira etapa da estratégia de ensino, as tarefas de aprendizagem, o modelo traz 6 princípios que são relevantes para o seu desenvolvimento: princípio da sequenciação, princípio da fidelidade, princípio da variabilidade, princípio da individualização, princípio das rodas de apoio e princípio da estratégia de conclusão. Como as ferramentas utilizadas nesta etapa podem variar bastante de acordo com as escolhas do autor do material e do público alvo, nem sempre será necessário a contemplação de todos esses princípios dependendo da necessidade de aprendizagem exposta pelo autor e seus objetivos. No desenvolvimento do vídeo foram estudados e aplicados os princípios da sequenciação, da fidelidade, da variabilidade e da estratégia de conclusão. Os princípios excluídos foram o princípio da individualização, pois o material instrucional construído não é adaptativo, é de um *design* instrucional fechado e o princípio das rodas de apoio, pois a unidade de aprendizagem não contará com o auxílio de nenhum tutor durante a instrução.

O princípio da sequenciação nos traz que é melhor sequenciar tarefas de aprendizagem das informações mais simples para as mais complexas. Esse princípio está diretamente ligado ao efeito de elementos isolados da teoria da carga cognitiva. Esse efeito preocupa-se com a complexidade do conteúdo envolvido na estratégia de aprendizagem e indica que é melhor apresentar primeiro os elementos isolados, diminuindo a carga cognitiva intrínseca, para depois apresentar os elementos inter-relacionados, quando os alunos já tenham criado os

esquemas iniciais necessários e consigam lidar com uma maior complexidade de conteúdo. Levando em conta essa recomendação na hora de editar o vídeo com os trechos do filme, foram escolhidos trechos em que informações de caráter mais geral sobre a relatividade geral e a viagem no tempo eram apresentadas, como mostrado na figura 22, mas também na forma de apresentar os diferentes textos e vídeos na unidade de aprendizagem.

Eles foram apresentados individualmente, de maneiras diferentes, partindo do vídeo elaborado, seguindo com um texto da Revista Ciência Hoje e terminando com os vídeos do canal Nerdologia. Essa sequência se deve ao fato de partirmos do mais simples e terminarmos com o mais complexo. A complexidade aqui é “medida” por meio da quantidade de informação nova que está envolvida e como ela está sendo apresentada. No vídeo elaborado, há apenas informações relevantes sobre o filme, que tratam de maneira mais ampla a relatividade geral e que já pode ter sido vista pelos alunos. No texto da revista, há apenas informação escrita com figuras estáticas, com poucas informações novas para os alunos, como a explicação sobre o espaço-tempo curvo e a dilatação temporal, explicitadas de maneira teórica e com uma linguagem de acordo com o nível do público alvo. Nos vídeos posteriores, há um aumento de complexidade, primeiro por se tratar de vídeos inéditos para os alunos, segundo por trazerem algumas informações novas para os mesmos, como outras explicações da física para outras partes do filme e uma explicação mais científica sobre os buracos negros.

Figura 22 – Foto do vídeo mostrando a passagem do tempo.

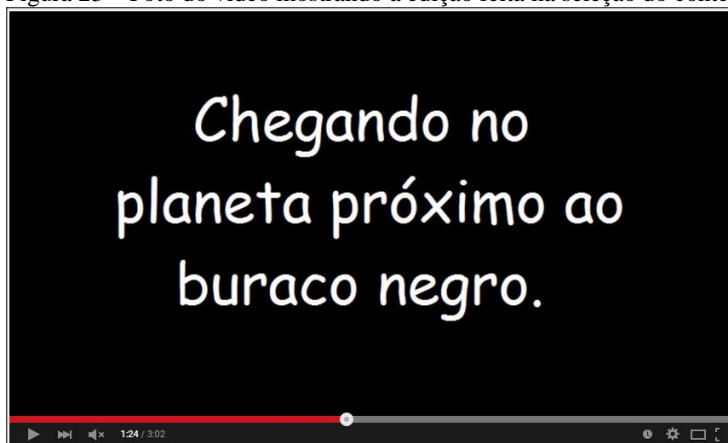


Fonte: Vídeo editado pela autora e postado no endereço:

<https://www.youtube.com/watch?v=xvsMBLj1EM>.

O princípio da fidelidade preocupa-se com o grau de realidade ou realismo envolvido na tarefa de aprendizagem, como também a quantidade de elementos presentes nesta tarefa. O vídeo escolhido é um trecho de um filme recente, porém ele tem um grande grau de fidelidade no que diz respeito à riqueza de detalhes em que os fenômenos são apresentados, o que nem sempre é positivo para um primeiro momento de aprendizagem. Segundo esse princípio, um ambiente com grande fidelidade pode conter pormenores irrelevantes que podem dificultar a aprendizagem de um conteúdo complexo por um aluno novato. A aprendizagem multimídia de Richard Mayer, que é complementar a teoria da carga cognitiva, também se preocupa com a sobrecarga do material instrucional. Para essa teoria, quando os dois canais de processamento (visual e verbal) estão sobrecarregados o aluno não consegue aprender. Como o conteúdo já é bastante complexo, precisamos então reduzir a carga cognitiva estranha presente no material, eliminando os interessantes, mas irrelevantes pormenores que dificultam em vez de facilitar a aprendizagem por novatos. Tentando reduzir esses pormenores, editei o vídeo com pequenos trechos que contêm apenas o conteúdo básico (problema da gravidade, viagem da nave para o planeta e volta da nave para a estação espacial com a passagem do tempo) para que os alunos entendam do que se trata sem se perder num contexto muito complicado e longo. Para isso, foi feita uma seleção da informação relevante para se aprender sobre viagem no tempo, como mostrado na figura 23.

Figura 23 – Foto do vídeo mostrando a edição feita na seleção do conteúdo.



Fonte: Vídeo editado pela autora e postado no endereço:
<https://www.youtube.com/watch?v=xvsMBLtj1EM>.

O princípio da variabilidade nos diz que as tarefas de aprendizagem devem ser as mais variadas possíveis para permitirem a construção de esquemas mais gerais e abstratos. Pensando nisso, na unidade de aprendizagem, além do vídeo, há *links* para outros textos e vídeos de outros autores presentes na internet, como o artigo da Revista Ciência Hoje e os vídeos do canal Nerdologia.

O princípio da estratégia de conclusão está relacionado com o apoio implícito na descrição da tarefa. Pensando no nosso objetivo de aprendizagem, o apoio implícito está presente na tarefa de aprendizagem (vídeo) para facilitar a execução das tarefas posteriores (texto, simulação e questões). Esse princípio está ligado ao efeito do exemplo trabalhado da teoria da carga cognitiva, em que os alunos se saem melhor nos testes posteriores, quando são apresentados logo no início de um exemplo trabalhado completo, principalmente quando lidamos com alunos novatos, o perfil abordado na proposta. Esses exemplos ajudam a criar esquemas na memória de longo prazo para posterior empréstimo à memória de trabalho quando necessário. Como nossa proposta é toda conceitual, trouxemos no vídeo o conceito de relatividade geral, de desaceleração do tempo e de relatividade do tempo para dar uma ideia mais geral e abrangente do problema que seria abordado posteriormente, além do conceito de viagem no tempo (revista), da física em geral do filme Interestelar (Nerdologia) e do conceito de buracos negros (Nerdologia).

O efeito modalidade e a teoria da visualização na definição das características básicas do vídeo

O efeito modalidade da teoria da carga cognitiva está preocupado com a sobrecarga cognitiva, principalmente da carga cognitiva estranha, quando o aluno precisa dividir sua atenção, por exemplo, olhar para uma imagem e para um texto ao mesmo tempo, pois uma informação está diretamente ligada com a outra. Uma solução para isso é o uso de mais de um canal de processamento. No exemplo anterior, as duas informações devem ser processadas pelo canal visual, sobrecarregando-o. Com o propósito de dividir essa sobrecarga o melhor é utilizar, além do canal visual, o canal auditivo, ou seja, ao invés de texto escrito utilizar uma narração. Levando em conta uma possível sobrecarga visual do aluno, na exibição do vídeo, optei por trechos do filme dublado, assim retirei a legenda do vídeo, o que poderia competir com as imagens do filme, compartilhando a sobrecarga cognitiva total

com o canal auditivo, podendo assim facilitar o processamento da memória de trabalho do aluno.

Outro ponto importante, trazido pelo efeito modalidade, é que ele é mais efetivo quando o aluno tem o controle de passagem do material. Isso acontece porque como os dois canais de processamento estão sendo utilizados, o aluno tem que conseguir processar informações visuais e auditivas, o que pode ocasionar a chamada transitoriedade. A informação transitória é aquela que é apresentada ao aluno, mas ele não tem tempo nem capacidade de processar antes que ela desapareça. O trabalho sobre visualização de Hegarty (2004) propõe que o material tenha controle de passagem pelo aluno, assim o aluno tem o tempo necessário para conseguir processar a informação, além de torná-lo mais ativo na aprendizagem. Considerando as recomendações da teoria da carga cognitiva e da visualização, o vídeo permite o controle de passagem, podendo-se pausar, voltar e adiantar o quanto for necessário para o entendimento do mesmo, como mostrado na figura 24.

Os trabalhos de outros autores presentes nesta etapa da unidade de aprendizagem não poderiam ser modificados para contemplar o referencial teórico, por esse motivo eles foram escolhidos a partir do referencial, buscando assim diminuir a sobrecarga de processamento da memória de trabalho. O texto (revista) é acessível e apenas com figuras estáticas e os vídeos (Nerdologia) possibilitam o controle de passagem pelo aluno.

Figura 24 – Foto do vídeo mostrando o controle de passagem dado ao aluno.



Fonte: Vídeo editado pela autora e postado no endereço:

<https://www.youtube.com/watch?v=xvsMBLtj1EM>.

O vídeo foi carregado no site www.youtube.com, no seguinte link: <https://www.youtube.com/watch?v=xvsMBLj1EM>, com o título “Trecho do filme Interestelar – viagem no tempo”.

4.2 INFORMAÇÃO DE APOIO

O segundo componente do modelo 4C/ID é o que se refere à informação de apoio, que busca apresentar ao estudante informações que servem de apoio à aprendizagem e ao desempenho no raciocínio inerente à aprendizagem. É composta pelos modelos de domínio, as abordagens sistemáticas (exemplos) e quando possível, o *feedback* cognitivo. Esta etapa estabelece a conexão entre o que o aluno já sabe (esquemas iniciais) e o que ele precisa saber para atingir o objetivo de aprendizagem. Para esta etapa, escolhi um texto com imagens estáticas, editado por mim, priorizando as recomendações do modelo 4C/ID com seus princípios e também as recomendações da teoria da carga cognitiva e seus efeitos.

Segundo o modelo, a informação de apoio é um complemento ou reforço das informações previamente apresentadas na primeira etapa, nesse caso, o vídeo, sendo assim, procura-se evitar repetições do que já foi abordado, para assim reduzir a redundância da informação. Comumente chamada de teoria para se completar a tarefa. A proposta da unidade de aprendizagem aqui descrita estará focada nas duas primeiras partes da informação de apoio, isso se deve ao fato de que o material proposto é pensado para um perfil de aluno, porém não haverá uma personalização do material durante toda a tarefa, ele é um material fechado, sendo assim impossível haver um *feedback* cognitivo enquanto o aluno ainda está interagindo com a unidade de aprendizagem. Esse *feedback* cognitivo pode ser dado por um professor que utilize o material aqui proposto durante sua aula.

O texto de apoio deve ser pensado como um texto em que os alunos possam estudar para conseguir responder à questão foco: É possível viajar no tempo como no filme Interestelar? Ela faz parte da nossa tarefa principal que é apresentar aos alunos a relatividade geral através da viagem no tempo, mostrando as limitações da gravitação newtoniana.

A primeira parte do texto é composta de uma descrição da teoria, ou seja, dos modelos de domínio, dos conceitos que caracterizam o conteúdo. O objetivo desse texto é a construção de esquemas, ligando os novos conceitos aos conhecimentos já disponíveis na memória de longo prazo. A segunda parte do texto é composta por exemplos, que são as abordagens sistemáticas, necessárias, segundo o modelo 4C/ID, para que os esquemas sejam melhor construídos e para que possam ser mais utilizados posteriormente.

4.2.1 Princípios multimídia relevantes para o componente: informação de apoio

Para a segunda etapa da estratégia de ensino, a informação de apoio, o modelo traz 3 princípios que são relevantes para o seu desenvolvimento: princípio da redundância, princípio da autoexplicação e o princípio do ritmo próprio.

O princípio da redundância nos alerta que a apresentação de informação redundante tem geralmente um efeito negativo na aprendizagem. A maioria das pessoas talvez pudessem pensar exatamente o contrário, de que apresentar uma mesma informação várias vezes pudesse ajudar o aluno a gravar aquela informação. A explicação se deve ao fato de que os alunos precisam descobrir que as duas fontes de informação são redundantes, para uma possível exclusão de uma delas. Esse processo de descoberta exige muito do processamento da memória de trabalho do aluno, o que acaba excedendo a sua capacidade e assim dificultando a aprendizagem. Este princípio está diretamente ligado ao efeito redundância da teoria da carga cognitiva, que define o termo como qualquer informação adicional não necessária para a aprendizagem. Uma maneira de reconhecer uma informação redundante é notar se as duas ou mais informações podem ser entendidas separadamente, se isso ocorrer, a informação é redundante e explica a mesma coisa mais de uma vez, o que pode acabar confundindo e dificultando o processamento da informação pela memória de trabalho do aluno. Duas recomendações importantes do efeito redundância que foram levados em conta na elaboração do texto: esse efeito deve ser levado em conta apenas em materiais com alta complexidade, ou seja, com alta carga cognitiva intrínseca e também, na elaboração de um material multimídia, deve ser evitada a exibição de texto na tela junto a uma narração do mesmo texto, isso dificulta a aprendizagem do material.

A informação de apoio trata-se de informação adicional, uma soma à informação trazida anteriormente. Pensando nisso, deve-se evitar repetir alguma informação anterior para evitar os efeitos negativos do princípio da redundância. A teoria da carga cognitiva também assinala a importância de analisar o nível de experiência do aluno, antes de preparar o material e que esse nível muda a forma de utilizar o efeito de redundância. Algumas informações adicionais que podem auxiliar um aluno novato, são informações redundantes para alunos com muita experiência. Refletindo sobre esse fato, na elaboração do texto, foram evitadas informações adicionais não necessárias para a aprendizagem,

mas foram mantidas algumas informações adicionais que podem facilitar a aprendizagem de alunos novatos, com o perfil assumido nessa proposta.

O princípio da autoexplicação nos traz que quando o material suscita no aprendiz que ele autoexplique a informação apresentada, ele aprende mais e melhor. Numa sala de aula tradicional, o professor pode apresentar o conteúdo incitando a essa prática, em um material pronto e fechado, esse pedido pode ser feito através de questionamentos durante o texto, que podem conduzir o aluno a fazê-lo. Este princípio está diretamente ligado ao efeito da autoexplicação da teoria da carga cognitiva, ele deixa bem claro que este efeito deve ser utilizado apenas em materiais onde o público alvo seja constituído de alunos com alta experiência, então não foram utilizados muitos questionamentos no material aqui proposto, apenas os questionamentos principais da teoria da relatividade geral (figura 25), pois o perfil do aluno é outro, o de alunos novatos.

Figura 25 – Princípio da autoexplicação.



Fonte: elaborada pela autora.


Segundo o princípio do ritmo próprio, deve-se dar o controle de passagem do material para que o aluno consiga seguir seu ritmo próprio, facilitando a elaboração e o processamento da informação apresentada. Esse princípio está ligado ao fato de que uma informação transitória dificulta a aprendizagem de um conteúdo. Para evitar essa transitoriedade, estimula-se a segmentação da informação para que o aluno possa seguir o estudo de acordo com o ritmo do processamento de sua memória de trabalho. Um ponto importante trazido pelo efeito

modalidade da teoria da carga cognitiva é que ele é mais efetivo quando o aluno tem o controle de passagem do material. Isso acontece porque, como o canal visual está sobrecarregado de um texto complicado com imagens, o aluno tem que conseguir processar muitas informações visuais ao mesmo tempo, podendo ocorrer a transitoriedade. A informação transitória é aquela que é apresentada ao aluno, mas ele não tem tempo nem capacidade de processar antes que ela desapareça. Como trazido anteriormente o trabalho de Hegarty (2004) propõe que o material tenha controle de passagem pelo aluno. Pensando nesse princípio, o texto de apoio é segmentado de maneira que cada parte tenha a informação necessária, porém sem sobrecarregar o processamento visual do aluno. Com o controle de passagem sobre os segmentos, o aluno pode voltar ao texto anterior sempre que quiser ou seguir em frente normalmente no seu tempo. Na proposta de unidade de aprendizagem apresentada, o aluno tem controle total de passagem e de conteúdo através de *links* presentes durante toda a informação de apoio, como podemos ver na figura 26 abaixo:

Figura 26 – Controle de passagem e de conteúdo pelo aluno.

curvo. O espaço tempo se curva na presença de massa, quanto maior a quantidade de massa, mais intenso é o campo gravitacional envolvido e maior será a **curvatura do espaço-tempo**. No vídeo a seguir, produzido pelo canal *National Geographic*, podemos visualizar e compreender um pouco melhor o conceito de curvatura do espaço tempo como representação da gravidade.

Apos a publicação da relatividade geral, a lei da gravitação universal de Newton ainda tem um papel importante na explicação da gravidade, pois os cálculos feitos usando a equação de Einstein, recaem nas equações de Newton quando usamos parâmetros terrestres para os valores do campo gravitacional e velocidade dos corpos. Portanto a lei da gravitação universal de Newton não foi invalidada, apenas ampliada, podendo ser considerada um caso especial dentro da teoria da relatividade geral.



Vídeo produzido pelo canal *National Geographic*.


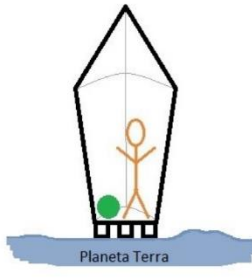
Fonte: elaborada pela autora.

O efeito da divisão de atenção na definição das características básicas do texto de apoio

O efeito da divisão de atenção da teoria da carga cognitiva está preocupado com a sobrecarga cognitiva estranha, obtida quando o aluno precisa dividir sua atenção, por exemplo: olhar para uma figura e para um texto ao mesmo tempo, pois uma informação está diretamente ligada

à outra. Uma solução para isso no texto de apoio da proposta é evitar a quebra de raciocínio em uma página, ou seja, cada página do texto contém todos os elementos necessários para a compreensão daquela parte do conteúdo, não precisando que o aluno fique indo e voltando durante o seu estudo para que consiga compreender o conteúdo apresentado, nem subindo e descendo a página para ficar lendo um texto enquanto precisa visualizar uma figura por exemplo. A figura 27, abaixo, exemplifica como a unidade de aprendizagem foi elaborada:

Figura 27 – Unidade de aprendizagem preocupada com a divisão de atenção.

<p>Um outro ponto importante na teoria da relatividade geral é o princípio da equivalência. Esse princípio é baseado no seguinte postulado: um campo gravitacional homogêneo é completamente equivalente a um quadro de referência uniformemente acelerado.</p> <p>Para melhor entender esse princípio existe um experimento mental, no qual devemos nos imaginar dentro de uma nave espacial totalmente fechada, longe de qualquer campo gravitacional e sofrendo aceleração uniforme. Se soltarmos um objeto dentro dessa nave ele cairá no "chão" da nave com aceleração $g = -a$, porém nenhum experimento de mecânica feito dentro da nave espacial conseguiria nos ajudar a distinguir se a nave está em aceleração no espaço (1) ou em repouso (2) (se movendo em velocidade uniforme) na presença de um campo gravitacional uniforme.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>2</p>  <p>Planeta Terra</p> </div> </div> <p>Experimento mental proposto por Einstein, onde não há experimentos que possamos fazer, dentro da nave espacial, que nos consiga mostrar se ela está em aceleração no espaço ou em repouso na presença de um campo gravitacional como o da Terra.</p>
---	--

Fonte: elaborada pela autora.

4.3 INFORMAÇÃO PROCESSUAL

O terceiro componente do modelo 4C/ID é o que se refere à informação processual, que traz instruções de como fazer (através de demonstrações) e informações previamente requeridas (através de exemplos) e também quando possível *feedback* corretivo. Essa informação deve ser apresentada no momento certo em que os alunos necessitam dela para continuar a executar a tarefa por completo, evitando assim a memorização prévia. As instruções por fazer, ou demonstrações, devem ser formuladas para os alunos com menor nível de experiência para que todos os estudantes possam executar corretamente.

O objetivo principal da informação processual é a automatização de esquemas por meio da compilação de conhecimentos e isso acontece utilizando-se de demonstrações e exemplos, criando assim um banco de dados de conhecimentos de informações de como fazer.

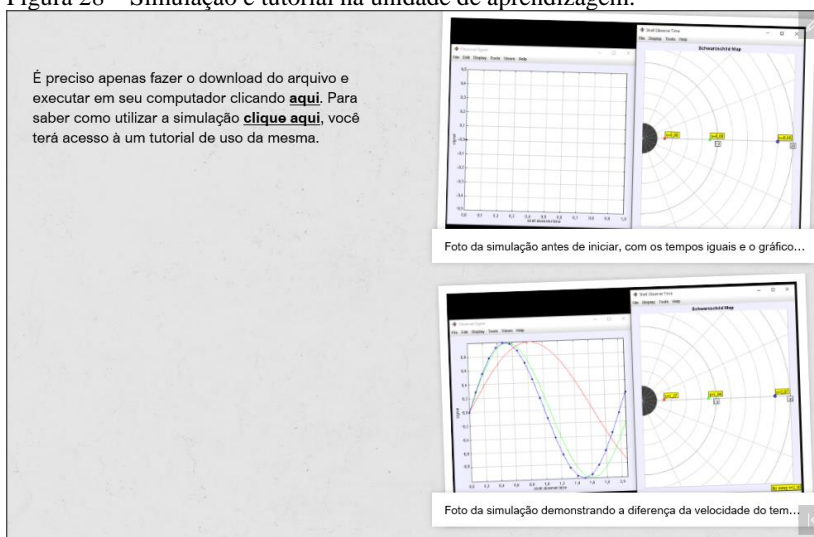
A simulação vem para trazer a demonstração do estudo feito anteriormente com os textos de apoio a cerca da mudança da passagem do tempo em decorrência da localização do relógio no campo gravitacional. Ela foi encontrada em um site de simulações de física de licença livre e demonstrou conseguir explicar o fenômeno desejado.

Com essa simulação, o aluno consegue visualizar três taxas de tempo diferentes: a vermelha, a verde e a azul, que são móveis. Com isso, o usuário pode modificar a localização de todas elas em todo o campo gravitacional visível na tela da simulação. Após seu início, o usuário tem a possibilidade de pausá-la a qualquer momento para comparar os valores de tempo das três taxas envolvidas. Outro ponto importante é a possibilidade de transcorrer a simulação em “passos”, ou seja, ela vai dando pulos compassados, possibilitando uma visualização estática do fenômeno que está ocorrendo. Além do já exposto, simultaneamente há a presença de um gráfico mostrando tudo que ocorre na simulação principal, através da frequência dos relógios posicionados pelo usuário, em comparação com um observador “muito longe” do que ocorre na simulação. Essa possibilidade de adaptação da simulação, por meio da escolha e controle do usuário, torna o recurso útil para a aprendizagem de diversos níveis de experiências dos alunos, tanto em relação ao conteúdo quanto em relação à tecnologia.

A teoria da carga cognitiva enfatiza a dificuldade do aluno novato em lidar com a transitoriedade, ou seja, ele precisa de mais tempo para processar o conhecimento novo que está interagindo. Já um aluno mais experiente consegue mais facilmente fazer esse

processamento, então uma visualização muito estática torna-se redundante para ele. Pensando nisso, a melhor opção é dar o controle da passagem da visualização para o aluno, assim ele vai avançando no material de acordo com seu tempo de processamento mental, algo contemplado na simulação escolhida. Na figura 28, a seguir, vemos a simulação na unidade de aprendizagem e, na figura 29, mais adiante temos a visualização da simulação em funcionamento.

Figura 28 – Simulação e tutorial na unidade de aprendizagem.



Fonte: elaborada pela autora.

Além da simulação, que é uma demonstração do fenômeno estudado, há no material um tutorial (anexo), explicando seus itens e comandos com a finalidade de atender aqueles estudantes que possuem uma menor intimidade com a tecnologia e com a relatividade geral. Ela foi inserida no material por meio de um *link* para *download* de um *site* de armazenamento em nuvem, isso aconteceu porque o *site* de hospedagem do material não inseria o aplicativo *java* diretamente, nem o arquivo para *download*, mas acredito que, ainda assim, ele atende as expectativas para o material da unidade de aprendizagem.

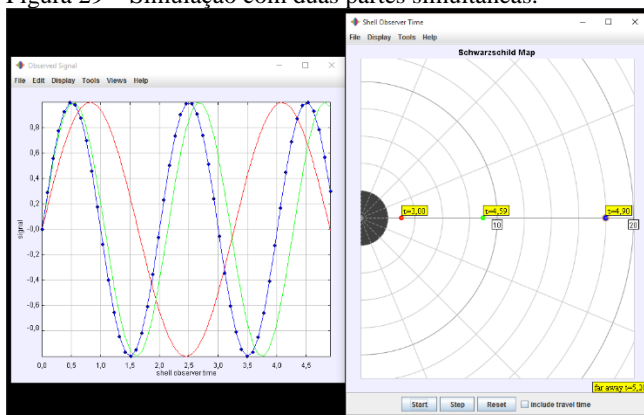
4.3.1 Princípios multimídia relevantes para o componente: informação processual

Para melhor aproveitar esse recurso, o modelo 4C/ID indica 4 princípios multimídias, o objetivo deles é tornar o material da informação processual o mais facilitador de aprendizagem possível. Eles foram essenciais para a escolha da simulação dentre as existentes na internet, pois ela tinha que atender, além dos conceitos físicos da relatividade geral, também os princípios multimídias do modelo 4C/ID. Os princípios multimídias são: princípio da atenção dividida no tempo, princípio da atenção dividida no espaço, princípio da sinalização e o princípio da modalidade.

O princípio da atenção dividida no tempo indica que a aprendizagem de fontes de informação, que se referem mutuamente, é facilitada, se essas fontes não estiverem temporalmente separadas, ou seja, se forem apresentadas simultaneamente. Se esta informação for apresentada no momento certo da aprendizagem, quando os elementos necessários para a compreender já tenham sido adquiridos, a simultaneidade será bem entendida e processada pela memória de trabalho pois o conhecimento necessário estará disponível.

A simulação escolhida é feita de duas partes, a parte interativa em si e o gráfico que ela gera. Seguindo esse princípio, um ponto positivo dela é o fato dessas duas partes, que são complementares, serem apresentadas simultaneamente. Para que os alunos tenham um melhor aproveitamento dela, principalmente os novatos, eu criei e incluí o tutorial antes da simulação, com o intuito de fornecer o conhecimento necessário para a compreensão da mesma. Na figura 29, abaixo, pode-se ver a simulação sendo executada, com as duas partes, simultaneamente.

Figura 29 – Simulação com duas partes simultâneas.



Fonte: site open source physics.

O princípio da atenção dividida no espaço refere-se à melhoria no desempenho dos alunos quando as fontes de informação que se referem mutuamente são fisicamente integradas. Então, além de serem rodadas ao mesmo tempo, devem estar próximas espacialmente para que o aluno não precise desviar sua atenção entre as fontes de informação.

Ambos princípios, da atenção dividida no tempo e atenção dividida no espaço, são pautados no efeito da divisão de atenção da teoria da carga cognitiva, que se preocupa com o desvio da atenção do aluno, ocorrida quando ele precisa dividi-la entre duas fontes de informação, que são ininteligíveis isoladamente, mas que estão separadas temporalmente ou espacialmente, gerando carga cognitiva extrínseca e dificultando o processamento da memória de trabalho.

O princípio da sinalização indica que a aprendizagem pode melhorar, se a atenção do aluno estiver centrada nos aspectos essenciais da tarefa de aprendizagem, e para isso é preciso às vezes assinalar esses aspectos, principalmente quando o material for complexo. Uma forma de assinalar o material para destacar algumas partes é utilizando o código de cor, com instruções prévias de como esse código funciona. Na simulação apresentada, cada contagem de tempo é apresentada com uma cor diferenciada para que, quando o aluno for ler o gráfico, ele identifique essas mesmas cores. Na figura acima também conseguimos visualizar o uso desse princípio.

Esse princípio também é explicado pela aprendizagem multimídia, que tenta minimizar os problemas de aprendizagem quando há um material muito complexo e com elementos não essenciais. Para essa teoria, a sinalização proporciona pistas ao aluno sobre como selecionar e organizar o material para o processamento da memória de trabalho.

O último princípio trazido pelo modelo 4C/ID é o princípio da modalidade, que propõe o uso da técnica de modalidade dupla, que utiliza textos falados para explicar diagramas, animações e outros para obter melhores resultados em termos de aprendizagem do que o uso da modalidade única. Para isso, é indicado o professor ou algum agente pedagógico para fazer essa explicação durante a apresentação.

Na teoria da carga cognitiva, o efeito modalidade traz essa característica do uso de mais de um canal de processamento (canal auditivo e visual) como algo positivo em comparação com apenas um canal. Porém, deve-se atentar à expertise do aluno e à complexidade do material envolvido, por exemplo, com algo muito complexo, o áudio acaba ficando muito complexo também, não dando oportunidade para o aluno processar o áudio e dificultando a aprendizagem. Então, apesar da

simulação escolhida não ter o uso do canal auditivo, ainda assim consegue atender às expectativas, pois o público alvo são alunos novatos com a relatividade geral e que podem se confundir ou encontrar dificuldade com o uso da modalidade dupla.

4.4 PRÁTICA NAS TAREFAS

O quarto componente presente no modelo 4C/ID é o da prática nas tarefas, que é composto por exercícios adicionais centrados em aspectos da rotina das tarefas de aprendizagem que requerem automaticidade elevada após a instrução. Automaticidade essa que é buscada na teoria da carga cognitiva, pois demonstra que o aluno criou esquemas suficientes para conseguir resolver problemas de diversos tipos, referentes ao conteúdo estudo. Esse quarto componente só é necessário se, durante a tarefa, não houve repetição suficiente dos conceitos envolvidos para atingir um nível mais elevado de automaticidade, como ocorreu na elaboração dessa unidade de aprendizagem. Ela foi elaborada de maneira que o conteúdo fosse o menos repetitivo possível, buscando assim evitar o efeito da redundância e fosse apresentado de maneira progressiva, pois nosso público alvo é de alunos “novatos” nesse conteúdo de física, alunos que precisam de tempo para processar o novo conhecimento que estão adquirindo.

Essa etapa deve ser feita sempre após uma tarefa de aprendizagem integral e significativa, por esse motivo ela se encontra no final da unidade de aprendizagem proposta. Como nossa apresentação é fortemente conceitual, a nossa prática é feita com questões conceituais sobre o conteúdo apresentado. O *feedback* cognitivo durante a prática em si não ocorrerá, devido ao fato de poder não haver um professor presencial com o aluno, durante seus estudos, porém há no final das questões um arquivo contendo as respostas das perguntas comentadas para o aluno comparar suas respostas e assim poder construir esquemas mais complexos e concretos na sua memória de longo prazo.

Uma outra recomendação do modelo 4C/ID, para a última etapa da tarefa de aprendizagem, é a do uso de computadores, pois tornam os exercícios eficazes, pois auxiliam no uso do apoio processual, diminuem o tempo simulado, permitindo a realização de várias práticas em um menor tempo, possibilitam o *feedback* imediato, quando possível, dos erros ocorridos durante a prática e permitem a utilização de diversos recursos, principalmente quando a prática nas tarefas envolvem a simulação da realidade de algum procedimento.

4.4.1 Princípio multimídia relevante para o componente: prática nas tarefas

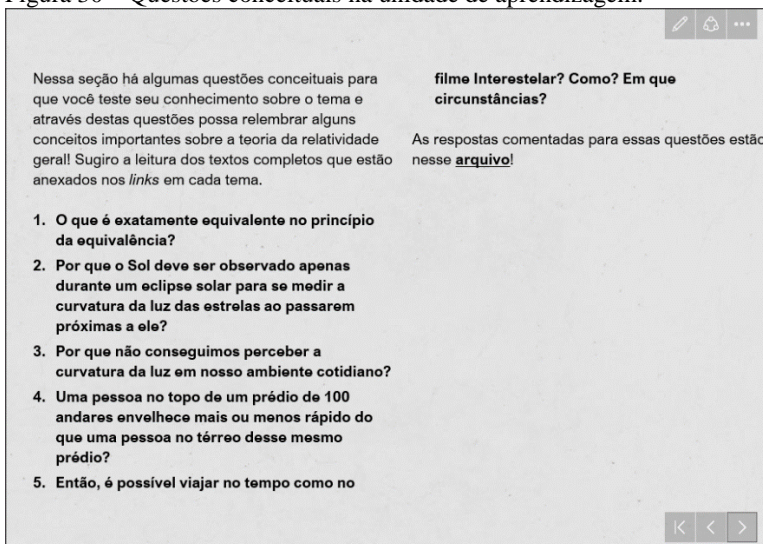
O princípio da fluência dos componentes é o único princípio trazido pelo modelo 4C/ID que devemos levar em conta, quando elaboramos a prática nas tarefas, além disso, ele nos diz que devemos trazer à tona a prática apenas após determinados aspectos de rotina terem sido apresentados aos alunos, no contexto das tarefas de aprendizagem no seu todo. E ainda esse princípio vem para nos lembrar da importância da prática como uma forma de automatizarmos os aspectos de rotina para que assim tenhamos mais recursos livres para o processamento do novo conhecimento.

As questões conceituais presentes nesta última etapa foram elaboradas a partir de livros conceituais sobre o tema e pensadas principalmente para alunos que já estudaram todo o material elaborado anteriormente às questões. Abaixo estão as questões conceituais elaboradas:

- 1) O que é exatamente equivalente no princípio da equivalência?**
- 2) Por que o Sol deve ser observado apenas durante um eclipse solar total para se medir a curvatura da luz das estrelas ao passarem próximas a ele?**
- 3) Por que não conseguimos perceber a curvatura da luz em nosso ambiente cotidiano?**
- 4) Uma pessoa no topo de um prédio de 100 andares envelhece mais ou menos rápido do que uma pessoa no térreo desse mesmo prédio?**
- 5) Então, é possível viajar no tempo como no filme Interestelar? Como? Em que circunstâncias?**

As respostas comentadas dessas perguntas estão presentes em um arquivo logo abaixo delas, na unidade de aprendizagem, como mostrado na figura 30, abaixo, e no anexo dessa dissertação:

Figura 30 – Questões conceituais na unidade de aprendizagem.



Nessa seção há algumas questões conceituais para que você teste seu conhecimento sobre o tema e através destas questões possa relembrar alguns conceitos importantes sobre a teoria da relatividade geral! Sugiro a leitura dos textos completos que estão anexados nos *links* em cada tema.

filme Interestelar? Como? Em que circunstâncias?

As respostas comentadas para essas questões estão nesse [arquivo!](#)

1. O que é exatamente equivalente no princípio da equivalência?
2. Por que o Sol deve ser observado apenas durante um eclipse solar para se medir a curvatura da luz das estrelas ao passarem próximas a ele?
3. Por que não conseguimos perceber a curvatura da luz em nosso ambiente cotidiano?
4. Uma pessoa no topo de um prédio de 100 andares envelhece mais ou menos rápido do que uma pessoa no térreo desse mesmo prédio?
5. Então, é possível viajar no tempo como no

Fonte: elaborada pela autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pouco expressiva presença de conteúdos relacionados à física moderna e contemporânea no ensino médio foi um dos motivadores dessa dissertação, mesmo sendo de conhecimento de muitos educadores, a importância dada a essa inserção por pesquisadores da área de ensino de física e pelo governo federal por meio dos PCN's. Depois do levantamento bibliográfico feito, contabilizam-se algumas explicações para que isso ocorra, dentre elas a falta de material instrucional sobre o tema para a utilização de alunos e professores do ensino médio. Com o intuito de ajudar a preencher essa lacuna, decidi propor uma unidade de aprendizagem sobre relatividade geral para o ensino médio por meio de uma mídia digital.

Com o andamento da pesquisa, senti a necessidade de ir além da proposta e elaborar “fisicamente” a unidade de aprendizagem, o que me auxiliou a entender ainda mais sobre o desenvolvimento de materiais instrucionais digitais. No desfecho, consegui trazer nessa dissertação uma proposta toda ancorada da teoria da carga cognitiva, seu modelo 4C/ID, seus efeitos e princípios e também um exemplo de unidade de aprendizagem já armazenada em mídia digital, em um endereço eletrônico ativo.

Apesar do cumprimento do trabalho, em relação ao problema de pesquisa e objetivos investigados, ao longo desses dois anos, acredito que ainda se pode fazer muito mais no tocante à elaboração de materiais instrucionais sobre física moderna e contemporânea, principalmente de relatividade geral que é um dos temas menos tratados nos trabalhos deste tipo. Trabalhos como esse podem servir de exemplo e incentivo para outros autores também pesquisarem e talvez elaborarem materiais instrucionais nesta temática, ampliando assim as possibilidades desses materiais chegarem ao ensino médio efetivamente.

Com o respaldo da teoria da carga cognitiva, pude elaborar um material instrucional otimizado, que visa atender um público alvo com características específicas de aprendizagem. O referencial teórico me deu segurança na elaboração conceitual e o referencial metodológico do *design* instrucional me deu as ferramentas necessárias para tornar tudo isso viável. Todavia não se pode afirmar categoricamente que o material proposto é facilitador de aprendizagem, apenas que ele cumpre as recomendações trazidas pelo aporte teórico, para se aproximar o máximo possível deste objetivo.

O tema da relatividade geral pode ser introduzido em outras etapas do ensino médio, além do primeiro ano. No primeiro ano, a

proposta é inserir logo após a lei da gravitação universal de Newton, utilizando os conceitos clássicos para fazer as conexões com os conceitos da física moderna. No segundo ano, também poderia ser inserida a relatividade geral a partir da ondulatória, utilizando as ondas gravitacionais, por exemplo, e, no terceiro ano do ensino médio, a física de Einstein poderia ser inserida após a introdução do conceito de campo, apresentando o campo gravitacional. Todas as ideias acima nos mostram que podemos abordar o tema relatividade geral por diversas temáticas e ainda assim trazer algo novo ao estudante.

Um ponto fraco e que pode ser melhorado em posteriores pesquisas e desenvolvimentos de materiais é o armazenamento do trabalho na mídia digital. Digo isso, pois enfrentei dificuldades na distribuição dos elementos na tela, por exemplo, no repositório online que utilizei. Apesar das muitas possibilidades permitidas por ele, da quantidade de recursos que pude utilizar, ele ainda é um pouco limitado em possibilidades na distribuição dos elementos, pois não dá total autonomia para o desenvolvedor. Com a finalidade de suprir essa dificuldade, sugiro a construção de um *site* complementar pelo autor do material, assim TODAS as recomendações com relação ao visual trazidas pelo referencial teórico poderão ser colocadas em prática.

Outra sugestão, que tem um caráter muito importante nessa pesquisa, é a aplicação e avaliação do material proposto. No tempo de mestrado, essa etapa não pôde ser concluída, mesmo sabendo da importância da mesma. A partir do material proposto já se pode planejar a aplicação e a avaliação do mesmo. Sinto essa necessidade e tenho uma enorme vontade de realizar essa parte final da pesquisa em um outro momento da minha formação acadêmica. Em uma posterior avaliação, também poderá ser conduzida uma avaliação detalhada para a unidade de aprendizagem.

A concepção de propor a utilização de um referencial teórico recente com um tema ainda pouco explorado no ensino médio é de oferecer uma alternativa aos trabalhos que tiveram como objetivo também a inserção da relatividade geral no ensino médio. Com o intuito de ampliar o horizonte metodológico e teórico possível para pesquisadores e também para professores que buscam materiais instrucionais para suas aulas. Se não diretamente, por meio da unidade de aprendizagem, indiretamente através dos referenciais teóricos e metodológicos aqui utilizados.

Durante a finalização da dissertação e poucos dias antes da defesa, outra previsão da relatividade geral foi confirmada. As ondas gravitacionais, (CATTANI, 2010) foram detectadas no dia 14 de

setembro, no experimento *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (LIGO) (LIGO, 2016), um experimento americano. A fonte destes sinais foi a colisão de dois buracos negro. A emergência dessa notícia só reitera a relevância da inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio brasileiro. Mostra também que a ciência é resultante de um processo dinâmico e inacabado de construção de conhecimentos e que deve ser continuamente discutida com os cidadãos, inclusive estudantes em fase de formação acadêmica.

A inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio tem outro incentivo com a proposição de uma base nacional comum curricular. No material preliminar, disponibilizado pelo Ministério da Educação (BNCC, 2016), percebe-se uma renovação do ensino médio brasileiro e também uma reformulação da forma de apresentar a física nessa fase de ensino. Para isso a proposta divide o conhecimento da física em unidades que especificam os objetivos pretendidos no ensino da física. Cada unidade é subdividida em conhecimento conceitual, contextualização histórica, social e cultural, processos e práticas de investigação e linguagens. Nas unidades pertencentes ao primeiro ano podemos destacar a atenção despendida ao modelo de atração gravitacional que explica as interações astronômicas. Porém a proposta aqui apresentada também poderia ser inserida no segundo ano do ensino médio, que de acordo com a BNCC, traz as ideias e concepções de campo. Já no terceiro ano do ensino médio podemos inserir a proposta no que tange a física moderna e contemporânea, contemplada nesta etapa. Fica clara a preocupação em fornecer condições de o aluno conhecer e compreender os fenômenos físicos atuais e que são notícia, mundialmente, além de possibilitar um entendimento das tecnologias necessárias para seu desenvolvimento profissional futuro. Toda a proposta de física é desenvolvida de maneira mais contextualizada histórica e socialmente, buscando um ensino mais integrado e contínuo da disciplina envolvida.

6 REFERÊNCIAS

BATISTA, M. L. F. da S.; MENEZES, M. dos S. *O design gráfico e o design instrucional na educação à distância*. Design, Arte e Tecnologia, São Paulo – 2008.

BNCC. *Base Nacional Comum Curricular*. Disponível em: < basenacionalcomum.mec.gov.br/#/site/inicio >. Acesso em 05 de março de 2016.

BODEMER, D. *Encouraging the Active Integration of Information During Learning with Multiple and Interactive Representations*. Knowledge Media Research Center, Germany.

BODEMER, D. *Enhancing Simulation-Based Learning through Active External Integration of Representations*. Knowledge Media Research Center, Germany.

BOULOS, P. J. *Newton's path to universal gravitation: the role of the pendulum*. Science Education, n. 15, pág. 577 – 595. Editora Springer, 2006.

BRASIL. *Bases Legais - Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio*. Ministério da Educação, Brasília, 1999.

CASTELLARI, O. C. *Discussão dos conceitos de massa inercial e massa gravitacional*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.3, n.3, 2001.

CATTANI, M. *Gravitational Waves I: Basic Emission Equations*. Instituto de Física – USP, 2010.

[CHANDLER, P.; SWELLER, J. *Cognitive load theory and the format of instruction*. Cognition and instruction, v. 8, n. 4, p. 293-332, 1991.](#)

CHEUNG, J. J. H. *Preparing for Simulation-Based Education and Training Through Web-Based Learning: The role of Observational Practice and Educational Networking*. 2014. 155 f. Tese (Mestrado em Ciência) – Instituto de Ciência Médica. Universidade de Toronto, Toronto, Canadá.

COOK, D. A.; BRYDGES, R.; HAMSTRA, S. J.; ZENDEJAS, B.; SZOSTEK, J. H.; WANG, A. T.; ERWIN, P. J.; HATALA, R. Comparative Effectiveness of Technology Enhanced Simulation versus other Instructional Methods. *Simulation in Healthcare*, Estados Unidos da América, volume 7, nº 5, outubro de 2012.

COOPER, G., TINDALL-FORD, S., CHANDLER, P., & SWELLER, J. *Learning by imagining*. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 68–82, 2001.

DANILENKO, E. P. *The relationship of scaffolding on cognitive load in an online self-regulated learning environment*. 2010. 120 f. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – Faculdade do Ensino Pós-Graduado. Universidade de Minnesota, Minnesota, Estados Unidos da América.

EISENSTAEDT, J.; FABRIS, J. C. *Amoroso Costa e o primeiro livro brasileiro sobre a relatividade geral*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol.26, n.2, p. 185-192, 2004.

FABRIS, J. C.; VELTEN, H. E. S. *Cosmologia neo-newtoniana: um passo intermediário em direção à relatividade geral*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol.34, n.4, 2012.

FALCIANO, F. T. *Geometria, espaço-tempo e gravitação: conexão entre conceitos da relatividade geral*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol.31, n.4, 2009.

FARR, B.; SCHELBERT, G.; TROUILLE, L. *Gravitational-wave Science in the high school classroom*. *American Journal of Physics*, vol. 80, n.10, 2012.

FERREIRA, A. R. *Compreensões de professores e licenciandos com relação à abordagem da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Física. Universidade Católica de Brasília, Brasil.

FILATRO, A. *Design instrucional contextualizado, educação e tecnologia*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2003.

FILATRO, A. *Design Instrucional na prática*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

FREIRE JUNIOR, O.; MATOS FILHO, M.; DO VALLE, A. L. *Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional*. Física na Escola, v.5, n.1, 2004.

FRIEDRICH, C. *Learning with Hipermedia: The Impact of Content Design and Learner Characteristics on Navigation and the Knowledge Acquisition Process*. 2010. 261 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculdade de Tecnologia. Universidade de Carolo, Carolo, Alemanha.

GAMOV, G. *Gravity*. Editora Anchor books, Doubleday & Company – Nova York, 1962.

GROCH, T. M.; BEZERRA, A. G. Jr. *O ensino de relatividade restrita e geral nos livros didáticos do PNLEM 2009*. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, 2009.

GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J. C. *Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

[HARP, S. E.; MAYER, R. E. How seductive details do their damage: a theory of cognitive interest in Science learning. Journal of educational psychology, vol. 90, n. 3, 1998.](#)

HEGARTY, M. Dynamic visualizations and learning: getting to the difficult questions. Revista Learning and Instruction, v. 14, p. 343-351. Elsevier, 2004.

JOHNSON-LAIRD, P. N. “Imagery, Visualization, and Thinking.” In *Perception and Cognition at Century’s End*. Ed. J Hochberg, 441–67. San Diego: Academic Press, 1998.

LACERDA, A. L. *Contribuições do Design Instrucional ao ensino presencial de Física apoiado por Ambiente Virtual de Aprendizagem*. 2013. 246 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

[LIGO. Gravitational waves detected 100 years after einstein’s](#)

[Prediction. LIGO Opens New Window on the Universe with Observation of Gravitational Waves from Colliding Black Holes. Washington, 11 de fevereiro de 2016.](#)

MARTINS, R. A. *Aplicação da Realidade Aumentada à educação e treino na Engenharia Civil, Arquitectura e Construção*. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

[MAYER, R. E.; CHANDLER, R. *When learning is just a click away: does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages?* Journal of educational psychology, vol. 93, n. 2, 2001.](#)

[MAYER, R. E.; HEISER, J.; LONN, S. *Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding.* Journal of educational psychology, v. 93, n. 1, p. 187, 2001.](#)

[MAYER, R. E.; MORENO, R. *Nine ways to reduce cognitive load in multimídia learning.* Educational psychologist, 38\(1\), 43-52, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. - 2003.](#)

MEDEIROS, A. *Einstein, a física dos brinquedos e o princípio da equivalência*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, vol.22, n.3, p.299-315, 2005.

MERRIËNBOER, J. J. G. V.; KESTER, L. *Modelo de design educacional de quatro componentes: princípios multimédia em ambientes de aprendizagem complexa*. G. L. Miranda (Org). Ensino online e aprendizagem multimédia, pág.289, Relógio d'Água Editores, Lisboa, 2009.

MILLER, G. A. *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*. Psychological Review, 63, 81–97, 1956.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; FILHO, J. B. B. *Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos*. Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação

de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

[MOREIRA, M. A. *Mapas conceituais e diagramas V*. Porto Alegre: Ed. do Autor, 2006.](#)

MOREIRA, M. A.; ROSA, P. *Mapas conceituais*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 3, n. 1, p. 17-25, 1986.

NAZIR, M. I. J.; RIZVI, A. H.; PUJERI, R. V. Skill development in Multimedia Based Learning Environment in Higher Education na Operational Model. *International Journal of Information and Communication Technology Research*, Índia, volume 2, nº 11, Novembro de 2012.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S.; *Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores*. Revista brasileira de ensino de física, vol.29, n.3, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. *Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.18, n.2: p. 135-151, 2011.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. *Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”*. Investigações em Ensino de Ciências, vol.5, p. 23-48, 2000.

PACE, E. *Specific Design Strategies to Improve Corporate E-Learning for All Learning Types*. 2014. 101 f. Tese (Mestrado em Educação) – Escola de Educação. Westminster College, Utah, Estados Unidos da América.

PAIS, A. *‘Subtle is the lord...’ – the Science and the life of Albert Einstein*. Oxford University Press – Estados Unidos da América, 2005.

PAIVIO, A. *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

PEREIRA, D. R. de O.; AGUIAR, O. *Ensino de física no nível médio: Tópicos de física moderna e experimentação*. Revista ponto de vista, v. 3, 2002.

PETERSON, L., & PETERSON, M. J. *Short-term retention of individual verbal items*. Journal of Experimental Psychology, 58, 193–198, 1959.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. *É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio?* Cad.Cat.Ens.Fís., v. 16, n. 1: p. 7-34, abr. 1999.

PITTS, M.; VENVILLE, G.; BLAIR, D.; ZADNIK, M. *An exploratory study to investigate the impact of an enrichment program on aspects of einsteinian physics on year 6 students*. Research in Science Education, vol.44, n.33, 2014.

PORTO, C. M.; PORTO, M.B.D.S.M. *Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1603 (2008)

PREVEDELLO, C. F. *Design de interação e motivação nos projetos de interface para Objetos de Aprendizagem para EAD*. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

PYLYSHYN, Z. W. *Seeing and Visualizing: It's Not What You Think*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2003.

RIVELLES, V. O. *Introdução à relatividade geral – Aula 2*. XXI Jornada de Física Teórica, 2006.

RODRIGUES, C. D. O. *A inserção da teoria da relatividade no ensino médio*. Dissertação de mestrado em Educação - Linha de investigação: Educação e Ciência. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – Santa Catarina, 2001.

ROMISZOWSKI, A.; ROMISZOWSKI, L. *Retrospectiva e Perspectivas do Design Instrucional e Educação a Distância: análise da literatura*. Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância, vol.3, n.1, 2005.

SADOSKI, M.; PAIVIO, A. *Imagery and Text: A Dual Coding Theory of Reading and Writing*. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2001.

SANTOS, L.; TAROUÇO, L. *A importância do estudo da teoria da carga cognitiva em uma educação tecnológica*. CINTED – UFRGS – Novas Tecnologias na Educação, vol. 5, nº 1, julho de 2007.

SANTOS, Núbia S. R. S. *M – ROAMIN: um modelo para representação de objetos de aprendizagem multimodais interativos*. 2013. 206 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias na Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

SELWYN, N. *Distrusting educational technology: critical questions for changing times*. Editora Routledge, Nova York, 2014.

SOUZA, A. P. G. de; LAWALL, I. T. *Inovação curricular de Física Moderna: motivações, dificuldades e mudanças na prática docente*. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - I Congresso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias, 2011, Campinas. Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - I Congresso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias, 2011.

STACHEL, J. *Einstein's miraculous year*. Princeton University Press – Reino Unido, 1998.

SWELLER, J. *Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning*. COGNITIVE SCIENCE 12, 257-285 (1988).

SWELLER, J. *Evolution of human cognitive architecture*. In B. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 43, pp. 215–266). San Diego: Academic, 2003.

SWELLER, J. *Instructional Design Consequences of an Analogy between Evolution by Natural Selection and Human Cognitive Architecture*. *Instructional Science* 32: 9–31, 2004.

SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. *Cognitive Load Theory – Explorations in the Learning Sciences, Instructional Systems and*

Performance Technologies. Ed. Springer Science + Business Media – Nova York, 2011.

SWELLER, J.; MERRIENBOER, J. J. G. van; PAAS, F. G. W. C. *Cognitive Architecture and Instructional design*. Educational Psychology Review, Vol. 10, No. 3, 1998.

TIPLER P. A.; LLEWELLYN, R. A. *Modern Physics – 5ª edição*. Editora W. H. Freeman and Company, Nova York – Estados Unidos da América, 2008.

VAVRA, K.; WATRICH, V. J.; LOERKE, K.; PHILLIPS, L. M.; NORRIS, S. P.; MACNAB, J. *Visualization in Science Education. ASEJ*, Volume 41, Number 1, January 2011.

VEIT, E. A.; ARAÚJO, I. S. *Implicações da teoria da carga cognitiva sobre o desenvolvimento de material instrucional*. Mídias e Ferramentas Digitais no ensino da Física.

[VEKIRI, I. “What Is the Value of Graphical Displays in Learning?”. Educational Psychology Review 14, n. 3 \(September\): 261–312, 2002.](#)

VIDEIRA, A. A. P. *Einstein e o eclipse de 1919*. Física na Escola, v.6, n.1, 2005.

WALD, R. M. *Space, time, and gravity: the theory of the big bang and black holes - 2ª ed*. The University of Chicago Press – Estados Unidos da América, 1992.

ZAHN, C.; KRAUS, U. *Sector models – a toolkit for teaching general relativity; Part 1: curved spaces and spacetimes*. The European Journal of Physics, vol.35, 2014.

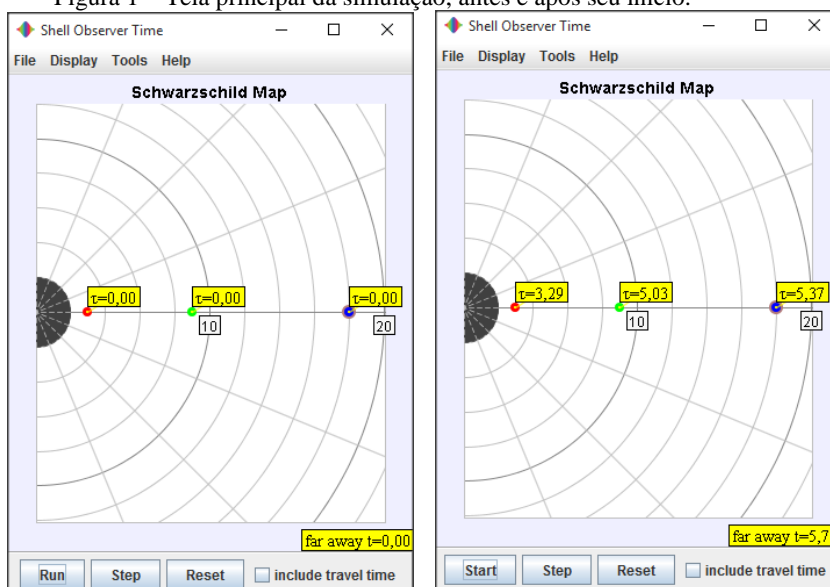
ZYLBERSZTAJN, A. *A deflexão da luz pela gravidade e o eclipse de 1919*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, vol. 6, n.3, pag. 224-233, 1989.

7 ANEXOS – Tutorial da simulação e respostas das questões conceituais.

Tutorial para o uso da simulação

Após fazer o download do armazenamento na nuvem, clique duas vezes no ícone com o seguinte nome: **gr_schwarzschild_time**. Ela é dividida em **duas telas**: uma na qual você pode interagir com os pontos coloridos na tela e outra na qual é mostrado um gráfico com os resultados da primeira tela. Abaixo eu detalho ambas as telas e explico cada item contido nelas.

Figura 1 – Tela principal da simulação, antes e após seu início.



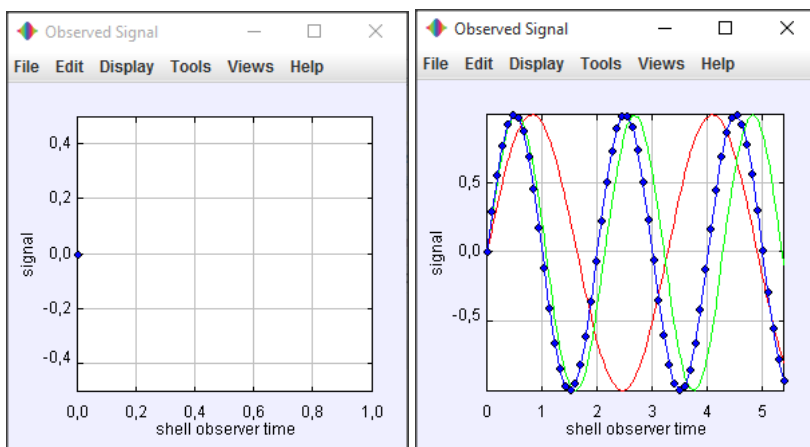
Fonte: <http://www.opensourcephysics.org/> (2015).

A tela principal contém três medidas de passagem do tempo que estão localizadas em três locais diferentes do campo gravitacional visto de cima. A primeira medida, de **cor vermelha**, se refere à medida mais próxima ao centro do campo gravitacional, onde a acentuação da curva do campo gravitacional é maior. A segunda medida, de **cor verde**, está um pouco mais afastada do centro do campo gravitacional. A terceira medida, de **cor azul**, é a mais afastada do centro do campo gravitacional das medidas da passagem do tempo. Todas as medidas podem ser modificadas pelo usuário com a utilização do mouse. Na parte inferior direita está a medida muito afastada do centro do campo gravitacional

identificada por uma faixa amarela com a seguinte escrita: “**far away t=0,00**”.

Para começar a simulação, clique com o mouse no botão “**Run**” localizado na parte inferior da tela, para pausá-la clique no mesmo botão que agora está identificado com a palavra “**Stop**”. Para voltar a simulação ao seu início, clique no botão “**Reset**”. Caso você queira ver a passagem do tempo em passos ao invés de continuamente, clique no botão “**Step**” com a simulação em seu início. O botão com o dizer “**include travel time**” não deve ser marcado nessa fase de ensino, pois torna a visualização do fenômeno dificultada.

Figura 2 – Tela secundária com o gráfico referente à simulação, antes e após seu início.



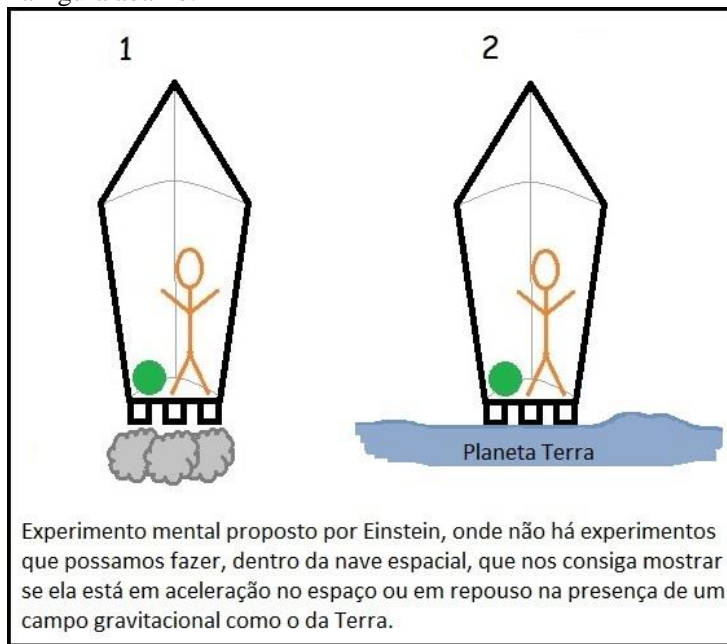
Fonte: <http://www.opensourcephysics.org/> (2015).

O gráfico acima mostra a frequência (eixo y) em que o tempo transcorre em comparação com o tempo do observador (eixo x). Por exemplo, o tempo de cor vermelha, que se refere ao relógio mais próximo à fonte de campo gravitacional e por consequência no menor potencial gravitacional, tem a taxa de seu relógio desacelerada. Podemos visualizar isso através do gráfico acima. Enquanto a frequência do relógio do observador (eixo x) é de 2,5, a frequência do relógio de cor vermelha é de apenas 1. Ainda conseguimos ver no gráfico que a diferença entre as frequências dos relógios aumenta potencialmente quanto menor for o potencial gravitacional.

Karina dos Santos Timboni

Respostas às questões conceituais

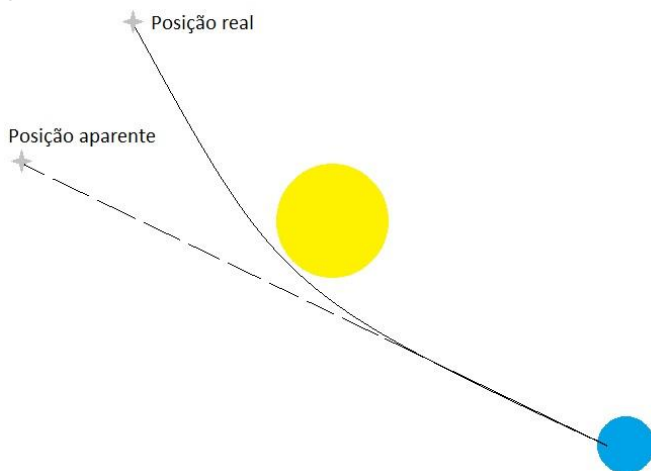
1 - Os fenômenos que ocorrem tanto na presença de um campo gravitacional g quanto sob aceleração, em que $a = g$ é que são equivalentes. Os efeitos causados pela presença de um campo gravitacional ou pela aceleração são indistinguíveis. O princípio nos diz que não há experimento (de qualquer tipo) que se possa fazer para distinguirmos os fenômenos nesses dois contextos, como exemplificado na figura abaixo:



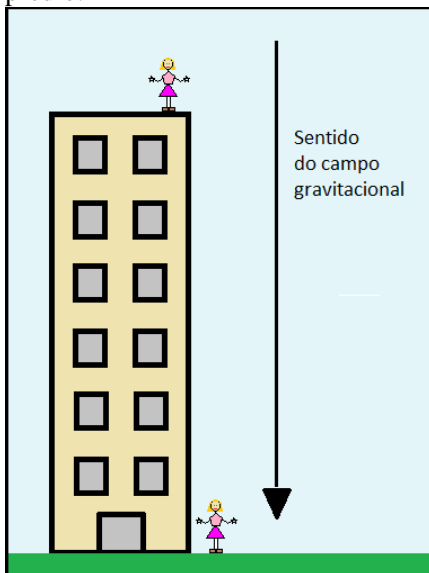
2 - Porque quando o Sol está eclipsado conseguimos visualizar a luz das estrelas próximas a ele, algo praticamente impossível durante o dia, que é quando estamos na presença do Sol e das estrelas ao mesmo tempo.



3 - Porque a luz viaja a uma velocidade muito alta, mesmo que a luz sofra (de fato) um desvio por causa da gravidade terrestre, a distância necessária para enxergarmos sua curvatura seria muito grande. Por exemplo um feixe de luz próximo à superfície terrestre desvia verticalmente 4,9 metros em um segundo, porém percorre uma distância de 300.000 quilômetros nesse mesmo tempo, o que torna a visualização desse encurvamento quase impossível. Isso ocorre porque a gravidade terrestre é pequena, no caso do Sol o desvio é mais visível pois a gravidade solar é maior.



4 - A pessoa que está no topo do prédio envelhece mais rápido que uma outra no térreo desse mesmo prédio, porque quanto menor for o potencial gravitacional em que o “relógio” esteja presente, menor é a sua taxa (frequência) em comparação com o “relógio” fixo no topo do prédio.



5 - Sim, é possível viajar no tempo como no filme Interestelar, porém para que haja uma diferença tão grande entre as taxas de transcorrência dos “relógios” o campo gravitacional envolvido tem que ser exageradamente grande. No filme (figura abaixo) o fenômeno ocorre bem próximo à um buraco negro, que fornece o parâmetro necessário, porém sabemos que não seria benéfico para o corpo humano essa viagem.

