

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DOUTORADO EM ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

RAFAEL JOÃO RIBEIRO

***GAME DESIGN* APLICADO EM SIMULAÇÕES INTERATIVAS
EDUCACIONAIS**

TESE

PONTA GROSSA

2017

RAFAEL JOÃO RIBEIRO

***GAME DESIGN* APLICADO EM SIMULAÇÕES INTERATIVAS
EDUCACIONAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia. Área de Concentração: Ciência, Tecnologia e Ensino.

Orientadora: Professora Doutora Sani de Carvalho Rutz da Silva.

PONTA GROSSA

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa
n.60/17

R484 Ribeiro, Rafael João

Game design aplicado em simulações interativas educacionais. / Rafael João
Ribeiro. 2017.

182 f.; il. 30 cm

Orientadora: Profa. Dra. Sani de Carvalho Rutz da Silva

Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia) - Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Ponta Grossa, 2017.

1. Jogos educativos. 2. Jogos para computador. 3. Aprendizagem pela descoberta.
4. Aprendizagem cognitiva. 5. Métodos de simulação. I. Silva, Sani de Carvalho Rutz
da. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Título.

CDD 507

Elson Heraldo Ribeiro Junior. CRB-9/1413. 20/10/2017.



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus de Ponta Grossa
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Tese Nº 5/2017

GAME DESIGN APLICADO EM SIMULAÇÕES INTERATIVAS EDUCACIONAIS

por

Rafael João Ribeiro

Esta tese foi apresentada às **13 horas e 30 minutos** do dia **25 de agosto de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título de DOUTOR EM ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, com área de concentração em Ciência, Tecnologia e Ensino, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa
(UNESP)

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade
(UEPG)

Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin (UTFPR)

Prof. Dr. Luiz Alberto Pilatti (UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Sani de Carvalho Rutz da Silva
(UTFPR) – *Orientador(a)*

Visto do Coordenador

Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin
Coordenador do PPGCT – Doutorado
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR – CÂMPUS PONTA GROSSA

À minha esposa, pelos principais ingredientes
para a realização deste trabalho: carinho e
motivação. Rubiana, te amo!

À minha filha, que complementa com os
melhores temperos da vida: alegria e amor.
Mariana, te amo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que nos deu a capacidade de juntos construirmos novos conhecimentos.

À minha esposa Rubiana e à minha filha Mariana, que contribuíram com o apoio necessário para a realização desse trabalho.

À minha Família, por sempre incentivar o meu interesse pelos estudos.

À minha orientadora Professora Doutora Sani de Carvalho Rutz da Silva, pela dedicação na condução das orientações.

Ao Professor Doutor Marcos Cesar Danhoni Neves, pela condução das etapas iniciais desta pesquisa.

Aos professores da banca avaliadora: Professor Doutor André Vitor Chaves de Andrade, Professor Doutor Awdry Feisser Miquelin, Professor Doutor Luiz Alberto Pilatti e Professor Doutor Wilson Massashiro Yonezawa.

Aos meus colegas de turma, que sempre encararam os desafios do doutorado com muita dedicação: Ana Cristina, Antonella, Clodogil, Daniela, Eliana, Fabiane, Fábio Edenei, Fabio Seidel, Jaqueline, João Paulo, Lúcia, Nelson, Sandra e Tânia.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia, por desenvolverem um ensino de excelência em cada uma das disciplinas do PPGECT.

Aos funcionários da secretaria do PPGECT e da biblioteca da UTFPR, que sempre me atenderam com muito profissionalismo.

Aos professores, técnicos administrativos e estudantes do Instituto Federal do Paraná que contribuíram para a realização dessa pesquisa.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização dessa pesquisa.

*“Fall in love with some activity, and do it!
Nobody ever figures out what life is all
about, and it doesn't matter. Explore the
world. Nearly everything is really
interesting if you go into it deeply
enough. Work as hard and as much as
you want to on the things you like to do
the best. Don't think about what you
want to be, but what you want to do.
Keep up some kind of a minimum with
other things so that society doesn't stop
you from doing anything at all.”
— Richard Feynman*

RESUMO

RIBEIRO, Rafael João. **Game design aplicado em simulações interativas educacionais**. 2017. 182 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Esta pesquisa teve como objetivo investigar os efeitos da aplicação de *game design* em uma simulação interativa do projeto PhET no processo de ensino e aprendizagem, e quanto ao interesse dos estudantes em acessarem, espontaneamente, as simulações. A metodologia envolveu 75 estudantes do Ensino Médio em um design experimental com grupo de controle (S) e grupo experimental (G). A análise dos dados apontou que a aplicação de *game design* não afeta ($p = 0,16$) a aquisição de conhecimento e a atitude dos alunos ao final da aula. Porém, uma diferença com significância ($p < 0,01$ e $r = 0,34$) foi observada para o teste de retenção, sendo maior para o grupo G. A diferença entre o teste de retenção e o pós-teste ($p < 0,001$ e $r = 0,38$) foi favorável para o grupo G. As curvas de regressão para a retenção apresentaram-se inclinadas e com um *gap* positivo para o grupo G, quando comparado com o grupo S, utilizando o conhecimento prévio como covariante. O experimento foi replicado em um design quase-experimental com 64 participantes, a comparação com o teste de retenção, manteve-se favorável para o grupo G, reforçando a validade externa do experimento. O efeito positivo na retenção de conhecimento, proporcionado pela seção de jogo é discutido com referência na Teoria da Carga Cognitiva. A seção de jogo presente na simulação potencializa a sua função como material instrucional, facilitando a construção e automatização de esquemas cognitivos na memória de trabalho dos estudantes. Um maior interesse dos estudantes, em acessarem as simulações PhET, foi observado após a aplicação de elemento de *game design* sociointerativo, no caso, com um placar de pontuações. Esse resultado foi discutido com referência no conceito de *Homo ludens*. Tendo como referência o escopo teórico de Richard E. Mayer, é possível compreender as observações obtidas nesta pesquisa, o qual destaca que: métodos de aprendizagem por descoberta, sem orientação, geralmente, são ineficientes e ineficazes para promoverem a aprendizagem conceitual. A aplicação de *game design* permite que a simulação seja utilizada tanto em espaços formais de ensino, com foco na aprendizagem pela descoberta guiada, como em situações adversas, em uma aprendizagem baseada em jogos digitais. Como contribuição para a área de Design Instrucional no ensino de Ciência, conclui-se nesta tese: a presença de uma seção de jogo em uma simulação interativa de Física possui efeitos positivos na retenção de conhecimento ($d = 0,81$), na motivação dos estudantes em acessarem, espontaneamente, as simulações, e não há evidências de aumento de carga cognitiva na memória de trabalho dos aprendizes.

Palavras-chave: Aprendizagem baseada em jogos digitais. Aprendizagem pela descoberta guiada. Simulações interativas PhET. Teoria da carga cognitiva. *Game design* instrucional.

ABSTRACT

RIBEIRO, Rafael João. **Game design applied to interactive simulations for learning**. 2017. 182 p. Thesis (Doctorate in Science and Technology Teaching) - Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2017.

This research aimed to investigate the effects of applying game design to a PhET interactive simulation on the teaching and learning process, and on student interest in spontaneously accessing the simulation. The methodology involved 75 high school students in an experimental design with a control group (S) and an experimental group (G). Data analysis highlighted that applying game design did not affect the acquisition of knowledge and student attitudes at the end of the class ($p = 0.16$). However, a significant difference ($p < 0.01$ and $r = 0.34$) was observed for the retention test, being greater for the G group. The difference between the retention test and the post-test ($p < 0.001$ and $r = 0.38$) was favorable for the G group. The regression curves for retention were inclined with a positive gap for the G group when compared with the S group, using previous knowledge as a covariate. The experiment was replicated in a quasi-experimental design with 64 participants, and the retention test comparison remained favorable for the G group, reinforcing the external validity of the experiment. The positive effect on knowledge retention provided by the game section is discussed with reference to cognitive load theory. The game section present in the simulation enhances its function as instructional material, facilitating the construction and automation of cognitive schemes in students' working memory. Greater student interest in accessing the PhET simulation was observed after adding a socio-interactive game design element, in this case, a high score board. This result was discussed with reference to the concept of Homo ludens. With reference to the theoretical scope of Richard E. Mayer, it is possible to understand the results obtained: learning methods by discovery, without guidance, are generally inefficient and ineffective in promoting conceptual learning. Applying game design allows the simulation to be used in both formal teaching spaces focused on learning by guided discovery and in adverse situations with digital game-based learning. As a contribution to the area of instructional design in science teaching, this thesis concludes that the game section present in a physics interactive simulation positively affects the retention of knowledge ($d = 0.81$) and student motivation to spontaneously access the simulation, with no evidence of cognitive load increases in students' working memory.

Keywords: Digital Game-Based Learning. Learning by Guided Discovery. PhET Interactive Simulations. Cognitive Load Theory. Instructional Game Design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Questões de interesse de pesquisa do grupo PhET, em destaque a questão levantada neste estudo.....	16
Figura 2 - Simulação interativa Balancing Act, ou “Balançando”, programada com componentes do módulo VEGAS.....	18
Figura 3 - Simulação interativa Balanceamento de Equações Químicas, programada com componentes do módulo VEGAS.....	19
Figura 4 - Componentes do módulo Vegas para aplicação em simulações interativas.....	20
Figura 5 - Tela de captura do <i>software</i> de ensino programado que acompanha o livro <i>Fundamentals of Physics 6^a</i>	65
Figura 6 - Diagrama de projeto experimental.	90
Figura 7 - Diagrama do primeiro procedimento experimental	92
Figura 8 - Diagrama do segundo procedimento experimental.....	93
Figura 9 - Diagrama do terceiro procedimento experimental.	93
Figura 10 - Seção de recursos para professores no portal PhET.....	95
Figura 11 - Portal “ <i>Física Games</i> ” desenvolvido para a realização dos procedimentos experimentais.....	100
Figura 12 - Modelo do teste SSI (<i>Short Subjective Instrument</i>).....	101
Quadro 1 - Classificação de teorias e princípios de aprendizagem presentes em artigos sobre aprendizagem mediada por jogos digitais.	75
Quadro 2 - Questionário de atitude de alunos em relação à disciplina de Física.	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição da amostra por ano de publicação.	73
Gráfico 2 - Distribuição da pontuação de conhecimento prévio de Física dos alunos por turma.	105
Gráfico 3 - Distribuição da pontuação de conhecimento prévio de Física dos alunos por grupo.	106
Gráfico 4 – Diagrama de caixas para o resultado no pós-teste por grupo.	111
Gráfico 5 - Diagrama de caixas para o resultado no teste de retenção por grupo. .	112
Gráfico 6 - Diagrama de caixas para os resultados no pós-teste e teste de retenção por grupo.	113
Gráfico 7 – Diagrama de caixas das diferenças médias nos testes para os grupos S e G.	116
Gráfico 8 - Curva de regressão entre teste de retenção e conhecimento prévio.	118
Gráfico 9 - Curva de regressão entre a diferença do teste de retenção e pós-teste com o conhecimento prévio.	119
Gráfico 10 – Gráfico de Likert para 23 elementos de <i>game design</i> ordenados por importância conforme o interesse dos alunos.	127
Gráfico 11 – Respostas do questionário aplicado em uma aula sem utilização de simulação com jogo incorporado.	129
Gráfico 12 - Curva de regressão entre teste de retenção e conhecimento prévio para o experimento de replicação.	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Correlação entre as funções comuns de jogos de computador e a preferência de estudantes	71
Tabela 2 - Distribuição dos participantes organizados por turma, gênero e grupo..	104
Tabela 3 – Teste de Qui quadrado para comparação dos grupos G e S no questionário atitudinal em relação à Física.	108
Tabela 4 – Frequência de uso de jogos digitais por plataforma e jogos não digitais.	109
Tabela 5 – Frequência diária de uso de jogos digitais por grupo independente da plataforma.	110
Tabela 6 – Estatísticas dos resultados obtidos no pós-teste e teste de retenção por grupo.	114
Tabela 7 – Teste t pareado para o teste de retenção e o pós-teste	115
Tabela 8 – Teste t para as diferenças obtidas no teste de retenção e o pós-teste entre os grupos	116
Tabela 9 – Classificação dos comentários dos alunos sobre a aula em três categorias.....	121
Tabela 10 – Classificação das sugestões dos alunos para a melhoria do processo de aplicação de <i>game design</i> em simulações interativas.	128

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PONTO CRÍTICO NA DISSEMINAÇÃO DAS SIMULAÇÕES INTERATIVAS ..	16
1.2 PONTO CRÍTICO NO REFINAMENTO DAS SIMULAÇÕES INTERATIVAS DO PROJETO PHET	17
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA E <i>GAME DESIGN</i> INSTRUCIONAL.....	20
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	22
1.5 HIPÓTESES	22
1.6 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	23
1.7 PRODUTO DIDÁTICO	24
1.8 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	25
2 APRENDIZAGEM BASEADA EM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	27
2.1 O PROJETO PHET: PHYSICS EDUCATION TECHNOLOGY	29
2.2 APRENDIZAGEM PELA DESCOBERTA GUIADA NO CASO PHET	35
2.2.1 Evidências de aprendizagem pela descoberta guiada	39
2.2.2 Limitações na promoção de pensamento científico com as simulações	41
2.3 FORMAS DE APLICAÇÃO DAS SIMULAÇÕES PHET EM SALA DE AULA ...	44
2.4 LIMITAÇÕES DAS SIMULAÇÕES DO PROJETO PHET	46
3 TEORIA DA CARGA COGNITIVA	48
3.1 NÚMERO DE MILLER: 7 ± 2	49
3.2 INÍCIO DA CIÊNCIA COGNITIVA.....	50
3.3 FUNCIONAMENTO DA MENTE HUMANA	51
3.3.1 Memória sensorial.....	51
3.3.2 Memória de trabalho	52
3.4 MEMÓRIA DE TRABALHO EM PROBLEMAS MATEMÁTICOS.....	54
3.5 TEORIA DA CARGA COGNITIVA	57
3.6 O CONCEITO DE APRENDIZAGEM NA TCC	58
3.7 TEORIA DA CARGA COGNITIVA E DESIGN INSTRUCIONAL.....	59
3.7.1 Carga Cognitiva Intrínseca	60
3.7.2 Carga Cognitiva Estranha	61
3.7.3 Carga Cognitiva Relevante	62
3.7.4 Técnicas de Medida de Carga Cognitiva	62
3.8 EFEITOS DO DESIGN INSTRUCIONAL NA CARGA COGNITIVA.....	63

3.9 CIÊNCIA COGNITIVA APLICADA EM APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS	67
4 APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS.....	69
4.1 JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS: CENÁRIO NA DÉCADA DE 1980	69
4.2 JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS: CENÁRIO ATUAL	72
4.3 CONCEPÇÃO PEDAGÓGICA EM JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS.....	73
4.4 CRÍTICAS À INSERÇÃO DOS JOGOS DIGITAIS NAS ESCOLAS	76
4.5 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DE JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS	78
5 HOMO LUDENS E JOGO	80
6 METODOLOGIA.....	85
6.1 HIPÓTESES DE ESTUDO.....	86
6.2 GRUPOS PARTICIPANTES	88
6.3 DESIGN EXPERIMENTAL.....	89
6.3.1 Conhecimentos prévios, pós-teste e teste de retenção	94
6.3.2 Questionário de atitudes dos alunos.....	95
6.3.3 Gravação da interação usuário-computador.....	98
6.3.4 Instrumento de avaliação da carga cognitiva	100
7 RESULTADOS	103
7.1 DESCRIÇÃO DOS GRUPOS DE ESTUDO.....	103
7.2 EQUIVALÊNCIA PARA VARIÁVEIS INTERVENIENTES E BIOGRÁFICAS ...	106
7.2.1 Idade dos participantes.....	106
7.2.2 Proporção entre gêneros	107
7.2.3 Atitude em relação à Física	107
7.2.4 Frequência de uso de jogos digitais.....	108
7.3 RESULTADOS OBTIDOS NO PÓS-TESTE	110
7.4 RESULTADOS OBTIDOS PARA O TESTE DE RETENÇÃO	111
7.5 COMPARAÇÕES PARA AS DIFERENÇAS OBTIDAS ENTRE O PÓS-TESTE E O TESTE DE RETENÇÃO	113
7.5.1 Comparação dos dados para as diferenças obtidas nos testes.....	115
7.6 CURVA DE REGRESSÃO ENTRE TESTE DE RETENÇÃO E CONHECIMENTO PRÉVIO	117
7.7 MEDIDA SUBJETIVA DA CARGA COGNITIVA	119
7.8 DADOS QUALITATIVOS DE COMENTÁRIOS ESCRITOS PELOS ESTUDANTES DE CADA GRUPO	120
7.9 MONITORAMENTO DO ACESSO AO SÍTIO ELETRÔNICO APÓS AS AULAS EXPERIMENTAIS.....	121
7.9.1 Monitoramento após a primeira aula experimental	121

7.9.2 Monitoramento após a segunda aula experimental	122
7.9.3 Monitoramento após a terceira aula experimental	125
7.10 PREFERÊNCIA DOS ESTUDANTES POR DETERMINADOS ELEMENTOS DE <i>GAME DESIGN</i>	126
7.10.1 Sugestões dos alunos de elementos de <i>game design</i> aplicáveis em simulações interativas	127
7.10.2 Interesse dos alunos pela presença de uma seção de jogo incorporada às simulações de Física	129
8 DISCUSSÃO	130
8.1 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H ₁ : AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	131
8.2 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H ₂ : RETENÇÃO DE CONHECIMENTO	133
8.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H ₃ : CARGA COGNITIVA	136
8.4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H ₄ : INTERESSE ESPONTÂNEO PELA SEÇÃO DE JOGO	140
8.5 ANÁLISE DA QUESTÃO DE PESQUISA Q ₁	144
8.6 LIMITAÇÕES E VALIDAÇÃO	146
8.6.1 Comentários sobre a diferença no número de alunos que utilizam jogos de computador diariamente em cada grupo	147
8.6.2 Validade externa	148
8.7 POSSÍVEIS GENERALIZAÇÕES	149
9 CONCLUSÕES	153
REFERÊNCIAS.....	157
APÊNDICE A - Guias com orientações para as atividades de aprendizagem .	170
APÊNDICE B - Pós-teste e teste de retenção	177
APÊNDICE C - Questionário de atitudes e questionário de frequência de uso de jogos em diferentes plataformas.....	181

1 INTRODUÇÃO

O projeto PhET¹ é um recurso de ensino com mais de 360 milhões de acessos desenvolvido na Universidade do Colorado e fundado, em 2002, por Carl Wieman, físico ganhador de prêmio Nobel e da Medalha Lorentz. Na ocasião do Nobel, em 2001, Carl Wieman doou o seu prêmio para a fundação do projeto PhET, por acreditar nas simulações interativas como ferramenta certa para a educação do futuro. Atualmente, as 133 simulações interativas do projeto são distribuídas livremente no portal PhET, em até 36 idiomas, com conteúdos de Física, Química, Matemática e Biologia.

O sucesso do projeto PhET foi analisado por Khatri *et al.* (2014), que publicaram um estudo de caso para explicar algumas questões gerais sobre o desenvolvimento das simulações e os motivos de tantos acessos desse recurso de ensino. Para a coleta de dados, os autores incluíram entrevistas com os profissionais fundadores do projeto, publicações sobre o processo de desenvolvimento das simulações, artigos em jornais e documentos publicados pelo grupo PhET, ao longo dos anos desde a sua criação.

Após a análise dos dados, Khatri *et al.* (2014) destacaram três pontos-chave para o sucesso do projeto PhET. Primeiro, o grupo PhET passou por uma fase experimental antes de definir exatamente como seria sua inovação. No início, o grupo investiu em um período de validação dos conceitos e refinamento das ideias, até, finalmente, expandir para uma fase em grande escala.

O segundo ponto-chave do projeto PhET foram as parcerias. O projeto recebe doações de recursos financeiros de organizações parceiras que são utilizadas para o fomento de bolsas de estudo e pesquisa. Uma parceria importante foi realizada com os pesquisadores da *King Saud University*, que resultou no desenvolvimento de uma ferramenta de tradução colaborativa para as simulações. A ferramenta permitiu que voluntários colaborassem com o projeto enviando traduções para as simulações, o que aumentou, consideravelmente, o público de usuários do projeto ao redor do mundo.

¹ PhET: Physics Education Technology. Disponível em: <<https://phet.colorado.edu/>>. Acessado em: 07 de fevereiro de 2016.

O terceiro ponto-chave, destacado por Khatri *et al.* (2014), é o trabalho contínuo do grupo PhET na melhoria da qualidade das simulações e na forma de distribuição pela Internet. Atualmente, o grupo está trabalhando em um novo site para professores e na adequação das simulações para permitir o acesso em dispositivos móveis. Desta maneira, a proposta do grupo PhET é continuar inovando com foco na “disseminação” e no “refinamento” das simulações.

Em Perkins *et al.* (2006), os próprios pesquisadores do grupo PhET apresentam e discutem o método elaborado para a produção das simulações, que prioriza o engajamento e a melhoria da aprendizagem dos estudantes.

Os designers que trabalham no projeto PhET decidiram por um conceito simples no *layout* das simulações. Os controles das simulações são intuitivos para facilitar o uso das simulações pelos estudantes, que, geralmente, realizam as ações por meio de cliques do mouse, e movimentos do tipo arrastar e soltar. Perkins *et al.* (2006) relatam que aplicam nas simulações uma técnica de design para manter alguns painéis escondidos, que só são revelados quando explorados pelos estudantes. Isso é feito para evitar sobrecarga de informação no primeiro contato do estudante com uma simulação.

No processo de produção das simulações, Perkins *et al.* (2006) realizam constantes coletas de dados dos usuários para orientar nas melhorias das simulações. Por exemplo, em um levantamento de dados com a aplicação das simulações em um curso de longa duração, foi observado que 62% dos estudantes avaliaram as simulações como muito útil para o processo de aprendizagem.

Na pesquisa de Wieman *et al.* (2010), pesquisadores do grupo PhET relatam que a concepção de ensino adotada na produção das simulações é baseada na aprendizagem pela descoberta guiada. Os autores consideraram essa forma de aprendizagem como a mais apropriada para o ensino de Ciência. Wieman, Adams e Perkins (2008) explicam que as simulações interativas são elaboradas para proporcionarem ao estudante um ambiente virtual de aprendizagem semelhante ao laboratório de um cientista.

Considerando a relevância das simulações interativas do projeto PhET, tema amplamente abordado em pesquisas na área de ensino de Ciência e Matemática, esta tese investiga dois problemas, ou pontos críticos, do projeto em ambos os processos de disseminação e refinamento das simulações.

1.1 PONTO CRÍTICO NA DISSEMINAÇÃO DAS SIMULAÇÕES INTERATIVAS

O primeiro ponto crítico observado no caso do projeto PhET é em relação ao acesso às simulações interativas pelos estudantes em situações não formais de ensino, como de casa ou no tempo livre. Este ponto é baseado em um relato do próprio grupo PhET, descrito no portal em uma seção com sugestão e demandas de perguntas para serem pesquisadas. A Figura 1 é uma captura da página do portal PhET, que mostra no segundo parágrafo o problema citado aqui em destaque: “Os alunos aprendem se eu lhes disser para ir para casa e usar uma simulação?”.

Figura 1 - Questões de interesse de pesquisa do grupo PhET, em destaque a questão levantada neste estudo.

Pesquisar respostas às perguntas mais frequentes:

"As simulações PhET podem realmente substituir equipamentos de um laboratório real?"

Nossos estudos têm mostrado que as simulações PhET são mais eficazes para o entendimento conceitual, no entanto, existem muitos objetivos operacionais de laboratório que as simulações não abordam. Por exemplo, as competências específicas relacionadas com o funcionamento dos equipamentos. Dependendo dos objetivos de seu laboratório, pode ser mais eficaz usar apenas as simulações ou uma combinação de simulações e equipamentos reais

"Os alunos aprendem se eu lhes disser para ir para casa e usar uma simulação?"

A maioria dos estudantes não costuma gastar seu tempo livre por conta própria brincando com uma simulação de ciência (elas são divertidas, mas nem tanto), sem que haja uma motivação *direta*, tal como uma nota. Esta é uma das razões que estão levando a cabo o projeto de como integrar melhor as simulações aos temas de casa.

"Qual o melhor lugar para usar as simulações PhET no meu curso?"

Acreditamos que as simulações PhET sejam muito eficazes em aula, em atividades de classe, de laboratório e trabalhos de casa. Elas são projetadas com o mínimo de texto para que possam ser facilmente integradas a cada aspecto de um curso.

Fonte: PhET (2016a).

Este ponto crítico pode ser sintetizado na seguinte pergunta:

- Fora do contexto escolar, os estudantes não acessam as simulações do projeto PhET por que este recurso não possui elementos sociointerativos?

Exemplos de elementos de *game design* sociointerativos são: comunicação por texto ou voz entre jogadores (*chat*), modo multijogadores, placar de pontuação,

registro e publicação de conquistas, criação de perfis públicos (*avatares*), criação de grupos de amigos, mercado para troca de itens entre jogadores, e outros.

Este ponto crítico é considerado na elaboração das hipóteses desta pesquisa, em conjunto com um segundo problema, discutido adiante. De modo geral, esta pesquisa propõe-se a investigar o interesse dos alunos pelas simulações do projeto PhET em situações fora do contexto escolar.

1.2 PONTO CRÍTICO NO REFINAMENTO DAS SIMULAÇÕES INTERATIVAS DO PROJETO PHET

As simulações do projeto PhET são elaboradas com uma concepção de ensino baseada na aprendizagem pela descoberta guiada, que implica em proporcionar ao estudante um ambiente de liberdade para exploração de um fenômeno e construção de conhecimento científico. Porém, algumas simulações possuem uma seção de jogo com elementos de *game design* no estilo dos jogos clássicos de videogame, que não condizem, apropriadamente, com a concepção defendida pelos fundadores do projeto para a produção das simulações.

As simulações do projeto PhET são distribuídas com código-fonte aberto e com licença *Creative Commons Attribution 4.0*², que permite a produção de produtos derivados para qualquer propósito, inclusive comercialmente, desde que cite nos créditos da obra modificada que são os criadores da obra original, no caso: "*PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <http://phet.colorado.edu>".*

Os códigos específicos utilizados na programação das simulações também possuem uma licença que permite o uso livre e a criação de versões modificadas, desde que satisfaça as condições da *GNU General Public License Version 3*³. Esses códigos pré-prontos permitem a inserção rápida de recursos comuns em uma nova simulação, como exemplo: botões de controle, figuras animadas, instrumentos virtuais de medição e os demais itens individuais encontrados comumente nas simulações.

² Creative Commons Attribution 4.0. Disponível em:

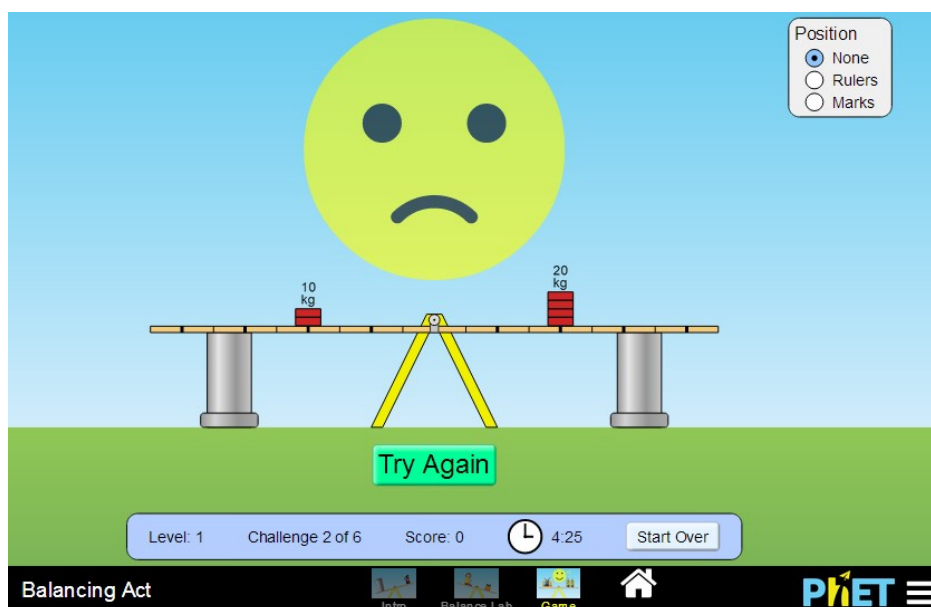
<<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>. Acessado em: 08 de abril de 2016.

³ GNU General Public License Version 3. Disponível em: <<https://www.gnu.org/licenses/gpl.html>>. Acessado em: 08 de abril de 2016.

As novas simulações do projeto PhET são distribuídas no formato HTML5⁴ e criadas com a linguagem de programação JavaScript, em um sistema de modularização assíncrono (AMD) baseado em RequireJS. A mudança para este formato foi adotada para permitir a compatibilidade das simulações em *tablets* e dispositivos móveis.

Nesta nova plataforma, HTML5, os desenvolvedores criaram um módulo com códigos pré-prontos com o codinome *vegas*, composto por códigos prontos para embutir uma seção de jogo em uma simulação interativa com elementos de *game design* no estilo dos videogames clássicos. A Figura 2 mostra a simulação interativa “Balançando”, a qual é programada com elementos instrucionais inseridos com o módulo *vegas*, a Figura 3 mostra a mesma situação da figura anterior, mas para uma simulação de Química.

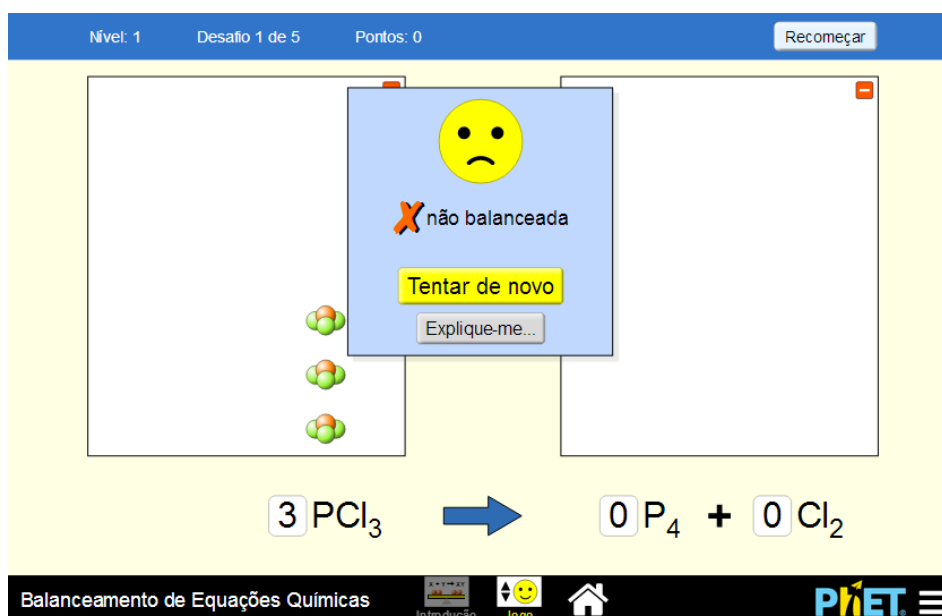
Figura 2 - Simulação interativa Balancing Act, ou “Balançando”, programada com componentes do módulo VEGAS.



Fonte: PhET (2016b).

⁴ HTML5: linguagem Web de criação de conteúdos. Disponível em: <<https://www.w3.org/html/>>. Acessado em: 08/04/2016.

Figura 3 - Simulação interativa Balanceamento de Equações Químicas, programada com componentes do módulo VEGAS.



Fonte: PhET (2016c).

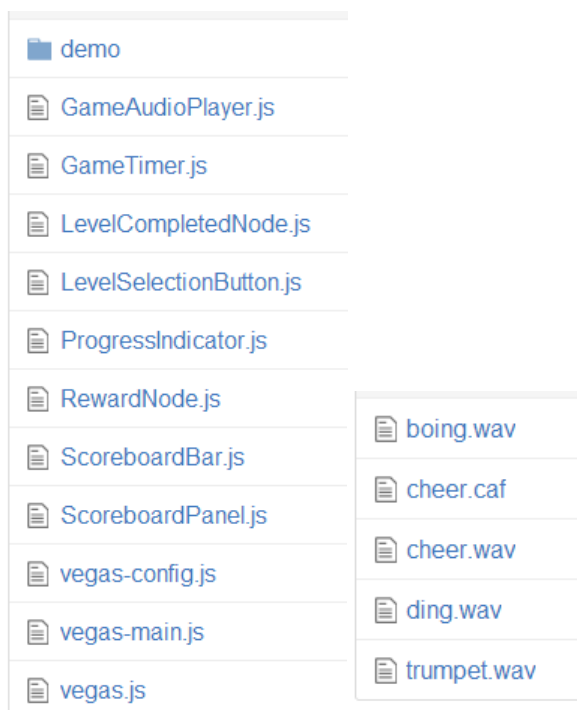
O código do módulo vegas está disponível livremente para acesso e reuso no site de repositório de códigos Github⁵, desde 29 de setembro de 2013, no qual é possível acompanhar o trabalho diário de desenvolvimento das simulações.

Os componentes disponíveis no módulo vegas são formados por códigos em JavaScript e arquivos de áudio, que juntos permitem a inserção de elementos de jogos clássicos nas simulações, como pontuação, fases de dificuldades e premiações. Na década de 1980, esses elementos de *game design* de jogos clássicos foram considerados como importantes para a manutenção da motivação dos estudantes conforme pesquisa de Malone (1981). Esses elementos clássicos são comumente encontrados em jogos digitais criados com concepções de ensino baseadas em teorias de aprendizagem behavioristas (LINEHAN *et al.*, 2011).

A Figura 4 mostra a lista dos códigos e dos arquivos de áudio disponíveis no módulo vegas.

⁵ Módulo Vegas do repositório PhET. Disponível em: < disponível em: < <https://github.com/phetsims/vegas>>. Acessado em: 10 de fevereiro de 2016.

Figura 4 - Componentes do módulo Vegas para aplicação em simulações interativas.



Fonte: PhET Github (2016).

Nesta pesquisa, a presença da seção de jogo nas simulações do projeto PhET foi tratada como problema de pesquisa que envolve o processo de design instrucional das simulações.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA E *GAME DESIGN* INSTRUCIONAL

Conforme exposto até aqui, esta pesquisa aborda questões de design instrucional presentes nas simulações PhET. Para Merrill *et al.* (1996), design instrucional é uma tecnologia para o desenvolvimento de experiências de aprendizagem e ambientes que promovam a aquisição de conhecimentos e habilidades específicas aos estudantes. Merrill *et al.* (1996) também consideram a área de design instrucional como uma ciência, ou ciência da instrução, que possui princípios estáveis, já que os aprendizes de hoje não são, significativamente, diferentes daqueles de uma década atrás, ou um século atrás, em termos de estrutura cognitiva de aquisição de conhecimento.

Filatro (2008, p. 3), de maneira semelhante, define design instrucional como “o processo (conjunto de atividades) de identificar um problema (uma necessidade) de aprendizagem e desenhar, implementar e avaliar uma solução para esse

problema”. No caso do projeto PhET, a necessidade é o ensino de conteúdos de Ciência e Matemática, e, como solução, são propostas as simulações, as quais são desenhadas e implementadas priorizando uma aprendizagem baseada na descoberta guiada. Porém, conforme já mencionado, algumas suas simulações possuem uma seção de jogo que utiliza elementos de *game design* que alteram o modo de aprendizagem dos estudantes. Diante dessas observações, segue o problema de pesquisa abordado nesta tese:

- A aplicação de elementos clássicos de *game design* nas simulações PhET possui efeito negativo no processo de ensino e aprendizagem, por serem conflitantes com a concepção de ensino, proposta pelos fundadores do projeto PhET, para esse recurso didático?

Game design é a atividade relacionada com as tomadas de decisão no processo de criação de um jogo. Dependendo do jogo, o *game design* é um processo que envolve muito mais arte do que ciência (SCHELL, 2008).

Salen e Zimmerman (2004) definem *game design* como o processo realizado pelo *game designer* na criação de um jogo, para ser descoberto por um jogador, desse encontro, ou interatividade, é que emerge o significado do jogo.

No caso da seção de jogo presente nas simulações PhET, o *game design* é composto por elementos clássicos de videogames, comuns em jogos antigos de fliperama. Esses elementos também são comuns em design instrucionais baseados na aprendizagem behaviorista, como controle de tempo e sistema de recompensas (LINEHAN *et al.*, 2011). Para referir-se a esse contexto, nesta tese, é utilizada a expressão “*game design* instrucional” para representar a unificação dos campos *game design* e design instrucional. Schwartz e Bayliss (2011), em um estudo sobre a unificação de design instrucional e *game design*, mostraram que há muitos paralelos entre conceitos de ambos os campos.

A diferença entre *game design* e *game design* instrucional é que, no primeiro, não há restrições iniciais além do orçamento e da imaginação do designer. Enquanto que, em *game design* instrucional, há várias restrições iniciais relacionadas com os objetivos de aprendizagem e com a concepção de ensino desejada para o jogo (ECHEVERRÍA *et al.*, 2012).

Diante das definições expostas e do problema de pesquisa descrito, esta tese envolveu investigações acerca do *game design* instrucional presente na criação das simulações do projeto PhET, especificamente, que possuem uma seção de jogo adicional.

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo geral:

Investigar os efeitos da aplicação de elementos de *game design* em simulação interativa no ensino de Física, tanto no processo de ensino e aprendizagem como no interesse dos alunos por esse recurso.

Objetivos específicos:

1. Determinar se a presença de uma seção de jogo nas simulações PhET contribui com significância para a aquisição e retenção de conhecimento no processo de ensino e aprendizagem.
2. Conhecer o efeito da seção de jogo na carga cognitiva dos alunos.
3. Conhecer as atitudes dos alunos em face da utilização de simulações interativas com elementos de jogos digitais.
4. Investigar o interesse dos estudantes pelas simulações fora do ambiente escolar.
5. Propor sugestões para futuras atividades de *game design* instrucional com os recursos de códigos abertos do projeto PhET.

Diante dos objetivos acima propostos, esta pesquisa faz uma avaliação baseada em evidências se há, ou não, justificativas que sustentem a necessidade de aplicação de *game design* em simulações interativas educacionais.

1.5 HIPÓTESES

Em um primeiro momento, considerou-se que o módulo vegas possui uma influência positiva no interesse dos estudantes por adicionar uma seção de jogo nas simulações. Por outro lado, atribuiu-se ao módulo vegas a possibilidade de influenciar negativamente o processo de aprendizagem, por conter elementos de interação não condizentes com a concepção de ensino baseada na aprendizagem pela descoberta guiada, que orienta a produção e utilização das simulações.

Para avaliar esses questionamentos, uma discussão com base na Teoria da Carga Cognitiva de Sweller (1988) foi levantada para analisar a consequência da seção de jogo na memória de trabalho dos estudantes.

Conforme o problema de pesquisa e o objetivo geral desta pesquisa, quatro hipóteses foram elaboradas para avaliar os efeitos da presença da seção de jogo nas simulações do projeto PhET:

- 1) H₁: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a aquisição de conhecimento em aulas de Física com estudantes do Ensino Médio.
- 2) H₂: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a retenção de conhecimento em aulas de Física com estudantes do Ensino Médio.
- 3) H₃: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a memória de trabalho com aumento de carga cognitiva estranha no processo de aprendizagem.
- 4) H₄: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET influencia de forma positiva o interesse dos estudantes pela utilização das simulações em situações fora do contexto escolar.

Além das hipóteses enumeradas, este estudo também investigou uma questão de pesquisa complementar, que foi considerada após a análise prévia dos resultados obtidos na análise das hipóteses: (Q₁) Quais os elementos de *game design* são mais apropriados para aplicação nas simulações interativas do grupo PhET? Essa questão está relacionada com o quinto objetivo específico declarado anteriormente.

1.6 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Mayer e Johnson (2010) revisaram pesquisas sobre o desenvolvimento da área de Jogos Digitais Educacionais e destacam que já há um número grande de publicações para justificar o uso dos jogos em sala de aula. Porém, no cenário atual, ainda faltam estudos empíricos sobre o impacto dos jogos digitais no resultado de aprendizagem dos estudantes. Os autores também comentam sobre a falta de

pesquisas empíricas com orientações que auxiliem o desenvolvimento de jogos digitais educacionais. Dessa maneira, esta pesquisa busca uma metodologia empírica que possa favorecer a área, investigando aspectos de *game design* instrucional, atendendo ambas as observações levantadas por Mayer e Johnson (2010).

Dadas as características deste estudo, a abordagem metodológica adotada é categorizada como pesquisa experimental quantitativa, com coleta de dados de desempenho, dados de atitudes e dados observacionais, conforme orientações metodológicas em Creswell (2010).

Nesta tese, as unidades de análise permeiam o contexto da aplicação das simulações do projeto PhET, com e sem a presença da seção de jogo, nas aulas de Física de duas turmas do Ensino Médio Profissionalizante do Instituto Federal do Paraná – Câmpus Telêmaco Borba, em espaços formais e informais de ensino. Neste estudo, o espaço informal é considerado quando os alunos acessam espontaneamente as simulações de casa ou de outros lugares, fora do contexto escolar.

O procedimento metodológico foi aplicado com duas turmas de Ensino Médio com perfis semelhantes. Os alunos participantes foram distribuídos aleatoriamente em um grupo experimental e um grupo de controle. O experimento envolveu a coleta de dados quantitativos e qualitativos, como a aplicação de pós-teste e teste de retenção, além da coleta de dados para a análise das variáveis biográficas e intervenientes. O design experimental de aplicação de cada instrumento é descrito, detalhadamente, na seção de metodologia.

1.7 PRODUTO DIDÁTICO

Este trabalho também envolveu a elaboração de um produto didático: um portal eletrônico “*Física Games*⁶” com versões modificadas das simulações interativas do projeto PhET, acompanhado de um guia prático que ensina como criar novas versões de simulações.

As simulações no portal eletrônico possuem a adição de elementos de *game design* sociointerativos. Trata-se de placares para as pontuações obtidas pelos

⁶ Física Games. Disponível em: <<http://fisicagames.com.br>>. Acessado em 07 de julho de 2018.

estudantes nas seções dos jogos presentes em cada uma das simulações disponibilizadas. No portal, há uma página que mostra apenas as pontuações obtidas pelos alunos nas últimas 24 horas, permitindo que professores utilizem o recurso em suas aulas aproveitando esse recurso toda a vez que utilizar o portal.

Além das simulações disponibilizadas, esta pesquisa também fornece um material instrucional que visa incentivar a produção de novas simulações PhET, dividido em duas partes: programação básica e programação avançada. O material “Guia Prático de Programação de Simulações Phet⁷” aborda os passos para a preparação de um ambiente de desenvolvimento que envolve aplicações e conhecimentos técnicos como: *Javascript, Git, RequireJs, NPM, http-server, Grunt.js, PHP, MySQL, jQuery e Ajax*. O uso de cada uma dessas aplicações no desenvolvimento das simulações PhET é explicado no guia prático no formato de tutorial passo a passo com *links* de referência. O guia é disponibilizado com licença *Creative Commons – Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional*.

Futuramente, esse portal receberá novas simulações e jogos digitais educacionais, conforme resultados do projeto de pesquisa em andamento no Instituto Federal do Paraná – Campus Telêmaco Borba, que visa ao incentivo de produção de jogos digitais educacionais utilizando os recursos do projeto PhET. O portal “*Física Games*” já pode ser acessado e utilizado por professores e estudantes da mesma maneira que ocorre com as simulações do projeto PhET.

1.8 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

Esta tese está organizada em nove capítulos. O primeiro capítulo é composto por essa introdução que apresenta o contexto de estudo, o objetivo de pesquisa, as hipóteses norteadoras e uma breve descrição da metodologia adotada. O segundo capítulo discorre sobre o uso de simulações computacionais no ensino de Física, em especial, as simulações do projeto PhET, as quais possuem concepção de ensino baseada na aprendizagem pela descoberta guiada.

O terceiro capítulo aborda a Teoria da Carga Cognitiva, apresentando os conceitos principais da teoria e suas origens nas pesquisas desenvolvidas por Sweller,

⁷ Guia Prático de Programação de Simulações Phet. Disponível em: <<http://fisicagames.com.br/index.php/desenvolvimento/>>. Acessado em: 22 de julho de 2017.

1988 e Miller (1956). Após a apresentação dos principais conceitos, o texto aborda a aplicação dessa teoria em atividades de design instrucional. Por último, o capítulo discorre sobre os resultados da aplicação da ciência cognitiva na compreensão da aprendizagem baseada em jogos digitais com referência nos relatos de Mayer 2014, que possui uma abordagem sobre esse assunto baseada em evidências empíricas.

O quarto capítulo discute sobre aspectos pedagógicos envolvidos presentes nas pesquisas sobre jogos digitais educacionais; iniciando com uma apresentação de resultados obtidos na área em pesquisas realizadas na década de 1980 e, contrapondo, com os resultados atuais, baseando-se em pesquisas de estado da arte da área de jogos digitais educacionais. Para complementar, o quinto capítulo discute sobre a relação entre os jogos digitais educacionais e o conceito de *Homo Ludens*, proposto por Huizinga (2000).

A metodologia utilizada nesta pesquisa é descrita no Capítulo 6, a qual adota um projeto experimental de métodos quantitativos conforme orientações em Creswell (2010). Considerando que a pesquisa envolve uma investigação sobre a presença de uma característica específica em jogos digitais educacionais, a metodologia também é delineada com referência nas experiências metodológicas descritas por Mayer (2014). Neste capítulo, são detalhados os instrumentos utilizados para coleta de dados e a sequência de aplicação de cada um desses instrumentos.

Os resultados obtidos com a coleta de dados em cada etapa experimental são apresentados no Capítulo 7. A discussão dos resultados é realizada no capítulo 8, o qual é organizado em seções conforme as quatro hipóteses levantadas nesta pesquisa. O capítulo 9 é composto pelas conclusões obtidas nesta pesquisa, além de discussões sobre as possíveis generalizações dos resultados e das possibilidades de trabalhos futuros.

2 APRENDIZAGEM BASEADA EM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Nas últimas décadas, pesquisas na área de design instrucional contribuíram para a inserção de novas tecnologias no processo de ensino e aprendizagem, proporcionando novas fronteiras para professores e estudantes.

No ensino de Física, pesquisas sobre a aprendizagem auxiliada por computador ganhou destaque no início da década de 1980 e teve grandes avanços no início do século XXI, acompanhando os investimentos em tecnologias da informação e comunicação (TIC), e da implantação de laboratórios de informática em escolas públicas e privadas.

Esquembre (2002), no seu levantamento do estado da arte do tema, identificou diferentes possibilidades do uso dos computadores no ensino de Física, com base em publicações até o início do século XXI. Após a análise das publicações selecionadas, o autor classificou o uso dos computadores no ensino de Física em cinco categorias: (1) computador como ferramenta de aquisição e manipulação de dados; (2) *software* multimídia; (3) micromundos e simuladores; (4) computador como ferramenta de modelagem; e (5) telemática e Internet.

Dessas categorias, este trabalho destaca o uso dos micromundos e simuladores pela potencialidade e variedade de oportunidades em auxiliarem o ensino de Física. Para Jimoyiannis e Komis (2001), os simuladores são capazes de promoverem, para os estudantes de Física, diferentes oportunidades para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem, como seguem aqui adaptadas:

- auxiliam no processo de ensino e aprendizagem de fenômenos e leis da Física por meio da aprendizagem por testes de hipóteses ou ideias;
- permitem isolar e manipular parâmetros específicos que facilitam a observação e interpretação de conceitos físicos;
- apresentam uma variedade de formas de representações (figuras, animações, gráficos, vetores e dados numéricos) que ajudam no entendimento e na visualização de conceitos básicos, relações entre variáveis e etapas de processos físicos;

- permitem formas para expressar as representações abstratas e os modelos mentais dos estudantes em relação a um fenômeno da Física; e
- facilitam a investigação de fenômenos que são difíceis de reprodução em laboratório didático, por serem extremamente complexos, tecnicamente difíceis ou perigosos, por consumirem muito tempo, exigirem altos custos ou por ocorrerem em escalas de tempo e espaço inviáveis para observação direta.

A escolha do uso do computador como recurso para auxiliar o ensino de Física pode fazer a diferença em vários casos. Alguns casos citados por Gursac (2001) são apresentados a seguir, por Ribeiro (2011), algumas referências complementares foram acrescentadas e aqui atualizadas:

- criação de imagens que não podem ser filmadas por uma câmera, como a estrutura de um átomo (MELEIRO; GIORDAN, 2003);
- criação de vídeos que não são fáceis de se obter, como a vista do sistema solar de um ponto distante no espaço (YAIR; LITVAK, 2001);
- reprodução de eventos com alto custo ou risco, como explosões e colisões (BACKLUND *et al.*, 2007);
- produção de imagens em movimento a partir de materiais gráficos, como fotografias, esquemas e mapas (TORII; HAVLENA; PAJDLA, 2009);
- transformação de eventos complexos em imagens gráficas mais básicas (SANCHO; LUIS, 2008);
- descrição detalhada de fenômenos da natureza (FEDKIW; STAM; JENSEN, 2001);
- ilustração de fenômenos baseados em experiências mentais ou, como são conhecidas na expressão alemã, “Gedankenexperiment”, como as propostas pelo físico Albert Einstein usadas para explicar a Teoria da Relatividade (CARR; BOSSOMAIER; LODGE, 2007);
- animação imaginária, como a reprodução de algumas concepções erradas da natureza descritas por filósofos da Grécia Antiga (ROHLING *et al.*, 2002);

- simulação de experimentos de laboratório (WIEMAN, C. E. *et al.*, 2010);
e
- produção de imagens realísticas e passeios virtuais em locais a que não se têm acesso (ATTARDI; ROGERS, 2015), (KELC, 2012).

Os exemplos e as oportunidades de utilização do computador no ensino de Física citados mostram que este recurso pode ser explorado em pesquisas na área de Ensino de Ciência com o objetivo de aprimorar a assimilação dos alunos de conceitos da Física, como no caso das simulações do projeto PhET.

2.1 O PROJETO PHET: PHYSICS EDUCATION TECHNOLOGY

Atualmente, um dos projetos mais relevantes de produção de simulações interativas para o ensino de Física é o projeto PhET da Universidade do Colorado, que produz e testa simulações para a promoção deste formato de recurso didático. Na produção das simulações, o grupo de pesquisadores do projeto PhET busca compreender as seguintes questões⁸:

1. Que características tornam estas ferramentas de aprendizagem eficazes e por quê?
2. Como os alunos se envolvem e interagem com essas ferramentas para aprender, e quais as influências desse processo?
3. Quando, como e por que essas ferramentas são eficazes em uma variedade de ambientes de aprendizagem?

As simulações criadas no projeto PhET levam em conta algumas características de aprendizagem específicas. Wieman *et al.* (2008), pesquisadores membros do projeto PhET, consideram importante que as simulações promovam o processo de aprendizagem no qual o aluno constrói o seu conhecimento científico enquanto explora uma simulação PhET. Além disso, também consideram importante que o aluno se sinta motivado para a atividade. Para os autores, as simulações PhET atendem ambas essas considerações.

Segundo Wieman *et al.* (2008), as simulações são elaboradas com o objetivo de simular o ambiente de laboratório de um pesquisador, fornecendo aos alunos

⁸ Projeto PhET: Physics Education Technology. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/research https://phet.colorado.edu/pt_BR/research>. Acessado em: 09 de janeiro de 2016.

versões virtuais dos materiais e das ferramentas comumente encontrados na bancada de um cientista. A proposta do recurso do projeto PhET é que o aluno interaja livremente com esses objetos virtuais e descubra as relações entre as variáveis de um fenômeno científico.

Para entender como os alunos interagem com as simulações, o grupo PhET realizou mais de 250 entrevistas individuais no formato de pensamento em voz alta (WIEMAN, CARL E; ADAMS; PERKINS, 2008). Neste formato de entrevista, os pesquisadores fazem anotações enquanto os alunos narram em voz alta seus pensamentos durante a utilização das simulações.

Com a análise desses dados, os autores descreveram que, primeiramente, os alunos perceberam as simulações como um recurso divertido e intelectualmente envolvente. Algumas características específicas das simulações foram identificadas como responsáveis por promoverem o envolvimento dos alunos, são elas: (i) ambiente visual dinâmico diretamente controlado pelo usuário, (ii) desafios que não são nem difíceis nem fáceis demais, e (iii) um visual suficientemente complexo para despertar curiosidade, mas sem exageros. No processo de criação das simulações, os itens (i) e (ii) são testados com os alunos para verificar a qualidade das simulações. Os testes com alunos ocorrem diversas vezes até a simulação atingir um nível satisfatório de qualidade e funcionamento.

Outra observação citada em Wieman *et al.* (2008) é que os alunos não adquirem conhecimento de ciência com as simulações apenas observando passivamente. Isso é, boa parte do processo de aprendizagem ocorre quando os alunos interagem ativamente com a simulação.

Considerando o objetivo das simulações em proverem um ambiente virtual para aprendizagem científica, o grupo de pesquisadores do PhET, em Finkelstein *et al.* (2005), realizaram um estudo comparativo entre o ensino de Física com experiências reais em laboratório didático e experiências virtuais no computador, com as simulações interativas. Esse estudo comparativo foi realizado com alunos do segundo semestre de um curso introdutório de Física com o conteúdo de corrente elétrica. O experimento foi realizado com dois grupos de alunos, um com a aplicação de equipamentos reais e outro com as simulações. O objetivo do estudo foi avaliar a eficácia de substituir completamente os equipamentos tradicionais por simulações em computador. As questões investigadas no estudo comparativo foram:

- (1) Simulações virtuais podem substituir equipamentos reais de laboratórios no ensino Física de graduação?
- (2) O estudante é capaz de aprender os mesmos conceitos que observa em um laboratório real de forma satisfatória com as simulações interativas virtuais?
- (3) O que é perdido? Os estudantes são capazes de entender o funcionamento de equipamentos reais mesmo trabalhando com equipamentos virtuais?

A simulação utilizada no estudo comparativo em Finkelstein *et al.* (2005) foi o Kit de Construção de Circuitos (DC), que simula o comportamento de circuitos elétricos simples em um ambiente aberto para a manipulação de componentes e medidores eletrônicos, como resistores, lâmpadas, fios elétricos e baterias. Participaram do estudo 363 estudantes em um período de 15 semanas. Os alunos foram divididos e receberam o diagrama de circuito para montar e analisar, um grupo teve que montar o circuito no simulador e o outro grupo no laboratório com componentes reais. Os pesquisadores coletaram os seguintes dados: registros de observação dos alunos durante a atividade, o tempo gasto dos alunos na montagem do circuito, a descrição dos alunos do funcionamento do circuito e o resultado de um pós-teste com três questões sobre o circuito.

O estudo comparativo revelou que os alunos conseguem montar o circuito no simulador em um menor tempo que com componentes reais ($p < 0,1$). A descrição do funcionamento do circuito pelos alunos que usaram o simulador foi, estatisticamente ($p < 0,03$), melhor que a descrição dos alunos do grupo de controle. No exame final, com 26 questões, três eram específicas sobre o circuito tratado no estudo comparativo. Nas questões não relacionadas com o circuito, os dois grupos não apresentaram diferença significativa, mas, nas três questões específicas, o grupo com a aplicação do simulador apresentou um rendimento superior, com nível de significância $p < 0,002$. O mesmo experimento foi reaplicado, porém com um grupo menor ($N = 80$), e o mesmo resultado encontrado com o teste foi observado.

O experimento de Finkelstein *et al.* (2005) mostra que é válido usar as simulações computacionais no ensino de Física, inclusive podendo resultar em uma melhor compreensão de conceitos pelos estudantes. Uma das explicações para esse resultado foi que as simulações permitem representar visualmente os conceitos de forma mais clara para os estudantes. Como exemplo, a representação visual da corrente elétrica, que é mostrada na simulação para auxiliar na aprendizagem dos conceitos de circuito elétrico.

Outra questão sobre as simulações discutida pelo grupo PhET, investigada por Wieman *et al.* (2010), é que as simulações não são recursos autônomos de

aprendizagem, isto é, capazes de substituir a presença de um professor. Segundo os pesquisadores do grupo PhET, para que as simulações cumpram seus objetivos pedagógicos, é importante seguir uma estratégia de aplicação baseada na aprendizagem pela descoberta. A estratégia de aplicação sugerida pelo grupo PhET inclui as seguintes orientações⁹:

1. Defina metas de aprendizagem específicas;
2. Dê apenas indicações mínimas sobre o uso da simulação;
3. Faça ponte com os conhecimentos prévios dos alunos (ensinar a partir do que o aluno já sabe);
4. Conecte a aprendizagem com as experiências do mundo real;
5. Encoraje atividades de aprendizagem colaborativa;
6. Não restrinja a exploração do aluno;
7. Oriente os alunos para buscarem raciocínios que façam sentido na forma de palavras e diagramas (múltiplas representações);
8. Ajude os estudantes a monitorarem as suas aprendizagens.

Segundo Wieman *et al.* (2010), as simulações também podem ser utilizadas para ajudar na introdução de um novo tópico, construir conceitos ou habilidades, reforçar novas ideias e prover uma revisão final. As situações de ensino que esses autores apontam para o uso das simulações são: (1) durante as aulas, (2) em atividades de grupo; (3) em tarefas de casa; e (4) em atividades de laboratório.

Na aplicação das simulações com turmas em sala de aula, Wieman *et al.* (2010) observaram que o recurso resulta em um maior número de questionamentos espontâneos feitos pelos alunos. Inclusive, para as tarefas de casa, o professor pode passar questões desafios para serem respondidas com o auxílio das simulações. Já nas atividades de laboratório, as simulações podem explorar situações que não são possíveis de serem reproduzidas com os materiais de um laboratório didático.

Independentemente do contexto da aplicação, as simulações interativas do grupo PhET possuem algumas características próprias elaboradas, propositalmente, para permitir que o aluno explore livremente as suas funções. Por isso, é importante que o professor forneça para os alunos somente as informações mínimas necessárias sobre o funcionamento das simulações. Caso contrário, a aprendizagem pode ser

⁹ Atividades com Simulações Interativas PhET. Disponível em: <http://phet.colorado.edu/pt_BR/teaching-resources/activity-guide>. Acessado em: 10 de janeiro de 2016.

prejudicada se as orientações do professor forem muito explícitas ou exageradamente estruturadas (WIEMAN, C. E. *et al.*, 2010).

Para compreender melhor como os alunos utilizam as simulações, Adams (2010), pesquisador membro do grupo PhET, realizou um estudo com mais de 100 estudantes voluntários e gravou mais de 300 entrevistas no formato pensamento em voz alta. Essas entrevistas foram utilizadas para orientar o processo de melhoria da qualidade das simulações. Após cada melhoria, novas fases de entrevistas eram realizadas. Durante as entrevistas, Adams (2010) preocupou-se em conhecer o processo cognitivo do aluno durante a sua interação com a simulação. Mesmo quando o aluno não sabia que palavra usar para explicar alguma coisa em voz alta, ainda era possível perceber visualmente a sua ideia por meio de sua interação com a simulação.

Essa técnica de entrevistas e observações também foi utilizada para investigar a função do professor em uma aula com o uso das simulações. Adams (2010) realizou uma experiência controlada para comparar duas abordagens de aplicação das simulações conforme as estratégias de ensino baseadas em: Questões Conceituais Abertas (*Open Conceptual Questions*) e Orientação Branda (*Gentle Guidance*).

Na experiência com a abordagem de Questões Conceituais Abertas, os alunos recebem uma ou duas questões conceituais para responderem com o apoio das simulações. Nessa abordagem, o professor não passa explicações de como a simulação funciona. Na abordagem de Orientação Branda, o professor explica como funciona cada elemento do simulador e deixa os alunos livres para explorarem a Física envolvida. Na pesquisa, além desses dois grupos, um terceiro foi formado para receber uma variação da abordagem de Orientação Branda, com explicação incompleta do funcionamento da simulação, ou seja, neste caso, foi propositalmente omitida a explicação de alguns elementos interativos.

Nessa experiência comparativa, Adams (2010) utilizou a mesma simulação para os três grupos, o Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday¹⁰. Na abordagem de Questões Conceituais Abertas, as questões foram: “O ímã pode afetar o elétron?”; e “Quais são as maneiras que você pode criar um ímã?”. Essas questões foram feitas antes dos alunos terem contato com o simulador. No experimento, com a análise das

¹⁰ Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday. Disponível em: <http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday>. Acessado em: 11 de janeiro de 2016.

entrevistas, foi observado que cerca da metade dos alunos fazem uma revisão espontânea das questões em busca da resposta enquanto utilizam o simulador, porém a outra metade acaba esquecendo completamente das questões iniciais.

No outro grupo, com abordagem de Orientação Branda, as questões são mais voltadas para os alunos entenderem a função de cada elemento interativo do simulador, como exemplo: “Para que serve o botão X?”; “O que acontece se mover a tal barra?”; ou “Para que serve o painel Y?”. Um problema observado nesta abordagem é que os alunos ficam aguardando o próximo passo e não fazem a exploração espontânea ou a elaboração de esquemas mentais próprios. O terceiro grupo recebeu uma abordagem semelhante à Orientação Branda, mas com a remoção de duas informações sobre o funcionamento de três elementos interativos da simulação.

Constatou-se, com os três grupos, que, no caso da abordagem com Questões Abertas, para a qual não há orientações de como usar a simulação, os alunos interagem bem com a simulação em busca das respostas para as questões propostas e notam a presença de todos os elementos funcionais da simulação. No grupo que recebe Orientações Brandas sobre as funcionalidades de cada elemento, os alunos exploram um pouco mais cada elemento presente na simulação. Enquanto que os alunos terceiro grupo, que recebem orientações parciais, realmente, não notam a presença de alguns elementos e não exploram bem a simulação.

Adams (2010) também observou nas entrevistas que, no caso da abordagem com Questões Conceituais Abertas, a interação entre os próprios estudantes durante o uso da simulação influencia de forma positiva o comportamento dos alunos.

Assim, a pesquisa resultou na evidencia de que a abordagem mais bem-sucedida ocorre quanto é utilizada uma abordagem de concepção baseada na *Aprendizagem pela Descoberta Guiada* e com os estudantes organizados em grupo de dois ou quatro. Pois, desta maneira, os alunos vão além das questões conceituais iniciais e exploram questões próprias que vão surgindo da interação entre os próprios alunos em suas conversas.

2.2 APRENDIZAGEM PELA DESCOBERTA GUIADA NO CASO PHET

O grupo de pesquisadores do projeto PhET possuem dois objetivos com as simulações interativas: aumentar o engajamento dos estudantes e melhorar a aprendizagem (PERKINS *et al.*, 2006). Para o desenvolvimento das simulações, o grupo PhET utiliza como referencial teórico pedagógico concepções de ensino propostas a partir do relato de experiência de docência descrito por Minstrell e Kraus (2005).

Esse relato de docência é uma proposta de concepção de ensino baseada na aprendizagem pela descoberta guiada, que foi construída dialogicamente pelos autores, sem fazer referências a outros trabalhos da área ou teorias de aprendizagem. Ou seja, muitas das ideias, para a definição de aprendizagem pela descoberta, apresentadas por Minstrell e Kraus (2005), são encontradas em trabalhos de teóricos clássicos da Educação, que não são referenciados pelos autores. Por exemplo, Burke e Lawrence (2009) comentam que a aprendizagem pela descoberta foi construída das ideias de John Dewey, Jean Piaget, Jerome Bruner e outros construtivistas. Mesmo assim, neste capítulo, decidiu-se por apresentar as concepções de aprendizagem pela descoberta definidas por Minstrell e Kraus (2005), por serem consideradas como diretrizes pedagógicas na construção das simulações PhET, mas, vale ressaltar, que muitas dessas definições possuem origens em pesquisas anteriores sobre teorias de aprendizagem, desenvolvidas na área de Psicologia Educacional.

As concepções de ensino de aprendizagem pela descoberta guiada elaboradas por Minstrell e Kraus (2005) estão presentes em um capítulo do livro *How Students Learn: Science in the Classroom*, publicado pelo Conselho Nacional de Pesquisa estadunidense (EUA), que é formado por um grupo de trabalho da Academia Nacional de Ciência, Engenharia e Medicina. Este suporte teórico pedagógico é indicado como referência base para professores de Ciência, por apresentar princípios de ensino e aprendizagem de fácil aplicação em sala de aula.

Além de Minstrell e Kraus (2005), os pesquisadores do grupo PhET também utilizaram na fundamentação pedagógica das suas simulações a abordagem sociocognitivista de Dweck (1989 apud Adams *et al.*, 2008) que considera a motivação como fator importante em processos de aprendizagem que exigem habilidades cognitivas complexas. Isso é, no ensino com as simulações, a motivação do estudante

favorece o engajamento e a exploração inerentes ao processo de aprendizagem pela descoberta.

A concepção de aprendizagem pela descoberta guiada apresentada em Minstrell e Kraus (2005) é declarada com base em aulas de Física ministradas por um dos autores sobre o conceito de Gravitação. Assim, os princípios dessa concepção são declarados e discutidos em meio aos relatos das aulas ministradas.

Em uma das aulas relatadas pelos autores, os alunos descreveram que a queda dos corpos não aconteceria em uma sala hipotética sem a presença de ar, pois os objetos iriam sair voando pela sala. Continuando o diálogo com os alunos, o professor descobriu que essa ideia prévia foi influenciada por cenas de filmes de ficção-científica. Dessa situação, os autores declaram uma primeira concepção de ensino: *é importante considerar o conhecimento prévio do aluno antes de abordar um novo conteúdo.*

Em outro momento da aula de Gravitação, Minstrell e Kraus (2005) comentam sobre o problema dos livros didáticos darem um enfoque para aceleração da gravidade somente nos casos ideais. Porém, os alunos sabem, com base em suas observações cotidianas, que muitos objetos não caem com a mesma aceleração, como exemplo: a queda de uma pedra e a queda de um papel. Diante disso, os autores declaram que *o conhecimento deve ser construído em um processo ativo de aprendizagem*, no qual o professor deve ajudar o aluno quando este se depara com inconsistências na compreensão de conceitos científicos.

Em geral, na aprendizagem pela descoberta proposta por Minstrell e Kraus (2005), os professores precisam respeitar os alunos e suas capacidades de aprendizagem, assim como os alunos devem respeitar o professor como o líder da instrução. Os alunos precisam ser persistentes em aprender e confiar no papel do professor como responsável por guiá-los no processo de aprendizagem. Para auxiliar o professor na tarefa de reconhecimento daquilo que os alunos já sabem, os autores sugerem o uso de questões iniciais de diagnóstico.

A interação entre os próprios alunos durante a aula é outro aspecto importante na proposta de aprendizagem pela descoberta guiada, pois os estudantes ficam mais dispostos em expressar suas ideias em um clima de compartilhamento, diálogo e respeito. O professor deve permitir que os alunos façam comentários em voz alta das suas ideias sobre o conteúdo, mesmo com inconsistências ou erros conceituais.

Após o reconhecimento das ideias prévias do estudante, o professor deve prosseguir com uma revisão dos argumentos dos alunos e fazer apontamentos para que eles próprios percebam seus erros. Ou, então, o professor pode ajudar criando maneiras para que os alunos monitorem o seu próprio aprendizado durante uma atividade.

Minstrell e Kraus (2005) relatam que, em suas práticas pedagógicas, utilizam uma ferramenta específica para diagnosticar o progresso da aprendizagem dos alunos, no caso, o programa de computador intitulado Diagnoser¹¹. Os alunos acessam esse sistema pela Internet e respondem questões sobre o conteúdo, assim, tanto o professor como os alunos são capazes de identificar os principais problemas na aprendizagem de um conteúdo.

Na aprendizagem pela descoberta sugerida por Minstrell e Kraus (2005), as atividades devem ser elaboradas de maneira que o aluno possa sugerir e testar suas hipóteses sobre um fenômeno. Os autores relatam que deixar os alunos explorarem livremente uma atividade proporciona oportunidades de aprendizagem inclusive para o professor. Essa é uma situação bem característica da aprendizagem por descoberta guiada, pois *o professor deve estar ciente de que também é mais um aprendiz envolvido no processo de ensino e aprendizagem.*

O professor, por ter mais experiência e conhecimento, auxilia os alunos fornecendo os termos técnico-científicos para sumarizar as ideias e facilitar a comunicação. Além disso, o professor pode ajudar os alunos com dificuldades em entender um fenômeno fazendo, por exemplo, algumas analogias com situações que os aprendizes já tenham um conhecimento prévio.

O objetivo é nunca dar a resposta pronta para as questões. Mas, sim, guiar o aluno na busca pela solução, dando oportunidades para que ele mesmo possa testar as suas ideias. Uma maneira para dar esta oportunidade é utilizando recursos multimídias. Mesmo no caso de mídias passivas, como os filmes, o professor pode criar questões desafiadoras para instigar os alunos a participarem da atividade e, assim, promover argumentações conflitantes entre os alunos e o professor (MINSTRELL; KRAUS, 2005).

No ensino de Física, existe uma diferença entre obter o resultado e a conclusão. O resultado de um experimento pode ser encontrando manipulando

¹¹ Diagnoser. Disponível em: <<http://www.diagnoser.com/>>. Acessado em: 13 de janeiro de 2016.

adequadamente um equipamento conforme instruções, porém, para chegar à conclusão, é necessário fazer a análise e reflexão dos resultados encontrados, ou seja, fazer a ponte entre o concreto e as generalizações abstratas. Depois de alcançadas as conclusões, Minstrell e Kraus (2005) sugerem que o professor pode avaliar se os alunos realmente aprenderam oferecendo *oportunidades para que eles façam a transferência do conhecimento adquirido em novas situações*.

Além do enfoque na aprendizagem pela descoberta guiada, dado pelos desenvolvedores do projeto PhET, as simulações interativas do Grupo São também analisadas com diferentes aportes teóricos em pesquisas na área de Ensino. Seguem três exemplos: (1) Oliveira *et al.* (2014) consideraram a Teoria da Ação Mediada de James V. Wartsh para analisar as simulações como recursos educacionais abertos em uma proposta didática sobre o ensino de gases ideais na disciplina de Física do Ensino Médio. (2) Renken e Nunez (2013) utilizaram as simulações PhET em estudo para comparar a aprendizagem baseada em simulação computacional com a concepção de aprendizagem experimental prática, ou "*hands on learning*". (3) Mello e Gobara (2014) avaliaram uma proposta de ambiente virtual de aprendizagem com as simulações com base na teoria de Vygotski. Ou seja, as simulações PhET são, comumente, objetos de pesquisa na área de Ensino de Ciência em pesquisas exploratórias que buscam compreender as alternativas de uso deste recurso didático.

As simulações PhET também são sugeridas como material de aprendizagem complementar em sequências didáticas no ensino de Física. Como no caso de Pereira e Schuhmacher (2013), que investigaram uma proposta de sequência didática para o ensino de Física Moderna e Contemporânea para alunos do Ensino Médio; esta proposta envolveu concepções de ensino *Hands-on-Tec* e a Teoria da Aprendizagem Significativa. No final da sequência didática, os professores sugeriram o uso de uma simulação PhET para os alunos poderem visualizar uma representação do modelo do átomo de hidrogênio. Essa simulação permitiu aos alunos interagirem com os níveis de energia do átomo de hidrogênio, podendo variar os estados quânticos e observar a emissão de fótons.

2.2.1 Evidências de aprendizagem pela descoberta guiada

Os pesquisadores do grupo PhET descrevem, em suas publicações e no portal do projeto, que as simulações possuem como objetivo promoverem a aprendizagem pela descoberta guiada. A relação entre essa proposta de aprendizagem pela descoberta guiada e as simulações PhET foi tema de pesquisa nos seguintes trabalhos: Rutten, Van Der Veen e Van Joolingen (2015); Chen (2010); e Stephens e Clement (2015).

Rutten, Van Der Veen e Van Joolingen (2015) realizaram um experimento pedagógico para verificar o resultado de uma abordagem em sala de aula baseada na aprendizagem pela descoberta guiada com o uso das simulações computacionais. O objetivo da pesquisa não foi investigar as simulações em situações de uso geral, mas, sim, conhecer os processos de ensino e aprendizagem da aplicação de simulações somente nos casos em que estão dentro de uma concepção de ensino de aprendizagem pela descoberta. Os resultados do estudo foram levantados baseados em três aspectos: objetivos de aprendizagem, atitudes dos estudantes e atitudes dos professores.

A Aprendizagem pela Descoberta não possui uma definição clara na literatura, apresentando diferentes descrições conforme o contexto da sua origem. No contexto da aprendizagem auxiliada por simulações computacionais, a Aprendizagem pela Descoberta Científica é discutida por de Jong e Van Joolingen (1998), que publicaram uma pesquisa do estado da arte dessa abordagem. Nessa pesquisa, os autores destacam que o sucesso da proposta de aprendizagem pela descoberta com as simulações é devido ao fato do aluno poder modificar as variáveis de um fenômeno para testar a sua hipótese, em um processo sistemático de descoberta.

Rutten, Van Der Veen e Van Joolingen (2015) citam o processo de aprendizagem baseado em descoberta guiada com simuladores como uma atividade composta de três fases: prever-observar-explicar, ou ciclo P-O-E. Isso não significa que a abordagem seja limitada apenas nestas três fases. Para os autores, a identificação dessas três etapas do ciclo P-O-E em uma aula de Ciência é suficiente para indicar a presença de uma concepção de ensino baseada na aprendizagem pela descoberta guiada.

Para verificar a presença desse ciclo com o uso das simulações, Rutten, Van Der Veen e Van Joolingen (2015) realizaram uma pesquisa na Holanda com 24

professores de Física e 501 estudantes do ensino básico. Um primeiro critério para seleção das aulas a serem observadas no estudo foi a verificação do plano de aula dos professores, considerados apenas os que previam o uso de, pelo menos, uma simulação interativa. Em alguns casos, os professores fizeram uso de simulações de outros sites, diferentes do PhET, porém isso não foi um problema, pois o estudo não focou nas simulações em si, mas, sim, no emprego deste recurso quando a concepção utilizada é baseada na aprendizagem pela descoberta guiada. A coleta de dados envolveu três instrumentos: (1) entrevista semiestruturada com os professores, feita após a aula com 12 perguntas; (2) observação da aula, registrada com duas câmeras posicionadas no fundo da sala; e (3) questionários com 27 itens e uma questão aberta, entregues aos estudantes nos últimos 15 minutos da aula.

Cada aula observada no experimento produziu um conjunto de dados que foram analisados pelos autores atribuindo pontos conforme duas escalas adotadas no estudo: a taxa de resposta dos estudantes e a pontuação de itens de identificação do ciclo P-O-E. Para o teste de confiabilidade da análise das 25 lições observadas entre os avaliadores, com os códigos definidos, os pesquisadores utilizaram o teste de alfa de Krippendorff.

Para o questionário, com 27 itens do tipo escala de Likert de cinco pontos, foi empregada uma análise baseada na fatoração Alfa e rotação oblíqua normalizada. A confiabilidade foi calculada com alfa de Cronbach, usado como critério para exclusão de itens não relevantes. A questão aberta foi analisada com a verificação de frequência de palavras-chave.

A análise dos dados de diferentes fontes foi realizada com o objetivo de entender as relações entre as variáveis envolvidas no estudo. Para isso, o coeficiente de correlação de Pearson foi calculado entre oito variáveis de estudo. A análise final destaca, no contexto da prática de ensino, quatro relações entre a aplicação de simulações interativas e a concepção de ensino baseada na aprendizagem pela descoberta:

- 1) A participação ativa dos estudantes está correlacionada positivamente com o fator motivação ($r = 0,43$, p (bilateral) $< 0,05$)¹².

¹² Efeito de correlação de Pearson (r) e valor- p estatístico, explicados em Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009)

- 2) A condução da aula com maior semelhança com o ciclo P-O-E está correlacionada positivamente com o fator *insight* dos alunos, isto é, predisposição para pensar por si mesmos e propor soluções para problemas complexos ($r = 0,50$, $p(\text{bilateral}) < 0,05$).
- 3) Os professores com concepção de ensino mais semelhantes com a proposta de aprendizagem pela descoberta resultam em um maior sucesso no cumprimento dos objetivos de aprendizagem esperados para a aula ($r = 0,55$, $p(\text{bilateral}) < 0,05$).
- 4) Quanto mais a aula se aproxima da abordagem do ciclo P-O-E, menor é a participação ativa dos estudantes na aula. Esta correlação negativa foi observada com significância estatística ($r = -0,45$, $p(\text{bilateral}) < 0,05$) (RUTTEN, VAN DER VEEN E VAN JOOLINGEN, 2015).

A quarta relação é a mais notável, porém pode ser explicada considerando que o número de repostas dadas por um estudante é maior em aulas sem espaço de tempo para a descoberta por reflexão. Já a relação entre a atitude positiva dos alunos em relação à concepção de ensino por aprendizagem pela descoberta corrobora com o encontrado na literatura, como no caso da pesquisa em Chen (2010), que também faz uma crítica às simulações que reduzem os fenômenos físicos em representações muito simplificadas.

2.2.2 Limitações na promoção de pensamento científico com as simulações

Chen (2010) realizou um estudo para investigar a atividade de descoberta científica em ambiente de laboratório virtual. A preocupação de Chen (2010) foi saber se essas atividades são autênticas, ou seja, se os alunos estão realmente “fazendo” ciência com a manipulação de equipamentos e materiais em laboratórios virtuais.

O autor utiliza como orientação de concepção de ensino os apontamentos do Conselho Nacional de Pesquisa (estadunidense), que, nas últimas reformas, defende a inserção de modos científicos de pensar como um dos maiores objetivos da educação. Neste caso, a aplicação de simulações interativas é uma alternativa de recurso para promover o pensamento científico dos estudantes. Inclusive, em alguns casos, os alunos aprendem melhor um conceito científico no laboratório virtual do que no laboratório real, pois os simuladores reduzem elementos de possível distração e

isentam a preocupação do estudante em manipular corretamente os instrumentos sem medo de quebrar ou se machucar (FINKELSTEIN *et al.*, 2005).

Chen (2010) realizou seu estudo para identificar e avaliar os modos de pensamento científicos dos estudantes enquanto aprendem com laboratórios virtuais. A pesquisa investigou na aplicação das simulações a ocorrência de aprendizagem de conhecimentos científicos e a aquisição de modos de pensar cientificamente pelos estudantes.

Para a análise dos modos de pensamento científico, dois modelos foram considerados: modelo hipotético-dedutivo; e o modelo de visão holística de investigação científica. No primeiro, as observações são consequências de hipóteses testadas, as quais são confirmadas ou rejeitadas dependendo dos resultados de um experimento, seguindo um processo de aprendizagem científica na forma: se/então/senão.

A visão holística, tratada na pesquisa de Chen (2010), tem como referencial o trabalho de Pierre Duhem, físico francês e historiador da ciência. Para Duhem (1906 apud Chen, 2010), uma hipótese só é válida para deduzir consequências observáveis quando está vinculada a um conjunto de hipóteses auxiliares. Assim, um experimento nunca refuta uma hipótese isolada, mas sim um grupo inteiro de teorias; diferentemente do modelo hipotético-dedutivo, que não considera a evolução das hipóteses dentro de um conjunto.

No ensino de Física, a visão holística está relacionada com um pensar mais amplo e a verificação mais aprofundada de uma situação conflitante. Como exemplo, o emprego de uma visão holística na realização do experimento de pêndulo simples para verificação da influência da massa no período do movimento deve ser feita com ampla reflexão. Apesar dos livros trazerem para o aluno o caso ideal em que a massa não influencia no período do movimento, em um experimento, isso não é facilmente observado, pois depende de como a massa é presa no pêndulo, da resistência do ar, das forças de momento envolvidas e de demais variáveis não controladas.

Geralmente, o aluno segue as orientações e aceita a versão ideal de um conceito científico em seus experimentos reais, isso acaba por satisfazer rapidamente o modelo hipotético-dedutivo, dando uma falsa impressão de realização bem-sucedida do experimento.

Com a definição desses dois modos de pensamento científico, Chen (2010) avaliou 233 laboratórios virtuais interativos, em cinco websites, todas com

possibilidade de aplicação em nível de Ensino Fundamental e Médio. Dessas, 68 simulações de Física foram selecionadas do projeto PhET.

Todas as simulações foram analisadas e classificadas pelo pesquisador e por um assistente em duas categorias: ideais; e não ideais. Para a verificação da concordância na classificação das simulações, o grau de homogeneidade dos códigos dados pelos avaliadores foi testado pelo coeficiente de kappa de Cohen, dando 0,83 de correlação entre os avaliadores.

Um exemplo de simulação do projeto PhET classificada como não ideal é a simulação Propriedades dos Gases¹³. Essa simulação foi classificada dessa forma por possuir características realísticas no movimento das moléculas de gases. No geral, laboratórios virtuais que apresentam fontes de erros implícitas ou efeitos dissipativos ajustáveis foram classificadas como não ideais.

Após a classificação das simulações, o estudo revelou que 80% dos laboratórios virtuais da amostra são ideais, isto é, sem atritos, sem resistência do ar sem forças dissipativas, sem colisões parcialmente elásticas e ondas sem efeitos de perturbações.

As demais simulações, 20% da amostra, foram classificadas como não ideais, por possuírem algum tipo de dissipação de energia, manipulação de coeficientes de atrito, colisões parcialmente elásticas, fluídos com viscosidade e demais casos.

Outra observação foi que, em 99% das 233 simulações, os estudantes não precisam se preocupar com fontes de erros nem refletir sobre o processo de montagem do experimento (CHEN, 2010).

O resultado da pesquisa de Chen (2010) mostra que as simulações, disponíveis atualmente, favorecem o ensino, principalmente, no modo de pensamento científico hipotético-dedutivo, que, geralmente, é realizado na forma sistemática e com a supervisão de um professor.

Segundo a perspectiva de Chen (2010), este resultado é preocupante, pois não favorece a inserção do modo de pensamento científico holístico. Em laboratórios, os cientistas raramente trabalham em condições perfeitas. Pelo contrário, é comum no “fazer” ciência saber, no mínimo, identificar, se possível também controlar, as variáveis que perturbam a observação de um resultado experimental.

¹³ Simulação Propriedades dos Gases. Disponível em: <http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/gas-properties>. Acessado em: 14 de janeiro de 2016.

O resultado de Chen (2010) é uma crítica sobre a aplicação das simulações interativas, as quais devem ser inseridas no ensino de forma consciente pelo professor em relação ao modo de pensamento científico que deseja proporcionar aos seus alunos. A utilização de laboratórios virtuais deve ser pensada como um complemento no currículo e não como uma substituição dos experimentos reais, pois, como visto, na maioria dos casos, não aborda um modo de pensar holístico.

2.3 FORMAS DE APLICAÇÃO DAS SIMULAÇÕES PHET EM SALA DE AULA

A forma de aplicação das simulações interativas em sala de aula, com concepção de ensino caracterizada pela descoberta guiada, foi pesquisada por Stephens e Clement (2015), que investigaram as diferenças entre aplicar as simulações com pequenos grupos e com a sala inteira.

A aprendizagem pela descoberta guiada leva em conta o conhecimento prévio do aluno e promove tanto as relações professor-estudante como as relações estudante-estudante. Esta concepção pode ser empregada com a turma inteira ou com a turma organizada em pequenos grupos.

Para analisar a diferença entre aplicação com a turma inteira e em pequenos grupos, Stephens e Clement (2015) realizaram um estudo misto exploratório com dados quantitativos e qualitativos com oito turmas e dois professores de Física do Ensino Médio, em três níveis diferentes de conhecimento, do preparatório ao avançado. O principal instrumento de coleta de dados foi a gravação das aulas com câmera de vídeo, complementada com pré/pós-testes de conhecimento do conteúdo de Física da aula.

Nas aulas com a aplicação para a turma inteira, a simulação foi projetada na frente da sala para facilitar a visualização e participação de todos os estudantes. Nas aulas em grupo, a simulação foi utilizada em computadores com dois a quatro alunos por computador. Em ambas as condições, os professores utilizaram o mesmo conjunto de atividades. O experimento foi organizado em 8 intervenções: 4 aplicações com sala de aula tradicional, professor na frente da classe; e 4 aplicações com os alunos organizados em grupo. Em todos os casos, a simulação utilizada foi a *Energy Skate Park*, disponível no portal do projeto PhET.

Para os resultados dos pré/pós-testes, com questões de múltipla escolha e questões conceituais, os pesquisadores utilizaram a análise de variância (ANOVA) para fazer as 4 comparações entre a aplicação com a turma inteira e com a turma em grupos.

Em duas das comparações, estatisticamente, o teste resultou em um coeficiente de efeito de amostra pequeno (0,04 e 0,16). Nas outras duas comparações, a diferença positiva na pontuação entre pré/pós-teste foi estatisticamente maior para o caso da aplicação da simulação com a turma inteira ($p < 0,05$ para os dois casos).

Este resultado em favor da aplicação de simulação com a turma inteira não era esperado pelos pesquisadores, isso é, não houve vantagem detectada em trabalhar com os estudantes na condição de pequenos grupos com as simulações interativas. Para uma investigação mais aprofundada do resultado, o experimento contou com a análise qualitativa dos vídeos gravados das aulas.

Os dados qualitativos foram levantados para entender a interação dos estudantes com as simulações e o suporte dado pelo professor nesta interação. Para a análise dos vídeos, foram utilizados mapas de códigos e categorias de observação, os quais foram identificados nos vídeos com o auxílio do *software* específico para transcrição de vídeos Transana¹⁴.

Após a codificação dos vídeos, os pesquisadores encontraram novamente o mesmo resultado, a aplicação da simulação interativa com a turma inteira é mais favorável em relação ao cumprimento dos objetivos de aprendizagem. A análise mostrou que a abordagem com a turma inteira possui vantagens como:

- (1) maior aproveitamento do tempo de aula em discussões sobre conceitos cruciais para aprendizagem;
- (2) maior aproveitamento do tempo da aula para resolver as dificuldades de aprendizagem dos alunos;
- (3) maior número de episódios de utilização de recursos visuais proporcionados pelas simulações em situações pertinentes para a aprendizagem;

¹⁴ Software de transcrição Transana. Disponível em: <<http://transana.org>>. Acessado em: 15 de janeiro de 2016.

- (4) maior evidencia de aproveitamento e influência dos recursos visuais na forma de pensar dos alunos (STEPHENS; CLEMENT, 2015).

Assim, ao contrário do esperado, a pesquisa de Stephens e Clement (2015) revelou resultados que apontam vantagens para a aplicação das simulações com a turma inteira, quando considerado como relevante o cumprimento dos objetivos de aprendizagem previstos para a aula.

Apesar do resultado obtido por Stephens e Clement (2015) ser favorável para o modo de turma inteira, os autores citam que, em pequenos grupos, se percebe maior espontaneidade no comportamento dos alunos na exploração do conteúdo.

Essa característica de espontaneidade na aprendizagem dos alunos equilibra os argumentos e fica como sugestão dos autores fazer um uso misto das duas maneiras de organizar os alunos durante a aplicação das simulações.

2.4 LIMITAÇÕES DAS SIMULAÇÕES DO PROJETO PHET

Como pode ser visto nos trabalhos de Rutten, Van Der Veen e Van Joolingen (2015), Chen (2010), e Stephens e Clement (2015), a concepção baseada na Aprendizagem pela Descoberta Guiada, em cada trabalho, é tratada de diferentes maneiras na relação entre teoria e prática. Isso é uma característica da própria concepção de ensino baseada na Aprendizagem pela Descoberta Guiada, que possui diferentes origens, vertentes e maneiras de ser concebida (LEE, 2012).

Entretanto, o que é comum nos três casos é que as simulações interativas do projeto PhET condizem com a proposta de aprendizagem baseada na descoberta guiada e permitem serem exploradas como recurso que promove o pensamento científico aos alunos.

Ainda de acordo com os trabalhos citados, a aplicação das simulações deve ser empregada com cautela, pois declarar que tais simulações são a solução para o ensino de Física é uma atitude muito precipitada e de pouca reflexão. Conforme visto, existem argumentos críticos em relação à aplicação das simulações, que não chegam a impedir o seu uso, porém deixam claro que as simulações devem ser inseridas no processo de ensino e aprendizagem como recursos complementares e não únicos.

O objetivo das simulações PhET é permitir que os alunos explorem um determinado fenômeno com liberdade e espontaneidade, semelhante ao cientista em seu laboratório. Porém, as pesquisas aqui citadas mostram que boa parte das simulações PhET não promovem um pensamento científico holístico, sendo mais condizentes com um modo de pensamento hipotético-dedutivo, realizado de forma sistemática em processos cíclicos do tipo: prever, observar e explicar.

Considerando apenas o domínio dos objetivos de aprendizagem, avaliado especificamente em testes de conhecimento, o modo de aplicação das simulações apresenta vantagens significativas na aprendizagem quando projetadas para a turma toda e controlada somente pelo professor, comparada com a aula organizada em pequenos grupos de alunos por computador (STEPHENS; CLEMENT, 2015).

No aporte teórico das pesquisas aqui citadas, não foi observado o emprego de instrumentos de testes de retenção de conhecimento após o uso das simulações, algo que seria importante para verificar com base em evidências o efeito das simulações na aquisição de conhecimento ao longo prazo. Além do teste de retenção, que é de fácil aplicação, Mayer (2014) também sugere, nesses casos, o uso de testes de transferência de conhecimento por serem capazes de fornecer indicações de como os estudantes aprenderam um determinado conteúdo. Assim, para a verificação da qualidade das simulações, percebe-se a necessidade de elaboração de pesquisas mais robustas, metodologicamente, sobre os efeitos das simulações PhET na aquisição de conhecimento ao longo prazo.

Diante do exposto, um processo de ensino e aprendizagem não deve ser avaliado apenas pelo resultado de testes de conhecimento do conteúdo, há outros aspectos também relevantes, que devem ser levados em consideração na avaliação do processo de ensino e aprendizagem. Para entender o papel das simulações PhET na aprendizagem, é necessário verificar diversas variáveis envolvidas no processo. Como exemplo: a atitude dos alunos, a interação social entre os participantes, a relação professor-aluno, o ritmo individual de aprendizagem, a retenção de conhecimento, a interação dos alunos com o recurso utilizado, a capacidade de transferência do conhecimento em situações reais e demais aspectos pedagógicos.

3 TEORIA DA CARGA COGNITIVA

A qualidade das simulações do projeto PhET depende, além de outros fatores, dos elementos interativos de design instrucional elaborados pelos programadores das simulações, mudanças no design instrucional das simulações podem afetar positivamente ou negativamente o processo de ensino e aprendizagem proposto.

O design instrucional adotado pelos programadores do PhET na elaboração das simulações é baseado na concepção de aprendizagem pela descoberta guiada. Assim, qualquer alteração no design instrucional, seja em elementos estáticos ou interativos, deve ser feita com fundamentos teóricos ou bases empíricas para não afetar a eficiência instrucional das simulações.

Diante disso, nesta pesquisa, adota-se a Teoria da Carga Cognitiva de Sweller (1988), para auxiliar na análise do design instrucional das simulações do projeto PhET, principalmente, para entender o efeito na carga cognitiva da presença da seção de jogo nas simulações PhET.

A Teoria da Carga Cognitiva (TCC) é uma teoria originada em evidências empíricas da área da Psicologia Cognitiva, com fortes implicações no ensino de Ciência e Matemática (SWELLER, 1988). Nesta área, um dos principais pesquisadores, e percussores da teoria, é John Sweller, psicólogo educacional da Universidade de Nova Gales do Sul, Austrália.

Para Sweller e Chandler (1991), a TCC sugere que um material instrucional facilita a aprendizagem quando utiliza recursos cognitivos que são relevantes para a aprendizagem e evita o uso de recursos desnecessários. A presença de recursos cognitivos desnecessários em um material de instrução pode gerar uma sobrecarga cognitiva no aprendiz, dificultando o processo de aprendizagem de um conteúdo.

A TCC foi desenvolvida para orientar a elaboração de materiais instrucionais com o objetivo de maximizar o desempenho intelectual dos aprendizes (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998). Qualquer recurso de aprendizagem pode se beneficiar com a TCC, inclusive as simulações do projeto PhET.

A TCC é baseada em alguns aspectos da arquitetura cognitiva humana, que processa a informação utilizando três tipos de memória: memória de trabalho; memória de longo prazo; e memória sensorial.

Memória de trabalho é o conceito-chave da TCC, que busca entender a sua capacidade e seus limites, fatores determinantes para a elaboração de um material instrucional.

O problema em design instrucional é que a memória de trabalho representa funções cognitivas que são monitoradas pela consciência humana e possui limitações bem conhecidas, conforme ampla aceitação por pesquisadores da área da Psicologia Cognitiva (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998).

3.1 NÚMERO DE MILLER: 7 ± 2

O primeiro estudo relevante sobre a memória de trabalho foi a pesquisa experimental de Miller (1956), que representa um marco para compreensão das limitações da memória de trabalho humana.

Miller (1956) realizou experimentos para mensurar a capacidade da memória de trabalho e, após vários testes, chegou ao resultado 7 ± 2 . Posteriormente, na Ciência Cognitiva, este número ficou conhecido como o *número mágico de Miller*.

Este número pode representar a quantidade de informações elementares suportadas pela memória de trabalho, como exemplo, a quantidade de números inteiros a serem memorizados. Mas o número mágico de Miller também representa a quantidade simultânea de processos, ou esquemas, suportados pela memória de trabalho. Neste caso, as unidades de processos cognitivos são consideradas como atos lógicos de raciocínio, como a ação de organizar, contrastar, comparar ou qualquer outra forma de manipulação mental da informação.

Para Miller (1956), as unidades de processamento na mente humana podem ser chamadas de bits de informação. A lógica dos bits de Miller é a seguinte: 1 bit equivale a duas alternativas de escolha; 2 bits equivalem a 4 alternativas de escolha; e n bits equivalem a n^2 alternativas de escolha. O número máximo de bits suportados na memória de trabalho é medido por experimentos que identificam o momento extremo em que mente humana fica confusa para manipular certa quantidade de informação, ou bits.

Miller (1956) analisou experimentos com diferentes tipos de informação e observou que a capacidade humana é limitada em valores próximos de 2,6 bits ($2,6^2 = 6,76$ alternativas de escolha).

Os experimentos envolveram testes de capacidade da memória de trabalho com diferentes tipos de informação. Segue uma lista de alguns dos resultados sumarizados por Miller:

- 2,5 bits para a identificação de sons com diferentes frequências;
- 2,3 bits para a identificação de sons com diferentes intensidades;
- 1,9 bits para a identificação por degustação de concentração de sal em água;
- 3,25 bits para memorização de posições visuais distintas;
- 2,2 bits para a identificação de diferentes tamanhos de quadrados;
- 2,3 bits para a identificação de variações visuais de iluminação (brilho).

Analisando os experimentos de memória de trabalho para diferentes tipos de informação, Miller (1956) encontrou a média de 2,6 bits com desvio padrão de apenas 0,6 bits, o que corresponde a seu *número mágico* 7 ± 2 .

3.2 INÍCIO DA CIÊNCIA COGNITIVA

Vários experimentos como os citados por Miller foram realizados nas décadas de 1950 e 1960. Esses estudos tinham um objetivo diferente dos realizados anteriormente pela Psicologia Behaviorista. A preocupação dos pioneiros do Cognitivismo era em entender o funcionamento da mente humana, no quesito do processamento da informação e não somente na relação entre entrada e saída. Na revisão histórica da área, feita pelo próprio Miller, o Behaviorismo, como psicologia experimental, já apresentava problemas em meados de 1950.

Diante do insucesso nos resultados dos pesquisadores behavioristas, uma nova psicologia foi iniciada por um grupo de psicólogos de Harvard, liderados por Jerry Bruner, com a criação do projeto Cognição, dando início à era da Revolução Cognitiva. Esta revolução resultou no nascimento da Ciência Cognitiva como área de pesquisa, tendo maior reconhecimento a partir da década de 1970.

Essa Revolução Cognitiva também foi acompanhada pelo início dos estudos em Inteligência Artificial, com o uso do computador para simular processos cognitivos,

e outras pesquisas interdisciplinares envolvendo a Ciência Cognitiva. (MILLER, GEORGE, 2003).

A Ciência Cognitiva, atualmente, é uma área de pesquisa interdisciplinar que investiga o funcionamento de processos mentais. Por ser interdisciplinar, possui diferentes vertentes conceituais, teorias de base e explicações para a arquitetura da mente humana.

Nesta pesquisa, o enfoque é dado para a TCC de Sweller (1988), que, para a sua compreensão, é necessário conhecer o modelo de funcionamento da mente humana proposto por Atkinson e Shiffrin (1968), apresentado adiante.

3.3 FUNCIONAMENTO DA MENTE HUMANA

A TCC de Sweller é elaborada com base na arquitetura da memória humana descrita por Atkinson e Shiffrin (1968), que definem três tipos de memória: memória sensorial; memória de curto prazo e memória de longo prazo.

Com base nesta divisão da memória, Atkinson e Shiffrin (1968) elaboraram uma teoria geral para explicar o funcionamento da mente humana e analisaram vários experimentos para testar seus conceitos derivados de modelo teórico conhecido como Modelo Espacial da memória (NEUFELD; STEIN, 2001).

Além de testes de psicologia, Atkinson e Shiffrin (1968) observaram casos clínicos de traumas cerebrais para justificar a proposta de modelo de arquitetura da mente humana como um sistema dividido em partes distintas.

Atkinson e Shiffrin (1968) definem duas características permanentes da memória que são: a estrutura física da memória, formada pelo seu sistema físico; e a parte responsável por controlar os processos, que é selecionável e usada por opção do sujeito, a qual varia de uma tarefa para outra.

3.3.1 Memória sensorial

A primeira parte da memória é a memória sensorial, que recebe uma grande quantidade de informação, a qual permanece na memória por um curtíssimo intervalo de tempo, cerca de centenas de milésimos de segundos. Neste nível, a parte de

controle do processo é responsável por selecionar e transferir uma porção das informações de entrada para a parte seguinte, que é a memória de trabalho.

A função da memória sensorial é selecionar e transferir informações para a memória de trabalho, essa memória também recebe dados da memória de longo prazo. Assim, a memória sensorial processa todas as informações externas, inclusive sons e imagens presentes no ambiente mesmo que não percebidas pela consciência de um indivíduo, e apenas uma quantidade mínima de informações são transferidas para serem processadas da memória de trabalho.

Para o caso da TCC, a arquitetura da memória sensorial não possui implicações claras na aplicação no desenvolvimento de materiais instrucionais (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998). Na teoria de Sweler, a memória de trabalho recebe maior atenção por ser responsável por processar a informação que poderá ser armazenada ou não na memória de longo prazo.

3.3.2 Memória de trabalho

Atkinson e Shiffrin (1968) explicam que a memória de trabalho, ou memória de curto prazo, recebe informações da memória sensorial e da memória de longo prazo. A informação é retida na memória de trabalho por, aproximadamente, 30 segundos, após isso, a informação decai completamente. A memória de trabalho recebe informações de forma direta da memória de longo prazo e, indiretamente, da memória sensorial.

A memória de trabalho realiza ciclos de processos evocando informações da memória de longo com o objetivo de codificar novas informações, que são armazenadas por tempo indefinido, utilizadas na elaboração de respostas ou, simplesmente, esquecidas.

Um exemplo de tarefa realizada nos ciclos de processamento da memória de trabalho é a busca por semelhanças entre os estímulos provindos da memória sensorial com as informações existentes na memória de longo prazo.

Atkinson e Shiffrin (1968) realizaram experimentos para testar suas hipóteses do funcionamento da memória humana. Na época, utilizaram um computador modelo PDP-1 para gerar atividades cognitivas experimentais. O programa foi disponibilizado para estudantes da Universidade de Stanford, que recebiam \$2 por sessão de teste.

Os dados empíricos do experimento de Atkinson e Shiffrin (1968) foram suficientes para comprovar o modelo teórico proposto pelos pesquisadores para o funcionamento da mente humana. O modelo é descrito na forma de uma equação matemática capaz de calcular a probabilidade de acerto na recordação de letras em função do número de sessões e intervalo de tempo posterior ao teste de memorização.

A equação também foi testada com o método de Monte Carlo para gerar pseudodados em grande quantidade, simulando 12.500 sessões de experimento. A análise de uma grande quantidade de dados empíricos e simulados demonstrou que uma característica peculiar no processamento de informações pela memória trabalho, na qual: a taxa de transferência de informações para a memória de longo prazo é constante, independente do número de itens simultaneamente alocados na memória de trabalho e independente de processos de recuperação.

O modelo espacial da memória de Atkinson e Shiffrin (1968) foi um dos primeiros trabalhos na busca da compreensão do funcionamento dos processos cognitivos e da arquitetura da memória humana. Porém, desde a sua publicação, vários pesquisadores propuseram explicações complementares, novos modelos, ou críticas em relação ao modelo de Atkinson e Shiffrin, como exemplo a crítica em Tarnow (2010).

O modelo de Atkinson e Shiffrin é uma teoria que possui suas limitações e é considerada adequada dentro das suas aplicabilidades. Entretanto, considerando o número de modelos que surgiram posteriormente, o modelo de Atkinson e Shiffrin, em sua definição, é considerado obsoleto ou incompleto, principalmente por considerar a memória de trabalho como um sistema unitário (RODRIGUES, 2001).

Uma teoria posterior ao modelo de Atkinson e Shiffrin foi elaborada por Baddeley (1992), que incrementa o modelo propondo uma subdivisão da memória, dividindo a memória de trabalho em três novas partes: (1) a central, que executa raciocínios lógicos gerais e dois subsistemas; (2) a visual-espacial; e (3) o fonológico, que processa as informações baseadas na linguagem falada.

Um panorama das principais teorias sobre a arquitetura da memória humana e suas controvérsias é apresentado por Mota (2015), que sumariza alguns modelos, incluindo, também, os modelos neurocognitivos.

Atualmente, a memória de trabalho é compreendida de maneira mais ampla na Teoria de da Carga Cognitiva de Sweller. Em uma perspectiva mais recente, por exemplo, um grupo de estudantes em aprendizagem colaborativa pode ser

considerado como um único sistema de processamento de informação constituído por múltiplas e limitadas memórias de trabalho, que formam um espaço coletivo de trabalho, ou de processamento paralelo. A distribuição de carga cognitiva entre indivíduos é uma estratégia que reduz a sobrecarga de informações (PAAS, FRED; VAN GOG; SWELLER, 2010).

3.4 MEMÓRIA DE TRABALHO EM PROBLEMAS MATEMÁTICOS

A Teoria da Carga Cognitiva (TCC) de Sweller foi elaborada para explicar os processos de ensino e aprendizagem de tarefas complexas que exigem um elevado número de elementos de interação com a informação. O objetivo da Teoria é fornecer subsídios para melhorar a aprendizagem e evitar a sobrecarga cognitiva durante este processo (PAAS, FRED; VAN GOG; SWELLER, 2010).

O estudo da carga cognitiva na solução de problemas teve início com experiências realizadas em Sweller (1988), que investigou as estratégias de estudantes na solução de problemas de matemática abertos, sem objetivos específicos, e problemas de matemática tradicionais, ou de resposta única.

No experimento, Sweller observou que os alunos novatos, com pouco conhecimento sobre o assunto, utilizavam estratégias de raciocínio instrumental (*means-ends*) na solução de problemas tradicionais, diferentemente dos alunos experientes. Além disso, Sweller propôs que o tipo do enunciado de um problema interfere significativamente na aprendizagem de um conteúdo.

Sweller investigou as diferenças entre as estratégias de uso da memória de trabalho na solução de problemas entre especialistas e novatos. No caso, as estratégias entre especialistas e novatos podem ser divididas em três modos: (1) identificação de configuração de estados de problemas; (2) elaboração de estratégias próprias de solução; e (3) capacidade de reconhecer problemas dentro de um conjunto de problemas com soluções semelhantes (SWELLER, 1988).

O primeiro aspecto é bastante comum em pesquisas sobre o uso da memória de trabalho por enxadristas. Para esta abordagem, há uma longa discussão crítica-científica entre os cognitivistas para explicar o processo cognitivo do enxadrista na

percepção e memorização das posições das peças em um tabuleiro de xadrez¹⁵ (CHASE; SIMON, 1973), (CHARNESS, 1992), (LANE; GOBET, 2011).

Porém, o maior interesse de Sweller é compreender o segundo modo de estratégias de solução de problemas. Com esse objetivo, Sweller realizou uma série de experimentos para identificar as diferenças entre especialistas e novatos na solução de problemas matemáticos tradicionais, com enunciado e objetivos bem definidos, e problemas com enunciados abertos, nos quais o aluno calcula diferentes variáveis conforme o seu conhecimento e limitações.

Comumente, em problemas tradicionais de Matemática e Física, o novato utiliza uma estratégia de solução de problema baseada no raciocínio instrumental, fazendo a análise dos meios-fins (*means-ends analysis*) seguindo as dicas implícitas na própria pergunta do enunciado. Essa é uma situação rotineira em aulas Física e Matemática que utilizam extensas listas de exercícios.

Sweller (1988) explica que o novato faz um caminho inverso (*backward-working*) na solução de um problema. Ou seja, inicia com a análise do objetivo e depois busca por informações úteis no próprio enunciado. Já os especialistas utilizam um caminho direto (*forward-working*), durante a leitura do enunciado, fazem, imediatamente, a evocação dos recursos necessários para a solução do problema, antes mesmo de lerem a pergunta no final do enunciado.

A vantagem do especialista está na sua capacidade de reconhecer a configuração de um problema com base em sua experiência prévia, partindo direto para o caminho mais apropriado para solução do problema.

Essa estrutura cognitiva que facilita o reconhecimento de um problema pelo especialista é chamada por Sweller (1988) de esquema. O esquema é definido como a estrutura cognitiva responsável pelo reconhecimento de problemas dentro de um conjunto de problemas que, normalmente, requerem soluções semelhantes. Geralmente, na desvantagem, os novatos não possuem os esquemas apropriados e são forçados a usarem estratégias gerais de solução de problemas, estratégias de raciocínio instrumental, ou de análise dos meios-fins.

¹⁵ William Chase e a Percepção no xadrez. Disponível em: <https://chessprogramming.wikispaces.com/William+Chase>. Acessado em 18 de janeiro de 2016.

O uso de esquemas é facilmente observado na solução de problemas de Física pelos professores. Os especialistas são capazes de categorizar uma série de problemas de Física pelos conceitos usados na solução do problema.

Os novatos sem os esquemas adequados buscam as informações no próprio enunciado e fazem uma categorização dos problemas pelos objetos citados em um problema. Por exemplo, o novato fará o reconhecimento dos problemas pelos objetos envolvidos como: caixas, planos inclinados, vasos comunicantes e balanças. Os especialistas fazem a separação desses mesmos problemas pelos princípios e conceitos envolvidos na solução, seguindo o exemplo, os mesmos quatro problemas podem ser classificados pelos conceitos: força resultante, aceleração da gravidade, hidrostática e momento de uma força.

Sweller (1988) realizou experimentos com problemas abertos, sem uma pergunta específica no enunciado. Nesses problemas, a questão final é na forma: “O que você consegue calcular neste problema?” ou “Calcule todas as variáveis que você conseguir”. Neste formato, a estratégia de solução do raciocínio experimental (*means-ends*) é suprimida. O experimento realizado com esse tipo de problema revelou uma melhora nas respostas de novatos. Assim, Sweller concluiu que as perguntas específicas em enunciados provocam uma carga cognitiva que reduz a aprendizagem em análises *meios-fins*.

Sweller (1988) criou um sistema para simular as estratégias de estudantes durante a solução de problemas tradicionais de cinemática com o objetivo de medir e avaliar a carga cognitiva na memória de trabalho exigida para solucionar um problema. Na pesquisa, foram criados diagramas de fluxo do controle de processamento das informações em problemas tradicionais e problemas abertos.

O resultado da simulação de Sweller (1988) identificou a presença de 29 elementos de carga cognitiva necessários para solução de problemas tradicionais e 17 elementos necessários para solução de problemas abertos. Ou seja, os problemas tradicionais produzem maior carga cognitiva na memória de trabalho dos estudantes durante o processo de solução do que os problemas de enunciados abertos.

Em outro experimento semelhante, Sweller (1988) avaliou as estratégias de solução de 6 questões diferentes de trigonometria por 24 estudantes, entre 15 e 16 anos. Novamente, as questões foram divididas em problemas tradicionais e problemas abertos. No resultado, Sweller observou que os estudantes gastam menos tempo e erram menos em problemas de enunciados abertos. Assim, a aplicação de

problemas abertos contribui, significativamente, para a aquisição de esquemas, ou seja, para o processo de aprendizagem dos alunos. Além disso, a ênfase somente em problemas tradicionais pode atrasar o desenvolvimento de alunos especialistas.

Este trabalho inicial de Sweller (1988) representa uma das primeiras investigações sobre a carga cognitiva atribuída pelo design instrucional. Nos trabalhos seguintes, com base em seus experimentos e demais trabalhos da área, Sweller elaborou a sua Teoria da Carga Cognitiva, com foco na melhoria de recursos instrucionais (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998), (PAAS, FRED; VAN GOG; SWELLER, 2010).

3.5 TEORIA DA CARGA COGNITIVA

A Teoria da Carga Cognitiva foi proposta na década de 1980 e, desde então, é uma das teorias mais aplicadas na área de design instrucional. Segundo Ozcinar (2009), a publicação *Cognitive Architecture and Instructional Design* (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998) foi a mais citada entre 1980 e 2008 em periódicos da área de design instrucional.

Sweller, Merrienboer, Paas (1998) fazem uma revisão da Teoria da Carga Cognitiva e sugerem a sua aplicação em design instrucional, considerando as limitações da memória de trabalho. Assim, a Teoria da Carga Cognitiva tem o objetivo de auxiliar a forma de apresentação de informações em materiais instrucionais para resultar em uma aprendizagem mais eficiente.

A Teoria da Carga Cognitiva foi elaborada considerando a arquitetura cognitiva humana e as limitações da memória de trabalho. Conforme já discutido, a memória de trabalho possui a limitação de processar 7 ± 2 elementos de informação simultâneos. Além dessa limitação, Sweller também considerou, na elaboração da sua teoria, a subdivisão da memória de trabalho proposta por Baddeley (1992).

Na Teoria da Carga Cognitiva o processamento de informações pela memória de trabalho depende da recorrência de informações na memória de longo prazo. Portanto, o processo de construção de novos esquemas é prejudicado quando há elementos desconhecidos dos aprendizes, principalmente em atividades complexas.

Sweller, Merrienboer, Paas (1998) citam como exemplo o caso dos jogadores profissionais de xadrez, que possuem vantagens, não pela capacidade de raciocínio,

mas, principalmente, pela quantidade de jogadas armazenadas em sua memória de longo prazo. Em um experimento, foi verificado que o enxadrista perde essa vantagem quando se depara com uma de posição incomum. (CHASE; SIMON, 1973).

Na Teoria da Carga Cognitiva, esse conhecimento de um determinado assunto, que favorece o especialista, é armazenado na memória de longo prazo na forma de esquemas. Segundo Sweller, Merrienboer, Paas (1998), a aquisição de esquemas é um processo ativo e construtivo.

3.6 O CONCEITO DE APRENDIZAGEM NA TCC

Na TCC, a aprendizagem consiste na aquisição e automatização de esquemas na memória de longo prazo. A presença de esquemas adequados na memória de longo prazo resulta na redução da carga cognitiva em novas atividades de aprendizagem, conseqüentemente, facilitando o processo de aquisição de novos esquemas. A redução na carga de memória de trabalho ocorre porque um esquema é tratado como um elemento unitário no processo cognitivo, independente da sua complexidade ou sofisticação (SWELLER, 1994).

Assim, na TCC, a aprendizagem consiste na criação de esquemas que contribuam para a redução da memória de trabalho em atividades complexas, permitindo que um aprendiz avance, intelectualmente, em uma determinada área do conhecimento (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998).

Diante dessa compreensão do processo de aprendizagem da mente humana, para os autores da TCC, a principal função de um sistema de educação é proporcionar aos estudantes maneiras eficientes para construção de esquemas complexos (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998).

Os esquemas permitem processar a informação de maneira automatizada, ou seja, sem uma ação consciente na memória de trabalho. Como no caso do processo de leitura, um adulto lê as palavras sem codificar ou processar cada letra, já uma criança em fase de alfabetização precisa, conscientemente, processar a combinação de cada letra para formar as sílabas e, por fim, as palavras de um texto. Os autores da TCC explicam, resumidamente, a aquisição e automatização de esquemas da seguinte maneira:

“A arquitetura cognitiva humana pode ser resumida da seguinte forma. Temos uma memória de trabalho limitada que lida com todas as atividades conscientes e uma memória de longo prazo efetivamente ilimitada que pode ser usada para armazenar esquemas de diferentes graus de automatização. A habilidade intelectual vem da construção de um grande número de esquemas cada vez mais sofisticados com altos graus de automatização. Os esquemas reúnem múltiplos elementos que podem ser tratados como um único elemento e nos permitem ignorar muitos elementos irrelevantes. Assim, a capacidade de memória de trabalho é liberada, permitindo a ocorrência de processos que, de outra forma, sobrecarregariam a memória de trabalho. Esquemas automatizados facilitam a performance de processos cognitivos familiares de uma atividade e, por deixar mais livre a memória de trabalho, também permitem certos níveis de performance em processos cognitivos não familiares, que de outra maneira seriam impossíveis de ser realizados (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998, p. 258, tradução nossa¹⁶).”

Portanto, Sweller, Merrienboer e Paas (1998) consideram o domínio de esquemas automatizados importantes por reduzirem a carga cognitiva, deixando a memória de trabalho mais livre na realização de tarefas. Em design instrucional, o material de aprendizagem deve proporcionar a construção de novos esquemas e oportunizar o emprego desses esquemas pela memória de trabalho em tarefas avançadas de forma automatizada.

3.7 TEORIA DA CARGA COGNITIVA E DESIGN INSTRUCIONAL

O estudo sobre a arquitetura da memória humana e da carga cognitiva em atividades intelectuais possui aplicação direta no design de recursos de aprendizagem. Conforme discutido anteriormente, Sweller, Merrienboer e Paas (1998) sugerem que o objetivo de um recurso instrucional é oportunizar a construção e automatização de esquemas cognitivos na memória de longo prazo, que são requisitadas pela memória de trabalho durante a elaboração de estratégias na solução de um problema.

¹⁶ Texto original: “*Human cognitive architecture can be summarized as follows. We have a limited working memory that deals with all conscious activities and an effectively unlimited long-term memory that can be used to store schemas of varying degrees of automaticity. Intellectual skill comes from the construction of large numbers of increasingly sophisticated schemas with high degrees of automaticity. Schemas both bring together multiple elements that can be treated as a single element and allow us to ignore myriads of irrelevant elements. Working memory capacity is freed, allowing processes to occur that otherwise would overburden working memory. Automated schemas both allow fluid performance on familiar aspects of tasks and—by freeing working memory capacity—permit levels of performance on unfamiliar aspects that otherwise might be quite impossible* (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998, p. 258).”

Em atividades de aprendizagem, a memória de trabalho de um estudante é afetada tanto pelos elementos intrínsecos, pertencentes ao conteúdo de aprendizagem, como pelos elementos de interação, que não contribuem para a aprendizagem, os quais podem ser gerenciados no design instrucional.

Na Teoria da Carga Cognitiva, os elementos processados na memória de trabalho em uma atividade de aprendizagem são classificados em três tipos: (1) carga cognitiva intrínseca; (2) carga cognitiva estranha (*extraneous*); e (3) carga cognitiva relevante (*germane*) (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998).

3.7.1 Carga Cognitiva Intrínseca

A carga cognitiva intrínseca é formada pelos elementos de aprendizagem provindos das informações do próprio conteúdo de aprendizagem. Cada disciplina ou nível de ensino possui suas características e podem representar em baixa ou elevada carga cognitiva intrínseca.

Além de elementos isolados, cada existência de interação entre esses elementos também são somados na carga cognitiva da memória de trabalho. Por exemplo, aprender o significado dos símbolos dos átomos da tabela periódica pode ser feito separadamente, um de cada vez, sem a necessidade de sobrecarga cognitiva. A carga cognitiva é baixa quando não há interação entre os elementos de aprendizagem, permitindo uma aprendizagem serial de informações, ou aprendizagem mecânica (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998).

Ao contrário, quando há um número elevado de interações entre os elementos de informação, a memória de trabalho é sobrecarregada, considerando suas limitações, podendo não suportar a complexidade exigida no processo de aprendizagem.

Para Sweller, Merrienboer e Paas (1998), somente na assimilação de atividades com elevado número de elementos e com interações entre si é que ocorre um *entendimento* autêntico do conteúdo. Por exemplo, em casos muito simples, como aprender a tradução de *cat* para gato, não faz sentido atribuir o termo *entendimento*, pois, este caso pode ser compreendido como uma aprendizagem mecânica de baixa carga cognitiva.

A determinação do nível de interatividade e complexidade entre elementos de aprendizagem no design instrucional não é tão simples, pois a estrutura cognitiva é idiossincrática demais para considerar que cada elemento seja processado igualmente na memória de trabalho de cada estudante. Essa diferença é um dos principais desafios no design instrucional. Uma maneira de minimizar esse problema é conhecer previamente o público-alvo durante o planejamento de um recurso instrucional.

No processo de aprendizagem com recursos instrucionais, a carga cognitiva intrínseca é somada com a carga cognitiva proporcionada pelas informações extra no material de aprendizagem não associadas ao conteúdo de aprendizagem. Essa carga cognitiva extra é chamada na Teoria da Carga Cognitiva de carga cognitiva estranha.

3.7.2 Carga Cognitiva Estranha

A aplicação da Teoria da Carga Cognitiva em um design instrucional pode contribuir para a redução da carga cognitiva estranha, aquela que não favorece a aprendizagem e sobrecarrega a memória de trabalho. Para isso, Sweller, Merrienboer e Paas (1998) discutem alguns aspectos da Teoria da Carga Cognitiva que podem auxiliar no design instrumental com o objetivo de evitar carga cognitiva estranha desnecessária.

A carga cognitiva estranha ocorre, por exemplo, quando um material de instrução utiliza várias fontes para mostrar a mesma informação, como um texto integrado com um diagrama, legendas e áudio. A duplicação e interação de informações com redundância ou desnecessária proporciona um aumento na carga cognitiva, algo que deve ser evitado no design instrucional.

Por exemplo, no ensino de Física, carga cognitiva estranha ocorre quando um conteúdo é apresentado com muitas ilustrações desnecessárias que não contribuem para a aprendizagem de um conceito. Já em simulação de computador, a carga cognitiva estranha pode ocorrer quando imagens complexas são utilizadas para ilustrar o *layout* da simulação, como em um painel de controle virtual com botões e medidores sem utilidade para a simulação.

3.7.3 Carga Cognitiva Relevante

Sweller, Merrienboer e Paas (1998) investigaram alguns estudos para compreender a distinção entre as cargas cognitivas estranhas e as cargas cognitivas, que, apesar de não fazerem parte do conteúdo, favorecem a aprendizagem. As cargas que auxiliam a aprendizagem são chamadas na Teoria da Carga Cognitiva de cargas cognitivas relevantes.

Pelo princípio da Teoria da Carga Cognitiva, a soma dos três tipos de cargas cognitivas não pode ultrapassar os limites da memória de trabalho. Essa preocupação agrava quando o conteúdo é complexo e com muita interação simultânea entre os elementos.

A carga cognitiva relevante tem a função de organizar mentalmente o material a ser aprendido e auxiliar na relação das informações novas com os conhecimentos prévios. Portanto, a carga cognitiva relevante contribui diretamente para a aprendizagem.

No ensino de Física, a carga cognitiva relevante pode ser exemplificada com o uso de analogias ou diagramas que favorecem a visualização de conceitos na solução de um problema. Em simulações, a carga cognitiva relevante pode ser considerada como os controles de manipulação de variáveis que afetam o comportamento de um fenômeno físico.

3.7.4 Técnicas de Medida de Carga Cognitiva

Em atividades de aprendizagem, a construção de esquemas cognitivos envolve uma relação multidimensional e complexa entre performance, carga mental e esforço mental. As técnicas para medir o esforço mental podem ser classificadas em três categorias (S-F-P): subjetiva, fisiológica e performance em testes de conhecimento. Para Sweller, Merrienboer e Paas (1998), essas medidas são úteis para estimar a eficiência de um recurso instrucional.

As técnicas subjetivas de medição de esforço mental podem ser realizadas com testes de escala. A aplicação dessa técnica considera que as pessoas são capazes de relatar sua quantidade de esforço mental em testes atribuindo valores em escalas. Essas técnicas foram sendo propostas e aprimoradas desde o surgimento da

Ciência Cognitiva. Por exemplo, na década de 1970, Bratfish, Borg e Dornic (1972) realizaram experimentos para verificar a eficácia de instrumentos criados para medir a dificuldade de indivíduos em atividades intelectuais.

Posteriormente, os instrumentos utilizados para mediar o esforço mental em tarefas intelectuais também passaram a incluir os efeitos fisiológicos, como variação em batimentos cardíacos, atividades cerebrais, dilatação de pupila, taxa de piscadas, e outras manifestações. O problema é que, em situações naturais de aprendizagem, a utilização de múltiplos instrumentos afeta a validade dos resultados, pois a presença de equipamentos de medição de reações fisiológicas pode alterar a participação natural dos estudantes. Por isso, as técnicas de medidas com testes de performance são mais comuns em experimentos em ambientes naturais de aprendizagem. Medidas de performance, geralmente, produzem resultados que são interpretados quantitativamente.

Sweller, Merrienboer e Paas (1998) consideram que a utilização das três técnicas, S-F-P, são mais importantes quando se deseja verificar a qualidade de novos instrumentos de medição da carga cognitiva. Por exemplo, a correlação entre resultados de um teste psicológico com um teste fisiológico ajuda na confiabilidade de ambos os instrumentos. Após estudos empíricos, os autores da Teoria da Carga Cognitiva concluíram que as técnicas de medição de escalas subjetivas são mais promissoras para o objetivo da teoria.

Os instrumentos de medida do esforço mental são úteis, por exemplo, para determinar a eficiência de uma proposta de design instrucional. Em design instrucional, é desejável que a aprendizagem ocorra com o menor esforço mental possível e uma performance de aprendizagem satisfatória. Para isso, Paas e Merriendboer (1993) desenvolveram um método computacional para combinar essas medidas em um gráfico de eixos cruzados do tipo Esforço mental (M) x Performance (P).

3.8 EFEITOS DO DESIGN INSTRUCIONAL NA CARGA COGNITIVA

Sweller, Merrienboer e Paas (1998) analisaram os resultados de vários experimentos para elencar os efeitos de variações no design instrucional na carga cognitiva do aprendiz. Os efeitos do design instrucional na carga cognitiva são

classificados em categorias, conforme segue: (1) efeito problema de objetivo-livre; (2) efeito exemplo passo a passo; (3) efeito problema de completar; (4) efeito atenção dividida; (5) efeito modalidade; (6) efeito redundância; e (7) efeito variabilidade.

O efeito do problema de objetivo-livre ocorre com questões que contêm enunciados do tipo “calcule as variáveis que você conseguir”. Esse tipo de enunciado gera uma carga cognitiva menor quando comparado com os problemas tradicionais.

Uma forma de beneficiar a aprendizagem é substituir um número excessivo de problemas por exemplos resolvidos do tipo demonstração passo a passo. Exemplos passo a passo contribuem para a construção de esquemas, geralmente, sem sobrecarga cognitiva na memória de trabalho, pois reduzem, significativamente, a quantidade de carga cognitiva estranha, além de beneficiar a apresentação da carga cognitiva intrínseca.

Após algum tempo, os exercícios de exemplos passo a passo passam a não fazer o mesmo efeito. Nessa situação, uma alternativa é esconder partes da solução passo a passo ou deixar o final em aberto, essa maneira permite os alunos construir esquemas progressivamente.

Exercícios de passo a passo podem ser transformados em exercícios de completar com a retirada de alguns passos. Exercício de completar reduz a carga cognitiva estranha e focam na carga cognitiva intrínseca de interesse.

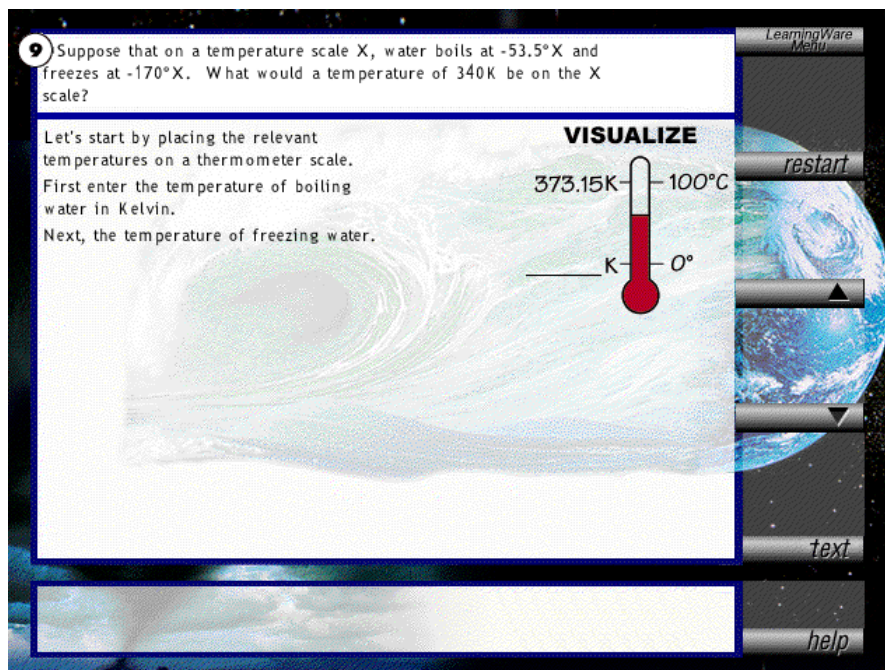
Um exemplo deste formato é observado no *software* em CD-ROM de ensino programado de Física que acompanha algumas edições do livro de *Fundamentals of Physics* dos autores Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J da editora Wiley. Atualmente, o conteúdo deste CD-ROM está disponível para acesso livre na Web no site da própria editora Wiley¹⁷. Swan (1999) apresenta uma discussão sobre as principais características e os benefícios desse *software* para os estudantes de Física.

A Figura 5 é uma captura de tela do *software* que apresenta um problema de Física e solicita ao estudante para completar o campo em branco com o valor de fusão da água, caso o estudante erre, dicas são mostradas no quadro inferior da tela. O programa é planejado para guiar o estudante na solução do problema seguindo uma estratégia já definida. Apenas como observação, essa concepção de ensino

¹⁷ Interactive LearningWare Problems. Halliday, Resnick, Walker: Fundamentals of Physics, 6th Edition. Disponível em: < <http://bcs.wiley.com/he-bcs/Books?action=resource&bcsId=1074&itemId=0471320005&resourceId=157>>. Acessado em: 10 de abril de 2016.

programado é conflitante com a aprendizagem pela descoberta guiada discutida neste trabalho e presente nas simulações do grupo PhET.

Figura 5 - Tela de captura do *software* de ensino programado que acompanha o livro *Fundamentals of Physics 6ª*.



Fonte: Willey (2016).

Outro exemplo do emprego deste tipo de exercício é no treinamento de enxadrista com o uso de quebra-cabeças de xadrez, que são partes de uma partida de xadrez em uma posição-chave para vitória de um dos jogadores. Este movimento é solicitado ao enxadrista em treinamento. A vantagem desses exercícios de completar, ou *chess puzzles*, é evitar desperdício de tempo com lances mais comuns e dar enfoque às táticas mais complexas.

O efeito da atenção dividida ocorre em casos específicos de problemas que requerem duas fontes diferentes de informação para sua compreensão. Por exemplo, problemas de geometria que possuem uma parte na forma de texto e outra na forma de figura, agregada, que, separadas, não fazem sentido. Nestes casos, o estudante precisa ler o texto e manter as informações na memória enquanto relaciona as informações com a figura. O esforço na integração de informações gera uma carga cognitiva estranha na memória de trabalho. Uma maneira de reduzir essa carga é acrescentando indicações textuais diretamente na figura em posições-chave, isso

reduz a quantidade de carga cognitiva estranha e beneficia a construção de esquemas.

O efeito modalidade é derivado do efeito atenção dividida, ocorre na presença simultânea de canais diferentes de informação que precisam da integração na memória de trabalho para construção de esquemas. O efeito modalidade consiste em técnicas de apresentação de material usando duas modalidades de fontes de informação. Por exemplo, uma parte do material é apresentada na forma visual e outra parte, na forma sonora. O efeito modalidade possui aplicação, principalmente, na Aprendizagem Multimídia (MORENO; MAYER, 1999) (MAYER, 2014).

O efeito redundância também é derivado do efeito atenção dividida, mas ocorre quando a informação é apresentada em dois canais de informação desnecessariamente. Neste efeito, o conteúdo pode ser assimilado na memória de trabalho independentemente da integração das informações nos canais. Esse efeito pode ocorrer em infográficos que contenham textos desnecessários, que duplicam a informação na forma visual e textual.

Na Teoria da Carga Cognitiva, o efeito variabilidade consiste na variação das atividades utilizadas para a aprendizagem de um mesmo conteúdo. Essa variação beneficia o engajamento dos estudantes por perceberem que um esquema construído previamente pode ser aplicado em situações diferentes. Sweller, Merrienboer e Paas (1998) destacam que o efeito variabilidade acarreta em aumento da carga cognitiva relevante (*germane*), em vez da carga cognitiva estranha como previsto em alguns estudos preliminares sobre esse efeito.

Além dos efeitos citados, originalmente em Sweller, Merrienboer e Paas (1998), um estudo mais recente de revisão nos avanços da Teoria da Carga Cognitiva realizado por Chong (2005), apresenta um total de dez efeitos proporcionados pelo design instrucional que podem influenciar na carga cognitiva de aprendizagem. Os efeitos revisados por Chong são: (8) efeito imaginação; (9) efeito elementos de interação isolados; e (10) efeito experiência (*expertise*) reversa.

O efeito imaginação é associado em casos em que é solicitado ao aprendiz imaginar uma determinada situação. O processo de imaginação é mais relevante com estudantes que já possuem um conhecimento do conteúdo ou esquemas pré-existente, caso contrário, a utilização de exemplos passo a passo é mais adequada.

O efeito de elementos de interação isolados ocorre para facilitar a aprendizagem complexa, quando exige o processamento simultâneo de vários

elementos que interagem entre si. Ao apresentar um elemento isoladamente para processamento na memória de trabalho com o objetivo de fazer um armazenamento na memória de longo prazo, facilita-se o processamento posterior de combinação de elementos em uma construção efetiva de esquema.

O efeito experiência (*expertise*) reversa acontece quando a instrução é orientada para estudantes menos experientes de um grupo de estudantes. Neste caso, segundo estudos empíricos discutidos em Kalyuga *et al.* (2003), os estudantes menos experientes são afetados positivamente enquanto os mais experientes são afetados negativamente.

A compreensão desses efeitos na carga cognitiva é importante para a área de design instrucional, principalmente, na orientação de técnicas para redução da carga cognitiva estranha.

A Teoria da Carga Cognitiva é considerada limitada por omitir estruturas cognitivas, como a memória sensorial e outras estruturas que não possuem implicações bem conhecidas no design instrucional.

Apesar das suas limitações, a teoria foi proposta com base em resultados testados experimentalmente e reaplicados em design experimentais controlados. Atualmente, em design instrucional, a teoria é amplamente aceita e com poucas controvérsias (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998), (PAAS, FRED; VAN GOG; SWELLER, 2010).

3.9 CIÊNCIA COGNITIVA APLICADA EM APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS

Com base na Teoria da Carga Cognitiva, Mayer (2014) buscou apontamentos teóricos para compreender como as pessoas aprendem com jogos digitais. Neste contexto, Mayer desenvolveu a sua teoria cognitiva da Aprendizagem Multimídia, a qual define que o sistema de processamento de informação humano possui dois canais separados, os quais são divididos em informações visuais e informações sonoras, conforme o funcionamento da memória sensorial: entradas na forma de sons e imagens. Essas informações são organizadas na memória de trabalho em modelos verbais e modelos pictóricos, os quais são integrados com os conhecimentos pré-existentes na memória de longo prazo.

Dessa maneira, Mayer define que a aprendizagem multimídia significativa ocorre em uma sequência de três processos cognitivos: seleção, organização e integração. Os tipos de conhecimentos envolvidos na aprendizagem também são classificados, por Mayer, conforme seguem: conhecimento factual; conhecimento conceitual; conhecimento procedural; e conhecimento estratégico (MAYER, 2014).

Mayer sugere dois modos de medir o resultado de processos de aprendizagem multimídia, o primeiro é por meio de testes de retenção, que consiste em testes com problemas que exigem o mesmo tipo de solução apresentado no processo de aprendizagem. O segundo modo consiste em teste de transferência, o qual consiste em avaliar a aprendizagem apresentando uma situação/problema diferente dos exemplos utilizados no material de aprendizagem para que solucione fazendo a aplicação do mesmo esquema, ou transferência de conhecimento.

Na compreensão do processo cognitivo de aprendizagem com jogos digitais, Mayer recorre ao emprego da Teoria da Carga Cognitiva, estabelecendo a presença de três tipos de cargas cognitivas: estranha, essencial e generativa. A carga estranha está associada às características presentes nos jogos que causam distração. A carga cognitiva essencial envolve os processos necessários para a aprendizagem e construção de novos esquemas. No caso dos jogos, a carga cognitiva generativa está relacionada com as características de efeitos motivacionais.

Assim, esses apontamentos teóricos levantados por Mayer podem auxiliar na compreensão de elementos de *game design* instrucional para melhorar o processo cognitivo de aprendizagem evitando sobrecargas cognitivas. Por exemplo, Mayer sugere o uso de técnicas que evitem o uso de textos na tela acompanhados de áudios de narrações, causando o efeito redundância de informação.

No geral, segundo Mayer (2014), os jogos digitais possuem efeitos motivacionais que auxiliam a aprendizagem, porém não é todo jogo que promoverá adequadamente esse efeito. Essa característica dos jogos depende de como os elementos de *game design instrucionais* são aplicados e combinados, os quais devem ser empregados, cuidadosamente, para prover carga cognitiva generativa, caso contrário, podem causar aumento da carga cognitiva estranha na memória de trabalho prejudicando o processo cognitivo de aprendizagem.

4 APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS

Os jogos eletrônicos são, geralmente, vistos como uma atividade de entretenimento e imersão, e com alto nível de concentração e envolvimento. Uma característica notável dessa atividade é que ocorre sempre de maneira voluntária por parte dos jogadores, que investem seus recursos financeiros em equipamentos e em jogos eletrônicos como forma de lazer ou cultura.

Salen e Zimmerman (2004) definem o conceito de jogo como um sistema em que jogadores se envolvem em conflitos artificiais, definidos por regras, cujos resultados são quantificáveis. Essa definição para “jogo” também estende-se para os jogos digitais, sem distinção, apesar dos jogos digitais utilizarem como meio a combinação *hardware* e *software*.

Os autores também comentam que os jogos digitais possuem qualidades especiais que se destacam, quando comparados com jogos não digitais, por exemplo: a interatividade imediata com os jogadores; a facilidade de manipular e armazenar informações; a presença de sistemas complexos automatizados e a tecnologia de comunicação em rede, capaz de interligar jogadores mesmo a grandes distâncias.

Os jogos digitais, geralmente, apresentam desafios em escala de dificuldade equilibrada de maneira suficiente para instigar o jogador a encarar processos de aprendizagem, necessários para vencer o jogo ou para derrotar adversários, em competições locais ou a distância, dependendo do gênero do jogo. Esse processo de aprendizagem, presente em jogos digitais, abriu possibilidades para a sua em currículos escolares ou em situações de treinamento de profissionais de áreas específicas. Griffiths (2002) descreve os benefícios educacionais dos jogos digitais, mostrando que os jogos digitais possuem um grande potencial positivo quando desenvolvidos para resolver problemas específicos ou para objetivos educacionais.

4.1 JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS: CENÁRIO NA DÉCADA DE 1980

Desde o surgimento dos jogos eletrônicos na década de 1970, pesquisas foram realizadas para avaliar a possibilidade do uso desses jogos para auxiliar em processos de ensino e aprendizagem. Um exemplo é a pesquisa de White (1984), que

investigou o design de jogos de computador para auxiliar no ensino de dinâmica newtoniana para estudantes de ciência.

Outro exemplo é o livro de divulgação de pesquisa de Ellington, Addinall e Percival (1981), que representa o primeiro levantamento do estado da arte do uso dos computadores no ensino de Ciência, com destaque para a aprendizagem baseada em simulação computacional. O quinto capítulo do livro apresenta exemplos de situações de aprendizagem de ciência que são beneficiadas com o uso do computador, como o caso da simulação de movimento de satélites e de outros experimentos que são impossíveis de serem realizados em laboratórios didáticos.

Ellington, Addinall e Percival (1981, p. 20) investigaram, em sua pesquisa, respostas para a pergunta: “Por que os jogos e os simuladores são úteis do ponto de vista da educação?”. Os autores realizaram um exame de vários estudos de casos, e listaram algumas razões para o uso dos jogos e simuladores no ensino de Ciência. Entre as razões citadas pelos autores para o uso dos jogos e simuladores, estão:

- o maior envolvimento do aluno comparado com os métodos tradicionais;
- a possibilidade de ações de multidisciplinaridade;
- a flexibilidade para atender diferentes objetivos educacionais;
- a capacidade dos jogos interativos e multiusuários auxiliarem na socialização entre os alunos;
- a competitividade dos jogos que desafiam os alunos a se empenharem no jogo com maior motivação para a aprendizagem.

Para atender essas razões, citadas por Ellington, Addinall e Percival (1981, p.20), é necessário que o emprego de simulações ou jogos digitais no ensino de Ciências seja respaldado por um planejamento pedagógico condizente com o contexto de aplicação do recurso; uma preocupação já presente em pesquisas da época. Por exemplo: a pesquisa de Malone (1981), que já apresentava sugestões para o uso de jogos de computador na educação com um referencial composto por teóricos da educação como Piaget, Montessori, Bruner e Papert.

Como resultado, a teoria de Malone (1981), em defesa dos jogos digitais educacionais, foi elaborada considerando três categorias gerais de motivação intrínsecas: (1) desafio, (2) fantasia e (3) curiosidade. A presença dessas três características em jogos digitais proporciona a motivação necessária aos estudantes

para manterem seus esforços mentais em um processo de aprendizagem em ambiente de jogo digital.

O autor também avaliou quais são as principais características no design dos jogos de computador que favorecem a preferência dos alunos por um determinado jogo. O experimento de Malone (1981) envolveu 80 estudantes da 5ª série de uma escola pública. Para o experimento, 25 jogos de computador foram selecionados e testados com os alunos. A Tabela 1 apresenta, em ordem decrescente, a correlação encontrada entre as funções comuns de jogos de computador e a preferência dos estudantes por jogos que possuem tais funções.

Tabela 1 - Correlação entre as funções comuns de jogos de computador e a preferência de estudantes

Função de jogo de computador	Correlação com a preferência média de estudantes
Objetivo	0,65
Placar de pontuação	0,56
Efeitos sonoros	0,51
Aleatoriedade no jogo	0,48
Contagem da velocidade de resposta	0,36
Efeitos visuais	0,34
Competição	0,31
Variação de nível de dificuldade	0,17
Cooperação	0,02
Fantasia	0,06
Tipo de jogo:	
Gráfico	0,38
Matemático	-0,20
Texto	-0,38

Fonte: adaptado de Malone (1981, p. 343)

No experimento de Malone, ficou evidente que não existe um formato de jogo que satisfaça a preferência de todos os estudantes, mas que há indicativos de que algumas funções, em geral, são consideradas como mais importantes na visão dos estudantes. No levantamento, a presença de objetivos em um jogo foi característica mais importante na preferência dos estudantes e, em segundo, o placar de pontuação.

Atualmente, a diversidade de gêneros de jogos é ampla, quando comparada com o cenário de jogos na década de 1980, já sendo possível encontrar jogos educativos em que a presença de objetivos bem definidos é irrelevante. Por exemplo, o jogo de simulação de física *Algodo* (GREGORCIC; BODIN, 2017), utilizado no ensino Física.

Na conclusão do seu trabalho, Malone (1981) relatou que a sua pesquisa era apenas o começo na busca de respostas para as variadas questões de *game designer instrucional* que estavam surgindo na época.

Malone (1981) também realizou experimentos separados com jogos que exigem habilidades específicas para avaliar as funções mais importantes conforme o tipo de jogo e o perfil do aluno.

A teoria de Malone (1981) é resumida em um quadro de referência para *game design instrucional* com itens divididos em três categorias: desafio, fantasia e curiosidade. Este mesmo quadro tem a função de *checklist* para auxiliar na melhoria e avaliação de jogos digitais instrucionais daquela época.

4.2 JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS: CENÁRIO ATUAL

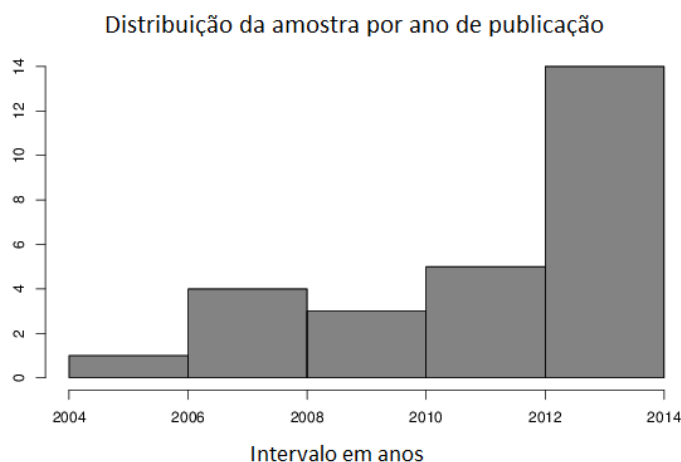
Atualmente, o termo mais comum usado para tratar do fenômeno resultante dessa tendência é, em Língua Inglesa, *digital game-based learning* (DGBL) (PRENSKY, 2007), com o acrônimo DGBL, ainda não há um consenso na Língua Portuguesa, sendo uma alternativa: aprendizagem baseada em jogos digitais. Um estudo sistemático dos impactos e potenciais da aprendizagem baseada em jogos digitais foi realizado por Perrotta *et al.* (2013), com a análise de uma amostra de pesquisas publicadas com base em evidências. Este estudo sistemático resultou na observação de que há uma relação positiva na aplicação de jogos digitais em sala de aula, seja nos resultados de aprendizagem, seja na motivação seja no engajamento dos estudantes.

Hwang e Wu (2012) investigaram o estado atual da tendência DGBL realizando uma revisão de artigos publicados nos sete maiores periódicos da área entre 2001 e 2010. Como resultado, os autores encontraram 137 artigos dentro do período de 10 anos. O número de publicações sobre DGBL nos primeiros 5 anos do período foi 26 e, na segunda metade, foi de 111, quatro vezes maior na segunda metade do período, confirmando a atual tendência crescente de pesquisas pelo tema DGBL. A pesquisa também revela que os três países com maior número de pesquisas na área são: Estados Unidos, Inglaterra e China.

Seguindo a metodologia de Hwang e Wu (2012), Ribeiro *et al.* (2015) investigaram o panorama brasileiro dos jogos digitais educacionais e a aplicação de

teorias de aprendizagem em jogos digitais no período de 2004 a 2014. Na pesquisa, foi constatado um aumento significativo na produção de pesquisas sobre DGBL no Brasil. Um histograma da distribuição por ano de publicação dos artigos em intervalo de dois anos é apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição da amostra por ano de publicação.



Fonte: Ribeiro *et al.* (2015).

Os resultados em Hwang e Wu (2012) e Ribeiro *et al.* (2015) apontam para uma tendência crescente no número de pesquisas sobre DGBL, tanto em pesquisas internacionais como em pesquisas brasileiras.

O problema é que este crescimento em DGBL está ocorrendo sem a integração interdisciplinar de conhecimentos da área de educação e profissionais da computação. Conforme a amostra em Ribeiro *et al.* (2015), 41% das pesquisas brasileiras não fazem a aplicação de teorias de aprendizagem no desenvolvimento de jogos digitais educacionais. Além disso, os autores verificaram que 59% dos artigos não relatam a aplicação de instrumentos para a verificação dos objetivos pedagógicos dos jogos.

4.3 CONCEPÇÃO PEDAGÓGICA EM JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS

No caso do desenvolvimento de jogos digitais educacionais, a primeira etapa na fase de pré-produção é a escolha de um objetivo pedagógico de ensino, para ser adotado no jogo, e de uma concepção de ensino para orientar o processo *game design* instrucional. A escolha de uma concepção de ensino não é tão simples considerando

a quantidade de alternativas existentes e não depende apenas do objetivo pedagógico pretendido, pois é também influenciada pelas limitações de recursos e conhecimentos técnicos disponíveis para a produção do jogo, além do perfil do público-alvo. Assim, o planejamento pedagógico de um jogo digital deve atender a capacidade técnica e as limitações da equipe de produção do jogo, caso contrário, o projeto corre o risco de problemas na fase de produção que inviabilizem a sua finalização.

O planejamento da concepção pedagógica de um jogo digital, para auxiliar em um processo de ensino e aprendizagem, é, preferencialmente, baseado em teorias de aprendizagem. As principais teorias de aprendizagem podem ser classificadas em quatro correntes pedagógicas: Behaviorismo, Cognitivismo, Humanismo e Construtivismo. Em uma pesquisa recente, Wu *et al.* (2012) fizeram um levantamento para investigar quais são as teorias de aprendizagem mais adotadas em situações de ensino mediadas por jogos digitais.

Wu *et al.* (2012), após uma busca com palavras-chave, encontraram 567 estudos sobre aprendizagem baseada em jogos digitais, desses, 91 foram selecionados de acordo com critérios de inclusão/exclusão para melhor satisfazer o estudo. Cada trabalho passou por uma análise e triagem conforme a teoria de aprendizagem integrada na pesquisa. Assim, os autores elaboraram um gráfico para ilustrar o cenário atual da presença das teorias de aprendizagem nas situações de aprendizagem baseada em jogos digitais, segue uma adaptação do resultado representado no Quadro 1:

Quadro 1 - Classificação de teorias e princípios de aprendizagem presentes em artigos sobre aprendizagem mediada por jogos digitais.

Concepção pedagógica	Teoria de aprendizagem	Representante	Nº de publicações
Behaviorismo	Instrução direta	Zig Engelmann (1960)	9
	Instrução programada	Skinner (1954)	3
	Teoria da aprendizagem social	Bandura (1977)	3
Cognitivismo	Teoria da atribuição causal	Weiner (1974)	7
	Teoria da elaboração	Reigeluth (1983)	4
	Desenvolvimento cognitivo	Piaget (1969)	3
	Condições de aprendizagem	Gagné (1965)	2
Humanismo	Teoria da aprendizagem experiencial	Kolb (1984)	25
Construtivismo	Teoria do desenvolvimento social	Vygotsky (1962)	17
	Aprendizagem baseada em problemas	Originou-se em escolas de medicina na década de 1960.	13
	Aprendizagem cognitiva	Vygotsky (1978)	8
	Aprendizagem por descoberta	Bruner (1960)	7
	Aprendizagem baseada em casos	Originou-se da aprendizagem baseada em problemas na década de 1990.	5
	Aprendizagem situada	Lave e Wenger (1990)	4
	Aprendizagem como atividade lúdica	Leont'ev (1978)	3
	Aprendizagem sob a perspectiva da teoria ator-rede	Latour (1987)	1

Fonte: adaptado de Wu *et al.* (2012, p.1158)

Na mesma pesquisa, com base nas principais teorias de aprendizagem encontradas, os autores também definem as características gerais do jogo digital inserido em processos de ensino e aprendizagem:

- o ambiente do jogo deve integrar princípios de aprendizagem eficazes;
- o ambiente do jogo deve promover a interação entre os estudantes e o jogo;
- o jogo deve ser um meio para melhoria da aprendizagem;
- o jogo deve promover a motivação do aluno;
- o jogo deve ser divertido; e

- o jogo deve propiciar oportunidades de aprendizagem por tentativa e erro.

O resultado em Wu *et al.* (2012), representado no Quadro 1, consta como teoria da aprendizagem mais presente na amostra de publicações sobre DGBL, a teoria da Aprendizagem Experiencial de Kolb (1984).

Ribeiro *et al.* (2015) usaram unitermos relacionados com DGBL em Português e o Google acadêmico, em uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar as teorias de aprendizagem aplicadas em jogos digitais educacionais desenvolvidos no Brasil, no período de 2004 a 2014. Após aplicação de critérios de inclusão, a amostra dessa revisão é formada por 27 pesquisas brasileiras sobre jogos digitais educacionais.

O resultado em Ribeiro *et al.* (2015) apresenta o seguinte cenário para as teorias de aprendizagens aplicadas em jogos digitais no panorama brasileiro:

Constatou-se que 40,74% (n=11) dos jogos digitais educacionais apresentados em pesquisas brasileiras não apresentam explicitamente teorias de aprendizagem na fundamentação teórica. Nas demais, observa-se que a teoria de Piaget é a mais citada, presente em 22,22%, (n=6) seguida das teorias de Vygotsky, que aparecem em 14,81% (n=4) das fundamentações teóricas. Além dessas, foram identificadas as seguintes teorias: Bloom (7,40%; n=2); Ausubel (3,70%; n=1); Papert (3,70%; n=1); Gardner (3,70%; n=1); Paulo Freire (3,70%; n=1); Teresa Colomer (3,70%; n=1); abordagem instrucionista, sem um teórico representante (3,70%; n=1). Também, constatou-se que 59,26% (n=16) dos artigos não relatam a aplicação de instrumentos para a verificação dos objetivos pedagógicos dos jogos (RIBEIRO *et al.*, 2015).

O trabalho em Ribeiro *et al.* (2015) mostra que a área DGBL é ampla em possibilidades de aplicação no processo de ensino e aprendizagem para atender diferentes objetivos pedagógicos. Porém, ainda é grande a criação de jogos digitais educacionais sem fundamentação pedagógica, dificultando a inserção definitiva dos jogos digitais em currículos escolares.

4.4 CRÍTICAS À INSERÇÃO DOS JOGOS DIGITAIS NAS ESCOLAS

Prensky (2012) divide os céticos à DGBL em seis grupos: (1) os *tradicionalistas*; (2) os *revisores e reforçadores*; e (3) o grupo do *não vale a pena*; (4) o grupo do *eu receio*; (5) o grupo dos *idealistas*; e (6) o grupo dos *pessimistas*.

Para os (1) tradicionalistas, não há espaço na educação para os jogos digitais, pois o modelo é formado por professor como especialista e os alunos como recebedores, no qual a aprendizagem é um trabalho árduo para ambos.

Enquanto que, para os (2) revisores e reforçadores, os jogos são um complemento no processo de aprendizagem que podem ser utilizados no final de uma sessão de aprendizagem tradicional para uma revisão do conteúdo ou como uma atividade recreativa, mas não de ensinar.

Já para o terceiro grupo, do (3) *não vale a pena*, o conteúdo educacional nos jogos digitais é tão pequeno em relação à quantidade de entretenimento, que inviabiliza os esforços e investimentos despendidos para produzi-los. Para o (4), grupo do *eu receio*, faltam pesquisas sobre os efeitos de longo prazo dos jogos digitais educacionais.

O quinto grupo (5), dos idealistas, é fundado no argumento de que os jogos digitais educacionais só funcionarão quando forem capazes de uma integração verdadeiramente completa entre o conteúdo e o jogo, caso contrário, é perda de tempo. Por último, o sexto grupo (6), dos pessimistas, é formado pelo pensamento de que o jogo não permite uma aprendizagem ativa e, por isso, estão condenados ao fracasso.

Além desses casos citados, Becker (2007) discute, ainda, outro problema para a inserção da DGBL nas escolas. No seu relato de experiência como ministrante de cursos sobre DGBL em escolas do Canadá, a autora destaca como problema o pouco conhecimento dos professores sobre as possibilidades de uso dos jogos digitais na educação.

Em suas pesquisas, Becker e Jacobsen (2005) distribuíram um questionário com 25 perguntas sobre DGBL para professores do Ensino Fundamental de escolas do Canadá, 109 professores responderam o questionário. Os autores observaram uma diferença na atitude dos professores em relação ao DGBL conforme o termo utilizado para representar os programas de computadores, sendo menor a receptividade quando a palavra *game* é utilizada. Ou seja, a ordem de interesse dos professores por DGBL é maior quando o recurso é relacionado com *softwares* educacionais ou simuladores interativos e decresce conforme aproximação com os jogos comerciais de videogames.

Mesmo quando há o interesse dos professores por DGBL, Becker e Jacobsen (2005) investigaram outras barreiras para um maior envolvimento dos professores com DGBL, destacando também o problema da falta de tempo dos professores para planejar e trabalhar com projetos de jogos digitais em suas aulas.

Os jogos digitais são comumente associados a uma atividade de entretenimento e criticados por seus elementos atrativos capazes de manter um jogador por horas diante da tela do jogo (PORTER *et al.*, 2010). Na maioria dos casos, os jogadores buscam algum tipo de retorno pessoal, como prazer em vencer desafios e a obtenção de bons resultados, ou, ainda, retorno social, no caso dos jogos *online* (YEE, 2006).

Essa característica de atração intrínseca aos jogos digitais também facilita a sua aplicação com finalidades educacionais, seja de aprendizagem, seja de conscientização seja de socialização, como ocorre no caso dos jogos do gênero *serious games*, que são jogos de propósitos sérios com objetivos de conscientização para um problema social real (BREUER e BENTE, 2010).

4.5 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DE JOGOS DIGITAIS EDUCACIONAIS

Na amostra em Ribeiro *et al.* (2015), foi observado que, em pesquisas brasileiras sobre jogos digitais educacionais, não é comum a utilização de instrumentos de validação em 59% dos casos. Além disso, nas pesquisas que utilizam um instrumento, geralmente, não são estatisticamente validados ou de confiabilidade. Conforme Pilatti, Pedroso e Gutierrez (2010), a qualidade de um instrumento depende de processos de testagem de propriedades psicométricas.

Para Ak (2012), o processo de avaliação de jogos digitais educacionais são importantes por indicarem a qualidade de um jogo antes da sua aplicação em sala de aula por um professor.

Ribeiro *et al.* (2015) apresentam, em seu trabalho, quatro instrumentos validados e com confiabilidade estatística, que podem ser reaplicados em pesquisas sobre DGBL: *eGameFlow* (FU; SU e YU, 2009); *Game Engagement Questionnaire* (GEQ) (BROCKMYER *et al.*, 2009); *Social Presence in Gaming Questionnaire* (SPGQ) (KORT; IJSSELSTEIJN e POELS, 2007); *Instructional Material Motivational Survey* (IMMS) (HUANG *et al.*, 2006).

A falta de adoção de teorias de aprendizagem, como as do Quadro 1, e a falta de aplicação de instrumentos validados e confiáveis representam uma situação que não colabora para a consolidação da aprendizagem baseada em jogos digitais em ambientes de ensino. O problema é que, em muitas pesquisas sobre jogos digitais educacionais, o foco da investigação tende para as questões tecnológicas e tratam as questões pedagógicas com muita superficialidade.

5 HOMO LUDENS E JOGO

Homo ludens é uma expressão que representa uma terceira função na vida humana, depois de *Homo faber* e *Homo sapiens*. Esta expressão está relacionada como a ideia de “jogo” tomado como fenômeno cultural. Para Huizinga (2000), *Homo ludens* é estudado em uma perspectiva histórica e não propriamente científica em sentido restrito. Nesta perspectiva, Huizinga mostra que o jogo é mais antigo que a própria ideia de cultura.

O jogo como atividade lúdica está presente na sociedade humana e ultrapassa os limites da atividade física ou biológica e transcende as necessidades imediatas da vida, fazendo parte natural da vida, não só da sociedade humana, mas também no nível animal. É fácil observar a presença do jogo em brincadeiras de cachorros em que, naturalmente, estipulam formas, regras e elementos de competição, todos meramente lúdicos.

Huizinga (2000) explica que há várias tentativas de definição da função biológica do jogo. Algumas consideram o jogo como resultado de descarga vital superabundante, outros como um “instinto de imitação” acompanhado de satisfação. O jogo também pode ser considerado como uma **atividade de preparação para a vida adulta** ou um exercício de autocontrole indispensável ao indivíduo. O jogo pode ser simplesmente associado ao desejo de dominar ou competir.

O **jogo é uma atividade de prazer** que resulta em um divertimento e isso está na essência da sua natureza, sendo uma consequência de uma descarga de energia excessiva após um esforço, não restrita apenas à vida humana. Assim, conforme Huizinga (2000), o jogo possui uma realidade autônoma. Para o autor, a existência do jogo é inegável, é possível negar abstrações como Deus, mas não o jogo.

A existência do jogo é uma confirmação da natureza supralógica da situação humana ou animal, mostrando que esses não são simples seres mecânicos e mais que simples seres racionais, pois, segundo Huizinga (2000), **o jogo é irracional**.

Uma característica discutida por Huizinga (2000) é que o jogo é **diametralmente oposto à seriedade**. Mas há uma diferença entre pensar “o jogo é a não seriedade” e “o jogo não é sério”, pois alguns tipos de jogos são extraordinariamente sérios.

Outra característica levantada por Huizinga (2000) é que **o jogo é uma atividade voluntária**. Se o jogo for algo forçado ou sujeito a ordens, então, deixa de ser jogo. Assim, o jogo é uma atividade provinda da liberdade, como no caso das crianças e animais, que brincam, simplesmente, porque gostam de brincar, seja por instinto seja por necessidade de desenvolverem novas faculdades.

Sobretudo, o jogo é algo supérfluo. Huizinga (2000) coloca que jogo é uma necessidade pelo prazer que ele proporciona, não sendo justificado pela necessidade física ou pelo dever moral, sendo sempre **praticado nas “horas de ócio”**.

Huizinga (2000) destaca o fato do jogo ser livre a primeira das características fundamentais do jogo. Uma segunda característica é que o jogo não é vida “real”, mas sim uma evasão da vida “real” que perdura temporariamente com orientação própria, como no **“fazer de conta”** nas brincadeiras de criança. A terceira característica é que o jogo é limitado, ou seja, acaba em um determinado instante e distingue-se da vida “comum”.

Outra característica do jogo mais positiva ainda é que ele cria ordem e que **qualquer desobediência a esta “estraga o jogo”**. Isso remete que há nele uma tendência para ser belo, envolvendo um fator estético.

Segundo Huizinga (2000), o efeito da beleza do jogo é que lança sobre os nós um feitiço cativante ou fascinante. Esses efeitos são resultantes da natureza do jogo em possuir duas das qualidades nobres: o ritmo e a harmonia.

Todos os jogos possuem suas regras que determinam aquilo que “vale” dentro do jogo. As regras não podem ser discutidas, nenhum ceticismo é possível, as regras são verdades inabaláveis. Como Huizinga (2000) comenta, o jogador que desrespeita as regras é um “desmancha-prazeres”. Mas esse jogador é diferente do desonesto. Jogadores com conduta de “desmancha-prazeres” abalam o próprio mundo do jogo que é relativamente frágil, pois é alimentado pela ilusão.

Uma consequência observada no jogo é que, geralmente, os jogadores formam clubes ou associações e continuam juntos mesmo após o término do jogo, formando agrupamento sociais permanentes. Essa união em torno do jogo revela uma forma de segredo do jogo, gerando curiosidade dos que não fazem parte do grupo. Essa situação pode muito bem ser observada nas brincadeiras de crianças.

Huizinga (2000, p. 16) faz um resumo das características formais do jogo percorridas até aqui:

Numa tentativa de resumir as características formais do jogo, poderíamos considerá-lo uma atividade livre, conscientemente tomada como "não-séria" e exterior à vida habitual, mas ao mesmo tempo capaz de absorver o jogador de maneira intensa e total. É uma atividade desligada de todo e qualquer interesse material, com a qual não se pode obter qualquer lucro, praticada dentro de limites espaciais e temporais próprios, segundo uma certa ordem e certas regras. Promove a formação de grupos sociais com tendência a rodearem-se de segredo e a sublinharem sua diferença em relação ao resto do mundo por meio de disfarces ou outros meios semelhantes. (HUIZINGA, 2000, p. 16).

O jogo e a competição estão presentes na formação da cultura. Huizinga (2000) discute o surgimento da cultura sob a forma de jogo. Mesmo nas sociedades primitivas em que a atividade de caça representava, além das necessidades vitais, uma forma lúdica e prazerosa. Assim, nas fases mais primitivas da sociedade, a cultura já continha um caráter lúdico, uma relação natural entre cultura e jogo. No jogo, sempre há o sentimento da tensão e incerteza, como na pergunta "dará certo?".

Cabe aqui fazer uma distinção entre os jogos que exigem faculdades específicas e os jogos puramente de sorte. Segundo Huizinga (2000), os jogos de azar são inúteis para o estudo da evolução da cultura, nada acrescentam. O jogo é elevado para um nível cultural quando possui valores estéticos.

Huizinga (2000) discute a inclusão da característica de competição aos jogos, que é feita seguramente. A competição também é, geralmente, desprovida de objetivo e termina em si mesma, não agregando contribuição vital para a vida. Em competições, é comum a presença de espectadores que contribuem para um duplo prazer para a pessoa que está competindo, mas o jogador sente prazer mesmo sem plateia. Huizinga (2000) complementa que, nos jogos, é importante que o jogador possa **se gabar a outros** de seus êxitos, um caso de autoaprovação, como na foto do pescador exibindo seu peixe.

O **"ganhar"** é mais relevante quando há adversários, pois manifesta superioridade num determinado jogo. Segundo Huizinga (2000), em grupos, o vencedor ganha algo além do jogo, ganha estima, conquista e honrarias. E o êxito obtido por um indivíduo passa para o grupo, sendo essa uma característica muito importante do jogo. Há um outro aspecto importante na competição que é o "instinto" de competição, o desejo de ser melhor e ser aclamado por uma boa classificação.

Mesmo sendo um trabalho de elaborado na década de 1930, as características de jogo levantadas por Huizinga estão presentes em uma modalidade

de jogo que surgiu bem mais tarde na forma de máquinas de arcade, reunidas em casas de fliperamas ou videogame. Os fliperamas, ou casas de jogos eletrônicos, surgiram na década de 1970 e, atualmente, ocupam espaços significativos em áreas de lazer de *shopping centers* em grandes cidades.

Uma das características citadas por Huizinga e destacada por Spring (2014) é que os jogos digitais são convidativos e atraem os jogadores para entrarem em uma espécie de “círculo mágico”. Huizinga (2000) comenta que, no interior desse círculo, as habituais diferenças de categoria entre os homens são temporariamente abolidas. Huizinga (2000, p. 23) compara esse “círculo mágico” do jogo com os espaços sagrados:

De um ponto de vista formal, não existe diferença alguma entre a delimitação de um espaço para fins sagrados e a mesma operação para fins de simples jogo. A pista de corridas, o campo de tênis, o tabuleiro de xadrez ou o terreno da amarelinha não se distinguem, formalmente, do templo ou do círculo mágico. A extrema semelhança que se verifica entre os rituais dos sacrifícios de todo o mundo mostra que esses costumes devem ter suas raízes em alguma característica fundamental e essencial do espírito humano. É costume reduzir esta analogia geral das formas de cultura a qualquer causa "racional" ou "lógica", explicando a necessidade de isolamento e separação pela ânsia de proteger os indivíduos consagrados de influências maléficas, pois eles, em seu estado de consagração, são particularmente vulneráveis às práticas dos espíritos malignos, além de constituírem eles mesmos um perigo para os que os rodeiam. (HUIZINGA, 2000, p. 23).

Essa característica convidativa dos jogos está relacionada com outro aspecto importante que é o interesse voluntário do jogador em participar de um jogo.

O conceito de jogo foi revisto por Juul (2002), o qual descreve o modelo clássico de jogo como uma lista de seis características que são necessárias e suficientes para que alguma atividade seja considerada como um jogo. Juul revisou trabalhos de pesquisadores e teóricos clássicos como: Johan Huizinga; Roger Caillois; Avedon e Sutton; Chris Crawford; David Kelley; Katie Salen e Eric Zimmerman.

Após a revisão das diferentes definições para o conceito de jogo em cada trabalho, Juul propôs uma definição para jogo baseada em seis pontos: (1) jogos são baseados em regras; (2) o resultado é variável e quantificável; (3) possui atribuição de valores para possíveis resultados; (4) o jogador esforça-se para obter determinados resultados; (5) o jogador é influenciado, psicologicamente, pelo resultado; e (6) as consequências do jogo na vida real são negociáveis e opcionais. Esses seis pontos resultaram na seguinte definição de jogo por Juul (2002):

“O jogo é um sistema formal baseado em regras com resultados variáveis e quantificáveis, onde diferentes valores são atribuídos para diferentes resultados, o jogador exerce esforço que influencia o resultado, o jogador sente-se ligado ao resultado, e as consequências do jogo são opcionais e negociáveis. (JUUL, 2002, p. 255, tradução nossa¹⁸).”

O sexto ponto proposto na definição por Juul é abordado na teoria de Huizinga e, também, abordado por Hopkins e Roberts (2015), que destacam, no trabalho de Huizinga, a questão do jogo ser algo distinto da vida ordinária, havendo uma descontinuidade entre ambos. Essa observação afeta, principalmente, o caso dos jogos digitais educativos usados em espaços escolares, pois **o ambiente escolar remove o aspecto de voluntariedade** e reduz, simultaneamente, a autenticidade da concepção de jogo, os alunos não têm a opção de recusar o convite de jogar.

Hopkins e Roberts (2015) utilizam uma expressão bastante condizente para o caso dos jogos digitais educativos: “*brócolis com cobertura de chocolate*”, ideia também empregada em Bruckman (1999) e Li (2012). Para concluir esse capítulo, a expressão citada por Hopkins e Roberts (2015) remete à seguinte questão: “*Qual é o verdadeiro propósito em utilizar um jogo digital em um processo de ensino e aprendizagem?*”.

¹⁸ Texto original: “*A game is a rule-based formal system with a variable and quantifiable outcome, where different outcomes are assigned different values, the player exerts effort in order to influence the outcome, the player feels attached to the outcome, and the consequences of the activity are optional and negotiable* (JUUL, 2002, p. 255).”

6 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa é delineada seguindo orientações atuais para o desenvolvimento da área DGBL, principalmente, descritas por Mayer (2014), que realizou um amplo estudo com abordagem cognitivista baseada em evidências sobre a aprendizagem baseada em jogos digitais. Mayer considera como evidências os resultados de experimentos que fazem a comparação de diferentes formas de aplicar os jogos digitais em um mesmo contexto de ensino. Nestes experimentos, a análise de comparação é feita com o apoio de instrumentos do tipo pré/pós-testes, que são empregados para verificar tanto o desempenho de aprendizagem dos alunos como o processo cognitivo envolvido durante a atividade.

Assim, esta pesquisa adota uma metodologia experimental quantitativa conforme recomendações metodológicas de Creswell (2010). A escolha por uma metodologia experimental se deu pela preocupação em testar hipóteses com variáveis definidas à priori e, quantitativamente, mensuráveis. Nesta abordagem, os dados coletados são analisados, principalmente, por meio de procedimentos estatísticos e da testagem de hipóteses.

Segundo Mayer (2014), na sua pesquisa sobre aprendizagem baseada em jogos digitais, há três tipos de questões que predominam quanto às pesquisas sobre jogos digitais educacionais: *valor-agregado*; consequências cognitivas e comparação de mídias.

Resumidamente, as pesquisas do tipo *valor-agregado* envolvem questões que investigam se uma característica “X” do jogo afeta positivamente ou negativamente a aprendizagem de um conteúdo. As pesquisas do tipo *consequência cognitiva* envolve questões sobre os efeitos que o jogo proporciona em relação às habilidades cognitivas adquiridas por um jogador após experimentar um jogo durante um certo tempo. As pesquisas com questões do tipo *comparação de mídia* estão preocupadas em saber se um jogo resulta em melhores resultados de aprendizagem de um determinado conteúdo quando comparado com as mídias convencionais.

Considerando essa classificação metodológica, esta pesquisa possui características associadas com o primeiro tipo de pesquisa citado por Mayer: pesquisa de *valor-agregado*, pois deseja-se conhecer os efeitos da presença da seção de jogo, ou módulo *vegas*, nas simulações do projeto PhET.

Para o caso de pesquisa de *valor-agregado*, Mayer (2014) sugere a realização de design experimental por comparação com grupo experimental e grupo de controle para determinar os efeitos de uma característica “X” adicionada a um jogo digital educacional. Neste tipo de experimento, o grupo de controle e o grupo experimental recebem intervenções idênticas, exceto por um elemento. Os grupos podem ser preexistentes, como no caso de turmas de estudantes, ou por grupos de estudantes formados por distribuição aleatória, que é o caso adotado nesta metodologia.

Na análise de um experimento pedagógico com jogos digitais, Mayer (2014) considera relevante adotar uma abordagem baseada na Ciência Cognitivista, como o caso da Teoria da Carga Cognitiva e da Teoria da Aprendizagem Multimídia, discutidas em capítulo anterior, que são modelos representacionais da mente humana no processamento de informação.

Assim, a metodologia desta pesquisa é elaborada com o delineamento experimental e com coleta de dados, predominantemente, quantitativos. No delineamento, buscou atender as hipóteses de pesquisa elaboradas para examinar situações em que simulações originais e modificadas são utilizadas como recursos facilitadores no ensino do conteúdo Momento de uma Força, da disciplina de Física do 1º ano do Ensino Médio¹⁹.

Os instrumentos utilizados para a investigação proposta visaram examinar aspectos tanto de eficiência de aprendizagem como da atitude dos estudantes. Além da coleta de dados em espaço escolar, também foram comparadas coletadas informações de utilização dos recursos em ambientes informais de ensino, isso por meio do monitoramento de retorno de acessos às simulações disponíveis em um endereço eletrônico próprio: <http://fisicagames.com.br>.

6.1 HIPÓTESES DE ESTUDO

Conforme contexto apresentado no capítulo da Introdução, as questões iniciais levantadas nesta pesquisa podem ser sintetizadas como seguem:

¹⁹ Os autores dessa pesquisa já possuem um relato de experiência publicado no periódico *Research in Science & Technological Education* de proposta de recurso didático no formato de curta-metragem de animação para o ensino deste mesmo conteúdo, Momento de uma Força, com alunos do Ensino Médio (KOSCIANSKI; RIBEIRO; DA SILVA, 2012).

- Por que utilizar elementos de jogos clássicos nas simulações interativas do projeto PhET?
- Como a seção de jogo pode contribuir para as simulações interativas em diferentes ambientes de ensino e perfis de alunos?
- A proposta de aprendizagem pela descoberta guiada é afetada com a presença da seção de jogo nas simulações interativas do projeto PhET?
- A seção de jogo representa aumento da carga cognitiva para a memória de trabalho durante o processo cognitivo de aprendizagem?

Diante dessas questões, como proposta metodológica, utilizou-se de métodos quantitativos para entender os efeitos da aplicação de elementos de *game design* nas simulações interativas considerando múltiplas variáveis de pesquisa envolvidas no processo de ensino e aprendizagem.

Considerando as variáveis envolvidas, seguem as hipóteses iniciais de estudo examinadas nesta pesquisa, elaboradas conforme discussões anteriores:

- 1) H₁: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a aquisição de conhecimento em aulas de Física com estudantes do Ensino Médio.
- 2) H₂: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a retenção de conhecimento em aulas de Física com estudantes do Ensino Médio.
- 3) H₃: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a carga cognitiva envolvida no processo de ensino e aprendizagem em aulas de Física.
- 4) H₄: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET influencia o interesse dos estudantes pela utilização das simulações em situações fora do contexto escolar.

Assim, diante dessas hipóteses, um design experimental foi elaborado para a aplicação do objeto em estudo e coleta de dados, envolvendo instrumentos que contemplam a proposta de projeto de métodos quantitativos. Para isso, a simulação “Balançando” foi escolhida para o teste, uma versão com a seção de jogo presente e outra versão modificada sem a presença dessa seção para os estudantes.

Em termos de variáveis de pesquisa, as variáveis independentes neste estudo são representadas por simulações com e sem a presença da seção de jogo. Esses recursos são manipulados e controlados pelo pesquisador para determinar seus efeitos no fenômeno do processo de ensino e aprendizagem de conteúdos de Física.

As variáveis dependentes são as respostas obtidas em testes aplicados após as aulas com as simulações PhET propostas no ensino de Física. As variáveis dependentes na aplicação das simulações envolvem resultados de testes de eficiência de aprendizagem, as atitudes dos alunos em face do recurso didático, a carga cognitiva atribuída ao processo cognitivo, e, conseqüentemente, as variáveis intervenientes e biográficas.

As variáveis intervenientes que podem influenciar os resultados são: os interesses particulares dos estudantes por jogos de videogames, que podem influenciar em suas expectativas em relação ao recurso didático investigado; o empenho dos estudantes nos momentos de verificação da aprendizagem; as motivações pessoais dos participantes do estudo; o bom funcionamento dos computadores do laboratório de informática; os interesses pessoais ou inclinações dos alunos em relação à proposta diferenciada de ensino, e a disponibilidade e qualidade de acesso à Internet dos alunos em ambientes fora da escola. Essas variáveis foram avaliadas dentro das possibilidades e limitações do escopo dessa pesquisa.

6.2 GRUPOS PARTICIPANTES

Nesta pesquisa, um número fixo de aulas experimentais foram realizadas em ambiente natural de ensino, no contexto do Instituto Federal do Paraná (IFPR) – Câmpus Telêmaco Borba. Além dos cursos superiores, o IFPR-Telêmaco Borba possui entrada anual de quatro turmas de 40 alunos do 1º do Ensino Médio dos cursos. A pesquisa foi aplicada com estudantes de duas turmas dos cursos: Técnico em Informática para Internet; e Técnico em Mecânica. Uma descrição detalhada do perfil desses alunos participantes é apresentada no capítulo dos resultados. Para verificação da validade externa dos resultados, a pesquisa foi reaplicada no ano seguinte, em 2017, com duas turmas do curso Técnico em Mecânica em um delineamento quase-experimental.

As aulas de Física são ministradas no espaço de sala de aula com quadro e giz, nos laboratórios de Física e nos laboratórios de Informática da instituição. A metodologia de ensino de Física já adotada nas aulas pelo professor é de concepção cognitivista com avaliação contínua e diagnóstica individualizada, ou seja, em todas as aulas, é aplicado um teste ou uma atividade de avaliação. O planejamento das aulas posteriores levam em conta os resultados dos alunos nas avaliações diárias, auxiliando nas decisões de escolha de novos tópicos e na necessidade de revisão de conteúdos anteriores.

Antes da realização das aulas experimentais, o projeto foi submetido ao comitê de Pesquisa e Extensão (COPE) do IFPR – Campus Telêmaco Borba, conforme orientações e procedimentos institucionais. Os responsáveis dos participantes foram avisados da realização da pesquisa por meio de termo de consentimento livre e esclarecido.

O professor/pesquisador também exerce influência no resultado por ser responsável pela condução da aula, mas também é influenciado pelos alunos e pelo recurso didático investigado. Assim, a atividade pedagógica foi conduzida com flexibilidade, permitindo mudanças a qualquer momento em prol da qualidade da aprendizagem dos alunos.

6.3 DESIGN EXPERIMENTAL

As decisões metodológicas dessa pesquisa foram planejadas conforme a definição das hipóteses de pesquisa. Considerando a abrangência de análise de variáveis dessas hipóteses, esta pesquisa adotou uma coleta de dados baseada no projeto de métodos mistos incorporado, conforme orientações metodológicas presentes em Creswell (2010).

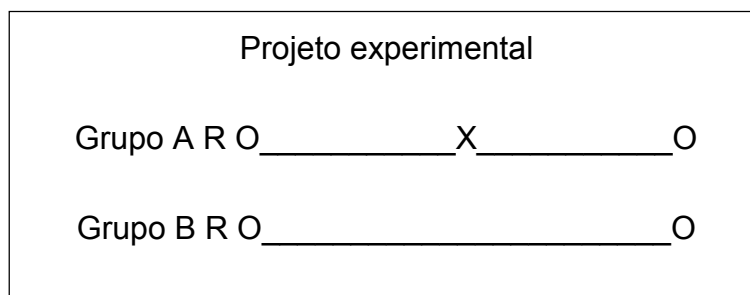
Creswell (2010, p. 193) sugere que os procedimentos específicos de intervenção de um projeto experimental sejam identificados. Para isso, o autor utiliza a forma de diagramas com um sistema de notação clássico:

- ✓ X: representa uma exposição de um grupo a uma variável ou a um evento experimental, cujos efeitos deverão ser medidos.
- ✓ O: representa uma observação ou medida registrada em um instrumento.

- ✓ Os X e O em uma dada linha são aplicados às mesmas pessoas específicas. Os X e O na mesma coluna, ou colocados verticalmente em relação um ao outro, são simultâneos.
- ✓ A dimensão da esquerda para a direita indica a ordem temporal dos procedimentos em um experimento (às vezes, indicado com uma seta).
- ✓ O símbolo R indica designação aleatória.
- ✓ A separação de linhas paralelas por uma linha horizontal indica que os grupos de comparação não são iguais (ou igualados) pela designação aleatória. Nenhuma linha horizontal entre os grupos indica designação aleatória dos indivíduos aos grupos de tratamento.

Assim, utilizando essa notação, é possível representar o procedimento experimental quando envolve um grupo A experimental e um grupo B de controle, selecionados com designação aleatória. Nesses casos, somente o grupo A experimental recebe o tratamento. Este modelo é conhecido como projeto experimental verdadeiro e é representado por Creswell (2010, p. 195) conforme a Figura 6.

Figura 6 - Diagrama de projeto experimental.



Fonte: adaptado de Creswell (2010, p. 195).

O projeto experimental no diagrama da Figura 6 é o modelo clássico para este procedimento metodológico. Nesta pesquisa de métodos quantitativos, este modelo foi adaptado conforme a organização e sequência de aplicação dos instrumentos de coleta de dados em três aulas experimentais, a segunda aula ocorreu duas semanas após a primeira e a terceira aula ocorreu quatro meses depois.

O diagrama da Figura 7 representa as etapas da primeira aula experimental, indicando os momentos de aplicação dos instrumentos de coleta de dados, os quais são descritos nas seções seguintes deste capítulo. Conforme indicado no diagrama, os grupos S e G foram formados aleatoriamente por alunos de duas turmas do Ensino Médio Profissionalizante. O método de distribuição aleatória considerou a ordem de

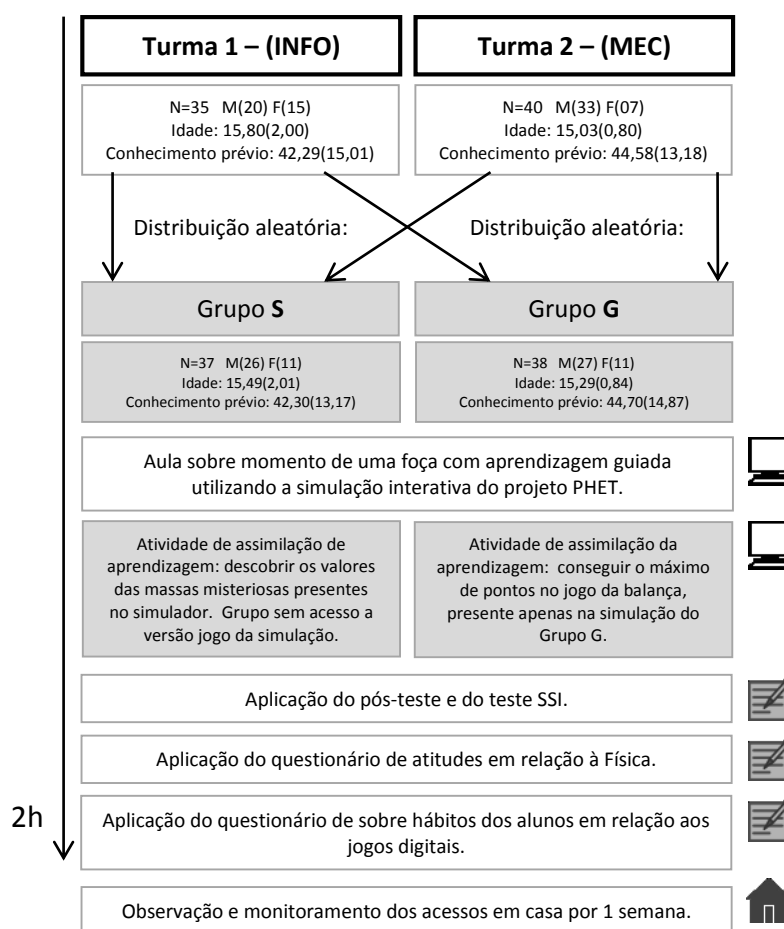
chegada dos alunos, a primeira metade formou um grupo e a segunda metade, o outro grupo.

O diagrama da Figura 7 apresenta informações como a quantidade alunos participantes em cada grupo (N) com a indicação da quantidade de alunos por gênero, M: masculino e F: feminino. As médias e os desvios padrões obtidos pelos grupos em onze testes de Física, aplicados no mesmo semestre da intervenção, são indicados no diagrama com o objetivo de verificar se os grupos possuem semelhanças em conhecimentos prévios na disciplina.

A aula com a turma do Grupo G envolveu a aplicação da simulação interativa “Balançando” do grupo PhET com a presença da seção de jogo, programada com o módulo “vegas”. Enquanto que a turma do grupo B teve a mesma aula, mas com uma versão modificada da simulação interativa “Balançado”, no caso, sem a presença da seção de jogo.

As aulas ocorreram com o auxílio de guias de orientação de atividades de aprendizagem, elaborados com base em material disponível no próprio portal do projeto PhET, conforme constam no Apêndice A. Nas fases iniciais de apresentação do conteúdo, a atividade proposta foi igual para ambos os grupos. Porém, as atividades propostas diferiram na ênfase dada para a concepção de ensino adotada na atividade prática de assimilação de conhecimento. Enquanto que, para o Grupo S, a ênfase foi em uma concepção de ensino baseada na aprendizagem pela descoberta guiada; o Grupo G teve como ênfase a aprendizagem baseada em jogos digitais.

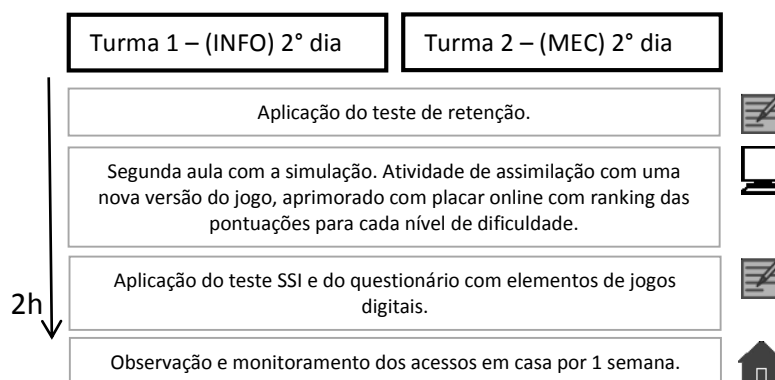
Figura 7 - Diagrama do primeiro procedimento experimental



Fonte: Autoria própria (2016).

Após duas semanas da primeira intervenção, sem aulas de Física nesse período, uma segunda intervenção foi realizada para aplicação do teste de retenção e uma aula utilizando uma versão modificada da simulação com a seção de jogo digital com todos os alunos. Nessa versão modificada, foi programado um placar geral de pontuação, adicionando, dessa maneira, elementos de *game design* instrucional com características sociointerativas. A programação foi realizada utilizando linguagens como HTML, Javascript, Ajax e PHP, além da integração com um banco de dados MySQL. O diagrama da Figura 8 representa as etapas dessa segunda aula experimental, indicando os momentos de aplicação dos instrumentos de coleta de dados.

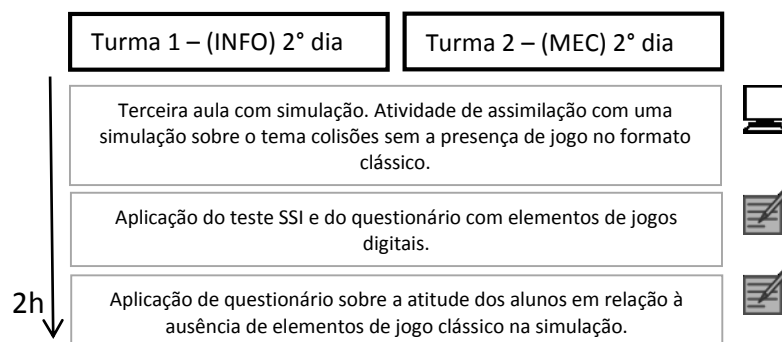
Figura 8 - Diagrama do segundo procedimento experimental



Fonte: Autoria própria.

Após a análise prévia dos dados coletados no primeiro e segundo procedimento experimental, uma terceira aula experimental foi elaborada para avaliar questões complementares levantadas durante a pesquisa. Nesta experiência, todos os alunos tiveram a mesma aula sobre colisões utilizando a simulação “Laboratório de Colisões” do grupo PhET²⁰. O diagrama da Figura 9 representa as etapas da terceira aula experimental, indicando os momentos de aplicação dos instrumentos de coleta de dados.

Figura 9 - Diagrama do terceiro procedimento experimental.



Fonte: Autoria própria.

Conforme consta no diagrama da Figura 9, além do teste de medida de carga cognitiva (SSI), um questionário foi aplicado para avaliar o interesse dos alunos por uma lista de elementos de *game design* plausíveis de aplicação em simulações interativas. Esse questionário de sondagem foi criado com o objetivo de orientar

²⁰ Simulação “Laboratório de Colisões”. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/collision-lab>. Acessado em 12 de agosto de 2016.

futuros trabalhos de aplicação de *game design* em simulações iterativas educacionais fornecendo um levantamento das preferências dos estudantes por determinados elementos de *game design*.

6.3.1 Conhecimentos prévios, pós-teste e teste de retenção

O tempo disponível para o procedimento experimental em ambiente natural de ensino foi de 2 horas. No diagrama da Figura 7, são indicados os momentos de aplicação do pós-teste, o qual foi elaborado para avaliar a aquisição de conhecimento dos alunos após a aula. Esse teste foi utilizado em dois momentos, após a aula principal e, posteriormente, na segunda intervenção como teste de retenção de conhecimento. O teste de retenção teve os valores dados nos enunciados modificados para evitar o efeito memória. Como conhecimento prévio em Física dos alunos, consideraram-se os resultados médios obtidos pelos alunos em 11 avaliações de Física realizadas durante o mesmo semestre letivo²¹.

Neste estudo, o pós-teste e o teste de retenção foram adaptados de atividades já existentes no próprio portal do projeto PhET para cada recurso disponível. O portal possui uma seção exclusiva para professores com orientações e recursos para a condução da aprendizagem pela descoberta guiada para cada simulação disponível, conforme exemplo na Figura 10.

²¹ No processo avaliativo da disciplina, os resultados nessas 11 avaliações são combinados com os resultados obtidos em demais atividades realizadas, como práticas de laboratório, pesquisas e resenhas de documentários científicos ou filmes. Dessa maneira, as médias de conhecimento prévio apresentadas no capítulo de resultados possuem efeitos apenas nesta pesquisa e não representam rendimentos escolares, inclusive, o sistema avaliativo bimestral da instituição é por conceitos: A, B, C e D.

Figura 10 - Seção de recursos para professores no portal PhET.

Ver Atividades

Balancing Act Inquiry ★

- Balancing Act_Sample_Lesson.docx - 41 kB
- Balancing Act_Sample_Lesson.pdf - 97 kB
- PostLab_Balancing_Act.pdf - 15 kB
- PostLab_Balancing_Act_9-13-2011.docx - 32 kB
- PreLab_Balancing_Act.pdf - 13 kB
- PreLab_Balancing_Act_9-13-2011.docx - 31 kB

Download todos os arquivos em formato compactado (.zip)

Título	Balancing Act Inquiry
Descrição	
Assunto	Física
Nível	Ensino Médio e Final do Fundamental

Fonte: PhET (2016a).

Esses recursos são atividades que podem ser impressas, e utilizadas durante uma aula de Física e também como avaliações de diagnóstico de aprendizagem. Para esta pesquisa, foi escolhida uma atividade disponibilizada no portal no idioma Inglês, portanto, essa foi traduzida e adaptada para o idioma Português. Os respectivos pós-teste e teste de retenção adaptados encontram-se no Apêndice B.

6.3.2 Questionário de atitudes dos alunos

No primeiro procedimento experimental, um questionário de atitude foi aplicado para um diagnóstico da visão geral dos alunos em relação à disciplina de Física. Considerando que o experimento ocorreu em duas turmas diferentes, mas com perfis semelhantes, esse instrumento foi necessário revelar com mais precisão as características de cada turma e de cada grupo formado. Os resultados deste teste são apresentados no capítulo seguinte.

O questionário de atitude elaborado é uma adaptação de questionários que já passaram por testes de campo. Como primeira opção, Menegotto e Rocha Filho (2008) elaboraram um questionário específico para medir a atitude de alunos do Ensino Médio em relação à disciplina de Física. Esse teste é formado por 14 afirmações do tipo escala e 4 questões subjetivas. A vantagem deste teste é o baixo

tempo necessário para aplicação. As questões do tipo escala presentes no teste de Menegotto e Rocha Filho (2008) estão no Quadro 2.

Quadro 2 - Questionário de atitude de alunos em relação à disciplina de Física.

Convenção	A	B	C	D	E
1. Os assuntos estudados pela disciplina de Física são interessantes e importantes para o desenvolvimento da sociedade.					
2. Estudo Física apenas para passar de ano.					
3. Não vejo aplicação prática do que aprendo nas aulas de Física.					
4. Sinto prazer em desenvolver as atividades na disciplina de Física.					
5. Para mim, estudar Física é perda de tempo.					
6. Sinto-me completamente perdido nas aulas de Física.					
7. Percebo a importância e aplicação da Física nas minhas atividades diárias.					
8. Estudo Física com prazer.					
9. Acho difícil aprender Física.					
10. A Física desperta a minha curiosidade.					
11. Sinto-me desconfortável só de ouvir a palavra Física.					
12. Aprendo Física com facilidade.					
13. Não vejo nada interessante nas aulas de Física.					
14. Gosto muito de estudar Física.					

(A: Concordo totalmente, B: Concordo parcialmente, C: Sem opinião, D: Discordo parcialmente, E: Discordo totalmente).

Fonte: Menegotto e Rocha Filho (2008, p. 302).

O teste de Menegotto e Rocha Filho (2008), apesar da vantagem de ser econômico, não foi avaliado estatisticamente com testes robustos de relação entre itens e categorias. Assim, outra opção utilizada como referência é o teste com 28 itens do tipo escala de Likert proposto em Talim (2004), que foi testado com 502 alunos do Ensino Médio. Talim (2004) fez a validação desse teste com análise de correlação item-total e consistência interna com cálculo de alfa de Cronbach. Seguem os 28 itens presentes neste questionário:

1. Os problemas de Física despertam a minha curiosidade.
2. Eu não gosto de Física.
3. Não consigo entender nada de Física.
4. A Física é fascinante.

5. Estudo Física porque sou obrigado.
6. Tenho prazer em resolver um problema de Física.
7. Nas aulas de Física, me sinto muito bem.
8. Quando estudo Física, sinto-me incomodado.
9. Física é a matéria que mais me interessa.
10. Estudar Física para mim é perda de tempo.
11. Quando tento resolver um problema de Física, desanimo logo.
12. Aprender Física me traz satisfação.
13. Eu sinto facilidade em aprender Física.
14. Fico nervoso só de pensar em ter que resolver problemas de Física.
15. Acho a Física muito importante.
16. Gosto muito da Física.
17. Estudo Física apenas para passar de ano.
18. A Física me ajuda a resolver problemas práticos.
19. Um problema difícil de Física me desafia a resolvê-lo.
20. Sinto-me completamente perdido quando estudo Física.
21. As aulas de Física me deixam inquieto, irritado e desconfortável.
22. Quando estudo Física, sinto-me estimulado a aprender.
23. Os conteúdos estudados em Física não me são de qualquer utilidade.
24. Sinto-me bem resolvendo problemas de Física.
25. Sinto desgosto só de ouvir a palavra Física.
26. Não acho nenhuma utilidade para o que aprendo em Física.
27. Desejo aprender Física, pois julgo que ela me é necessária e útil.
28. Sinto-me tranquilo e confiante nas aulas de Física.

Apesar da validação estatística mais robusta, o questionário de atitude de Talim (2004) possui o dobro de itens em relação ao questionário de Menegotto e Rocha Filho (2008), exigindo mais tempo para sua aplicação.

Como esta pesquisa utiliza simulações interativas do projeto Phet, considerou também um questionário elaborado pelos próprios pesquisadores do projeto PhET para medir atitudes dos alunos em relação à aprendizagem de ciência, intitulado como *Colorado Learning Attitudes about Science Survey* (CLASS). A validação estatística deste teste contou com mais de 5.000 aplicações e foi elaborado com uma ampla discussão confrontando fundamentações teóricas relevantes (ADAMS *et al.*, 2006).

O questionário de atitude CLASS é composto de 42 itens do tipo 5 pontos na escala Likert. A facilidade para a utilização deste teste é que os autores disponibilizaram uma versão *online* para uso livre²². Além do idioma Inglês, o teste também está disponível nos idiomas Árabe e Finlandês.

Uma revisão do estado da arte de questionários de atitudes de estudantes em relação à aprendizagem de ciência é feito por Lovelace e Brickman (2013), que fazem um levantamento das diferentes características encontradas nos principais testes de atitudes aplicados atualmente. Esses autores também fazem uma discussão sobre as diferenças entre procedimentos de análise paramétricos e não paramétricos de dados em testes de atitudes, inclusive com um glossário das principais técnicas de análise e validação de questionários, como: ANOVA; ANCOVA; teste Chi-quadrado; alfa de Cronbach; Kruskal-Wallis; Mann-Whitney; t-estudante; e outros.

Após um estudo dos questionários citados nesta seção, um questionário de aplicação rápida foi elaborado com seis questões no formato de escala de Likert de 5 pontos, o qual se encontra no Apêndice C. Junto com esse questionário, foram adicionadas questões para levantar os hábitos dos participantes em relação à frequência de uso de jogos em diferentes plataformas. Os resultados destes instrumentos são apresentados no capítulo seguinte.

6.3.3 Gravação da interação usuário-computador

O procedimento experimental também envolveu a coleta de dados qualitativos incorporada ao estudo. Para isso, um instrumento de coleta foi planejado com a finalidade de registrar a interação aluno-computador, enquanto utilizam as simulações interativas. Essa coleta de dado é importante para responder as finalidades deste estudo em avaliar o acesso dos alunos em situações fora do contexto escolar.

Uma alternativa simples seria filmar os alunos utilizando os computadores enquanto interagem com as simulações, porém essa forma de observação prejudica a validade dos resultados, por causa dos efeitos de inibição ou de inclinação de atitudes.

²² Colorado learning attitudes about science survey. Disponível em: <<http://www.colorado.edu/sei/class/>>. Acessado em: 08 de fevereiro de 2016.

Assim, uma forma mais elaborada de registro dessa interação é utilizada neste procedimento experimental, que consiste em gravar integralmente os movimentos e cliques do *mouse* durante as interações dos alunos com as simulações. Esse procedimento coleta de dados permite mensurar e observar o tempo gasto entre cada interação

Uma alternativa para essa técnica é a utilização de câmeras especiais. Como exemplo, Sun, Lin e Huang (2013) realizaram um estudo para entender a relação entre a atenção visual dos estudantes e a performance de aprendizagem com jogos digitais educacionais. Os autores desenvolveram dois jogos diferentes, um com elevada carga cognitiva e outro com baixa carga cognitiva para verificar os efeitos na atenção visual dos estudantes. Para gravar a atenção visual, os autores empregaram um sistema de rastreamento do movimento dos olhos dos estudantes com câmera posicionada frontalmente. Essa técnica produz gráficos do tipo *heatmaps*, que são mapas de calor com cores mais fortes para as zonas de maior atenção na tela do computador.

Com referência na metodologia empregada por Sun, Lin e Huang (2013), um sistema semelhante também foi utilizado nesta pesquisa para fazer a gravação dos movimentos e dos cliques do mouse na interação com recurso investigado, mas de maneira menos intrusiva e sem a necessidade de etapas de calibração.

Para isso, um portal na Internet foi desenvolvido especialmente para esta pesquisa, programado com ferramentas variadas para coleta de informações e estatísticas de acesso, navegação e gravação das interações, registrando dados como local de acesso e perfil dos usuários.

Para evitar o uso de câmeras, o portal desenvolvido utilizou um sistema de gravação somente para os movimentos e cliques do *mouse*, utilizando, para isso, a integração de um *software* comercial²³ (do tipo *plugin*) no portal. Este sistema grava apenas as ações sem precisar ativar a câmera do computador pessoal do usuário, ação que não seria conveniente para o contexto desta pesquisa. Além das ações, esse sistema também gera relatório de acessos com o registro de dados sobre o usuário, como a localização eletrônica (*Internet Protocol – IP*) e informações sobre o computador utilizado no acesso.

O portal, intitulado “*Física Games*”, foi desenvolvido com as tecnologias necessárias para suportar as simulações modificadas do grupo PhET em galerias

²³ Lucky Orange. Disponível em: <http://www.luckyorange.com/>. Acessado em: 7 de janeiro de 2017.

distintas, seguindo padrões de usabilidade já conhecidos dos estudantes. O portal manteve-se disponível no endereço eletrônico <<http://fisicagames.com.br/>>, o qual, até então, foi somente divulgado para o público participante desta pesquisa, a Figura 11 é uma captura de tela do portal no dia da primeira aula experimental.

Figura 11 - Portal “Física Games” desenvolvido para a realização dos procedimentos experimentais.



Fonte: Autoria própria (2016).

Resumidamente, o foco na programação e estruturação deste portal permitiu uma extensa coleta de dados e registro de navegação dos usuários, inclusive com a gravação, integralmente, dos movimentos do *mouse* e dos cliques dados pelos usuários. Os resultados da coleta desses dados são apresentados no capítulo seguinte.

6.3.4 Instrumento de avaliação da carga cognitiva

Uma das maneiras de obter informações sobre o esforço cognitivo da memória de trabalho em atividade de aprendizagem é por meio da medição subjetiva, que é baseada no próprio reconhecimento do aprendiz do seu esforço mental empregado durante a realização de uma atividade de aprendizagem.

Entre os principais testes disponíveis para medir a carga cognitiva de maneira subjetiva, está o NASA-TASK LOAD INDEX (NASA-TLX) criado por Hart e Staveland

(1988), com 30 anos de existência, que é, atualmente, utilizado em diversas áreas. O seu propósito inicial era testar a carga cognitiva em operações com máquinas complexas, como ocorre no controle de comandos de aeronaves.

Hart (2006) realizou uma revisão do estado da arte deste teste analisando 550 publicações para levantar as principais características de sua aplicação. Esse teste está disponível no site²⁴ da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

O teste NASA-TLX é formado por questões do tipo escala e é econômico em termos de tempo necessário para aplicação. Porém, há outra proposta de teste para mensuração da carga cognitiva com apenas uma única questão desenvolvido por Paas, Fred G. W. C. e Merrienboer, (1993), intitulado como *Short Self-Report Instrument* (SSI), avaliado posteriormente por Paas, F. *et al.* (2003) e revisado em Van Gog e Paas F. (2008). Windell e Wiebe (2007) realizaram um estudo para comparar o teste NASA-TLX com o teste curto de autoavaliação desenvolvido por Paas, F. *et al.* (2003).

O teste SSI é composto por uma única questão do tipo escala de Likert de 7-pontos ou 9-pontos, com uma pergunta direcionada para o aprendiz para saber o quão difícil foi para ele aprender um determinado conteúdo. A resposta é preenchida com um círculo em uma escala de 1 a 7 entre: extremamente fácil e extremamente difícil, conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Modelo do teste SSI (*Short Subjective Instrument*).

SSI (*Short Subjective Instrument*)

Circule o número que melhor descreve a sua experiência de hoje.

Foi difícil para você entender este módulo de aprendizagem?

Extremamente fácil Extremamente difícil

1-----2-----3-----4-----5-----6-----7

Fonte: Adaptado de Paas, Fred G. W. C. e Merrienboer (1993) e Windell e Wiebe (2007, p.9)

²⁴ NASA TLX. Disponível em: <<http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/index.html>>. Acessado em 8 de fevereiro de 2016.

Outro estudo de comparação entre os dois testes de mensuração subjetiva de carga cognitiva citados foi realizado por Wiebe, Roberts e Behrend (2010), que investigaram as limitações de ambos os testes: NASA-TLX e SCL (*Subjective cognitive load measure*, o mesmo que SSI). Os autores analisaram os testes para conhecer as relações entre eles e saber qual é o mais sensível em relação à carga cognitiva estranha.

Após a realização de uma sequência de três experimentos em ambientes multimídia variados, os resultados foram analisados com métodos estatísticos do tipo MANOVA. A conclusão dos pesquisadores Wiebe, Roberts e Behrend (2010) é que, em situações de aprendizagem com elevada carga cognitiva intrínseca, os dois testes possuem igualdade de poder de mensuração. Porém, quando o material instrucional apresenta baixa carga cognitiva intrínseca, o teste SCL é relativamente mais eficiente que o TLX. Neste cenário, as correlações no estudo indicam que o SCL é mais sensível às mudanças na carga intrínseca em relação à carga estranha, enquanto o TLX é mais eficaz em medidas da carga estranha. Um segundo exemplo de aplicação desses testes na mensuração de carga cognitiva em materiais instrucionais é discutido em Zumbach e Mohraz (2008).

Nesta pesquisa, o instrumento adotado foi o SSI, considerando a sua qualidade e o tempo disponível para aplicação. Para a sua utilização, foi solicitada a permissão de uso aos criadores do instrumento, no caso, Freed Pass.

7 RESULTADOS

O procedimento experimental desta pesquisa envolveu três aulas experimentais com aplicação de instrumentos quantitativos e qualitativos para coleta de dados, com o objetivo de investigar as quatro hipóteses levantadas nesta pesquisa. Os instrumentos são indicados nos diagramas nas figuras: Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Este capítulo apresenta os resultados para cada instrumento aplicado no procedimento experimental. Além disso, os dados quantitativos foram avaliados com estatísticas de inferência paramétrica e não paramétrica, com o objetivo de investigar as semelhanças e diferenças nos resultados obtidos com o grupo experimental G e com o grupo de controle S.

As análises estatísticas foram realizadas com o *software* livre de código aberto: CRAN-R²⁵, em conjunto com pacotes adicionais disponíveis em seu repositório, atualmente, há 10.750 pacotes avulsos com rotinas prontas para cálculos específicos para diferentes áreas. Os cálculos estatísticos no *software* R foram realizados com referência nas orientações descritas em Field, Miles e Field (2010). Os demais pacotes adicionais utilizados são citados na descrição dos resultados.

Esta pesquisa também envolveu a determinação do tamanho do efeito da amostra para algumas observações. Esses cálculos foram feitos no *software* R em conjunto com o *software* livre G*Power (FAUL *et al.*, 2007).

7.1 DESCRIÇÃO DOS GRUPOS DE ESTUDO

A Tabela 2 apresenta uma descrição dos alunos participantes organizados por turma, gênero e grupo de estudo. Os grupos foram formados aleatoriamente por ordem de chegada dos estudantes na aula do primeiro dia da aplicação da pesquisa.

²⁵ CRAN-R: The Comprehensive R Archive Network. Disponível em: <https://cran.r-project.org/>. Acessado em: 10 de julho de 2016.

Tabela 2 - Distribuição dos participantes organizados por turma, gênero e grupo.

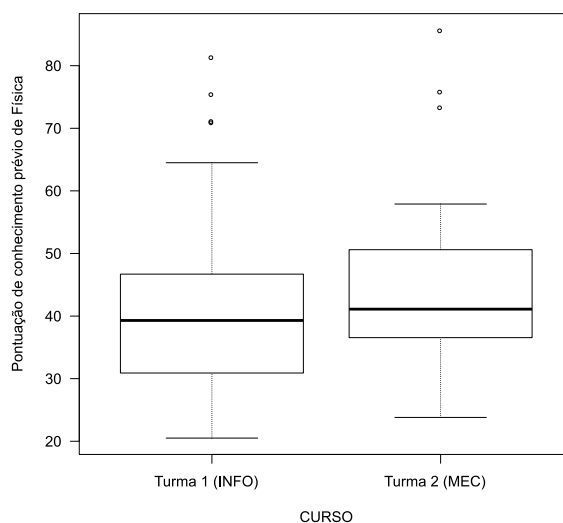
Características dos participantes		Grupo S	Grupo G	Total
Turma 1 (INFO)	Masculino	10	10	20
	Feminino	7	8	15
	Total	17	18	35
Turma 2 (MEC)	Masculino	16	17	33
	Feminino	4	3	7
	Total	20	20	40
Total	Masculino	26	27	53
	Feminino	11	11	22
	Total	37	38	75

Fonte: Autoria própria (2016).

Os participantes do estudo são de duas turmas do Ensino Médio Técnico, Turma 1 do curso técnico de Informática para Internet e Turma 2 do curso técnico de Mecânica. A turma 1 (Mdn = 39,30) não possui diferença ($\alpha = 0,05$) em conhecimentos prévios de Física em relação à turma 2 (Mdn = 41,10), conforme teste de Mann-Whitney U ($W = 594,5$, $p = 0,27$, $r = -0.13$). O teste de comparação de conhecimento prévio foi realizado com base na média de 11 atividades realizadas com os alunos durante o 1º semestre na disciplina de Física do 1º ano do Ensino Médio Técnico.

O Gráfico 2 apresenta as distribuições na forma de diagrama de caixas, ou *boxplot* (VALLADARES NETO *et al.*, 2017), para as pontuações médias dos alunos em atividades semanais do tipo papel e lápis na disciplina de Física. Essas pontuações não representam resultados finais de avaliação dos alunos na disciplina, o processo de avaliação da escola é conceitual (A, B, C e D) e envolve diferentes instrumentos de avaliação.

Gráfico 2 - Distribuição da pontuação de conhecimento prévio de Física dos alunos por turma.

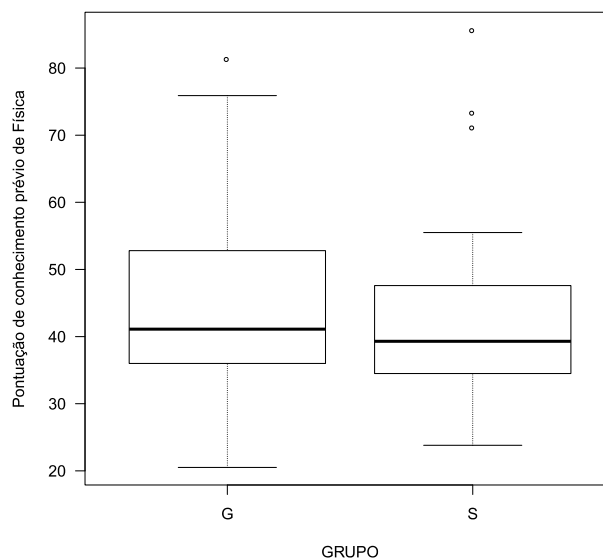


Fonte: Autoria própria (2016).

O Gráfico 2 indica que ambas as turmas possuem um valor de mediana para o conhecimento prévio bastante próximo do valor 40. Os intervalos interquartis também possuem distâncias semelhantes. A turma 1 possui extremidades mais afastadas, principalmente no limite superior. A turma 1 possui 4 *outliers* superiores e a turma 2 possui 3 *outliers* superiores. Nesta pesquisa, os resultados considerados como *outliers* no boxplot foram mantidos em todas as análises estatísticas, por não tratarem de erros de medições.

O design experimental iniciou, primeiramente, com a distribuição aleatória dos estudantes, de ambas as turmas, na formação de dois grupos: Grupo S e Grupo G. O Grupo S (Mdn = 39,30) e o Grupo G (Mdn = 41,10) não apresentam diferença significativa ($\alpha = 0,05$) na comparação de conhecimentos prévios de Física dos alunos, Mann-Whitney U ($W = 778$, $p = 0,43$, $r = -0,09$). O Gráfico 3 apresenta as distribuições na forma de diagrama de caixas para as pontuações de conhecimento prévio de Física dos grupos S e G.

Gráfico 3 - Distribuição da pontuação de conhecimento prévio de Física dos alunos por grupo.



Fonte: Autoria própria (2016).

O *boxplot* no Gráfico 3 indica que os grupos G e S possuem proximidade em suas medianas, nos primeiros quartis e nos limites inferiores. As diferenças maiores estão nos limites superiores e nos terceiros quartis. O Grupo G possui limite superior maior que o do Grupo S, porém o Grupo S possui 3 *outliers* superiores e um limite inferior mais elevado. Ou seja, ambas as turmas possuem distribuições centradas próximas do valor 40, porém o Grupo G possui uma distribuição mais alongada na região superior dos dados, na comparação, essa diferença é compensada pela presença dos 3 *outliers* identificados no Grupo S.

7.2 EQUIVALÊNCIA PARA VARIÁVEIS INTERVENIENTES E BIOGRÁFICAS

7.2.1 Idade dos participantes

O Grupo S, com idade mediana de 15 anos, e o Grupo G, com idade mediana de 15 anos, organizados após distribuição aleatória, não possuem diferença significativa para as idades dos participantes, Mann-Whitney U ($W = 759$, $p = 0,53$).

7.2.2 Proporção entre gêneros

A proporção para a diferença de gêneros em cada grupo também foi comparada. Sendo os dois grupos estaticamente iguais na proporção entre gêneros, ambos os grupos possuem 11 alunas, o Grupo G possui 27 alunos e o Grupo S possui 26 alunos, no teste de qui-quadrado de Pearson ($\chi^2(1) < 0,00$ e $p = 1$).

7.2.3 Atitude em relação à Física

A atitude dos estudantes participantes da pesquisa em relação à disciplina de Física foi levantada com a aplicação de um questionário com seis (6) itens com sentenças afirmativas e negativas em relação à Física com escala de Likert de 5 pontos: Concordo fortemente; Concordo; Sem opinião; Discordo e Discordo fortemente. O número reduzido de questões foi necessário para poupar o tempo da aula e a aplicação dos demais testes utilizados na pesquisa.

As questões utilizadas no teste foram selecionadas e adaptadas conforme os resultados obtidos em Menegotto e Rocha Filho (2008) e Talim (2004), os quais apresentaram e analisaram propostas de questionários atitudinais em relação à disciplina de Física. Seguem as questões escolhidas para elaboração do questionário atitudinal para aplicação nesta pesquisa:

1. Gosto muito de Física.
2. Tenho prazer em resolver um problema de Física.
3. Sinto-me completamente perdido quando estudo Física.
4. Acho a Física muito importante.
5. Sinto-me tranquilo e confiante nas aulas de Física.
6. Eu não gosto de assuntos de Física.

O questionário foi aplicado para todos os alunos participantes, $N = 75$, do estudo. O teste alfa de Cronbach foi aplicado para verificar a confiabilidade do questionário. Para este teste, um resultado entre 0,7 e 0,8 indica que o questionário é

confiável. Um valor muito baixo indica que as questões do teste não medem algo em comum, um valor muito alto indica que as questões do teste medem um mesmo tipo de atitude. Para o questionário aplicado com 6 questões, o resultado obtido para o alfa de Cronbach foi $\alpha = 0,79$, o que indica uma boa confiabilidade para o questionário, confiabilidade satisfatória. A diferença do resultado obtido por item do questionário para cada grupo foi analisada com o teste de Qui quadrado.

Tabela 3 – Teste de Qui quadrado para comparação dos grupos G e S no questionário atitudinal em relação à Física.

Fator	GRUPOS		p (X^2)
	G (n = 38)	S (n = 37)	
Questão 1	4,00 [1,00; 5,00]	4,00 [2,00; 5,00]	0,72
Questão 2	3,00 [2,00; 5,00]	3,00 [2,00; 5,00]	0,32
Questão 3	3,00 [1,00; 5,00]	3,00 [1,00; 5,00]	0,65
Questão 4	4,00 [2,00; 5,00]	4,00 [2,00; 5,00]	0,79
Questão 5	3,00 [1,00; 5,00]	3,00 [2,00; 5,00]	0,71
Questão 6	4,00 [2,00; 5,00]	4,00 [2,00; 5,00]	0,51

Fonte: A autoria própria (2017).

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos para a mediana, o mínimo e o máximo em cada questão conforme escala de 5 pontos de Likert, além do valor de p por questão para o teste Qui quadrado (X^2) na comparação entre os dois grupos. Conforme o teste, os grupos G e S não possuem diferenças significantes nos resultados coletados para as seis (6) questões sobre atitudes em relação à disciplina de Física.

7.2.4 Frequência de uso de jogos digitais

A frequência dos estudantes em atividades com jogos digitais foi levantada com um questionário de quatro itens, conforme segue abaixo, com as opções de resposta: Todos os dias; Uma ou duas vezes por semana; Uma ou duas vezes por mês; Uma ou duas vezes por bimestre; Nenhuma vez este ano.

1. Você costuma jogar jogos no celular?
2. Você costuma jogar jogos de videogame?
3. Você joga jogos de computador?

4. Você joga outros tipos de jogos com cartas ou tabuleiros?

Considerando os dois grupos criados, G e S, a distribuição das respostas para cada item está representada na Tabela 4. O teste Qui quadrado foi aplicado para verificar a diferença na distribuição das respostas para cada item por grupo. O resultado do teste indicou que não há diferença significativa nas distribuições para os itens avaliados, a Tabela 4 apresenta os valores de p para o teste por item.

Tabela 4 – Frequência de uso de jogos digitais por plataforma e jogos não digitais.

Item	Resposta	GRUPO		Valor de p
		G (38)	S (37)	
Celular	Nenhuma vez este ano	6 (15,8%)	5 (13,5%)	0,66
	Uma ou duas vezes por bimestre	3 (7,9%)	1 (2,7%)	
	Uma ou duas vezes por mês	2 (5,3%)	5 (13,5%)	
	Uma ou duas vezes por semana	14 (36,8%)	13 (35,1%)	
	Todos os dias	13 (34,2%)	13 (35,1%)	
Videogame	Nenhuma vez este ano	10 (26,3%)	9 (24,3%)	0,59
	Uma ou duas vezes por bimestre	8 (21,1%)	5 (13,5%)	
	Uma ou duas vezes por mês	6 (15,8%)	9 (24,3%)	
	Uma ou duas vezes por semana	8 (21,1%)	11 (29,7%)	
	Todos os dias	6 (15,8%)	3 (8,1%)	
Computador	Nenhuma vez este ano	6 (15,8%)	10 (27,0%)	0,11
	Uma ou duas vezes por bimestre	7 (18,4%)	4 (10,8%)	
	Uma ou duas vezes por mês	5 (13,2%)	8 (21,6%)	
	Uma ou duas vezes por semana	5 (13,2%)	9 (24,3%)	
	<i>Todos os dias</i>	<i>15 (39,5%)</i>	<i>6 (16,2%)</i>	
Cartas e tabuleiros	Nenhuma vez este ano	10 (26,3%)	11 (29,7%)	0,88
	Uma ou duas vezes por bimestre	6 (15,8%)	6 (16,2%)	
	Uma ou duas vezes por mês	11 (28,9%)	13 (35,1%)	
	Uma ou duas vezes por semana	7 (18,4%)	5 (13,5%)	
	Todos os dias	4 (10,5%)	2 (5,4%)	

Fonte: A autoria própria (2017).

Para simplificar, os dados na Tabela 4 foram agrupados conforme a quantidade de alunos que fazem uso diário de jogos digitais independente da plataforma, seja no celular, videogame ou computador.

Tabela 5 – Frequência diária de uso de jogos digitais por grupo independente da plataforma.

Fator independente da plataforma		GRUPO		Valor de p
		G (38)	S (37)	
Frequência diária de jogos digitais	Sim	20 (52,6%)	16 (43,2%)	0,56
	Não	18 (47,9%)	21 (56,8%)	

Fonte: A autoria própria (2017).

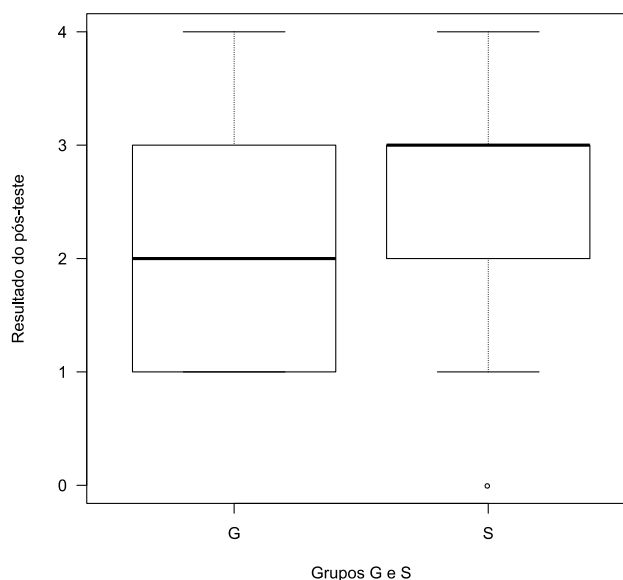
A Tabela 5 apresenta o resultado da frequência de uso de jogos digitais independente da plataforma. O teste de Qui quadrado para as diferenças nas proporções indicou não haver diferença significativa ($p = 0,56$) entre os grupos G e S na frequência diária de jogos digitais pelos alunos participantes.

7.3 RESULTADOS OBTIDOS NO PÓS-TESTE

Conforme o design experimental, a primeira parte da aula foi igual para ambos os grupos, S e G, abordando o conteúdo momento de força com um guia de aprendizagem com a simulação “Balançado”. Porém, as atividades de assimilação de aprendizagem foram diferentes para cada grupo. Para o Grupo S, a atividade foi baseada na aprendizagem por descoberta guiada com o uso simulação com o objetivo de descobrir os valores de massas misteriosas; enquanto o Grupo G teve como atividade de assimilação o objetivo de pontuar em um jogo dentro da própria simulação Balança com diferentes níveis de dificuldade.

Após a realização da atividade de assimilação, cada grupo recebeu um pós-teste com quatro questões para verificação da aprendizagem da aula. Cada questão certa teve o valor de um ponto na soma do resultado do teste por aluno. O resultado obtido no pós-teste pelo Grupo S (Mdn = 3,00) não apresentou diferença significativa ($\alpha = 0,05$) comparado com o resultado pelo Grupo G (Mdn = 2,00), conforme teste de Mann-Whitney U ($W = 573$, $p = 0,16$, $r = -0,16$). O Gráfico 4 apresenta a distribuição em diagrama de caixas dos resultados obtidos pelos alunos no pós-teste de cada grupo de estudo.

Gráfico 4 – Diagrama de caixas para o resultado no pós-teste por grupo.



Fonte: Autoria própria (2016).

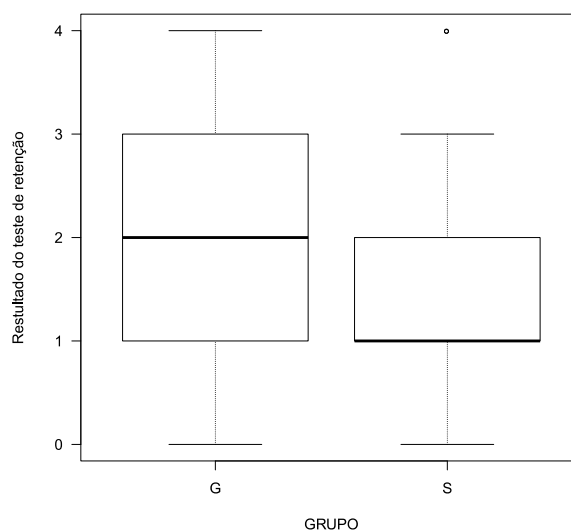
O *boxplot* do Gráfico 4 mostra que a distribuição dos resultados para ambos os grupos possui 75% dos dados abaixo do valor 3. O Grupo S possui uma mediana em 3, enquanto o Grupo G possui a sua mediana em 2. O Grupo S possui um intervalo interquartil menor que o observado para o Grupo G. O Grupo S apresenta um *outlier* inferior, um caso de resultado zero no teste. Apesar disso, o Grupo S apresenta uma concentração maior de resultados para o valor 3, indicando uma distribuição ligeiramente superior para este grupo, porém, essa observação não foi confirmada pelo teste de Mann-Whitney U ($p = 0,16$), citado acima.

7.4 RESULTADOS OBTIDOS PARA O TESTE DE RETENÇÃO

Duas semanas após a aplicação do pós-teste, foi aplicado um teste de retenção, com as mesmas questões do pós-teste, porém com valores diferentes para evitar respostas por memória. O resultado do teste de retenção obtido pelo Grupo G (Mdn = 2) é maior, com significância ($\alpha = 0,05$), na comparação com o resultado obtido pelo Grupo S (Mdn = 1), teste de Mann-Whitney U ($W = 964$, $p(\text{unilateral}) < 0,01$, $r = -0.34$). O Gráfico 5 apresenta a distribuição em diagrama de caixas dos resultados obtidos pelos alunos no teste de retenção por grupo de estudo. O Gráfico 6 mostra

em diagrama de caixas lado a lado com os resultados obtidos por cada grupo no pós-teste e no teste de retenção.

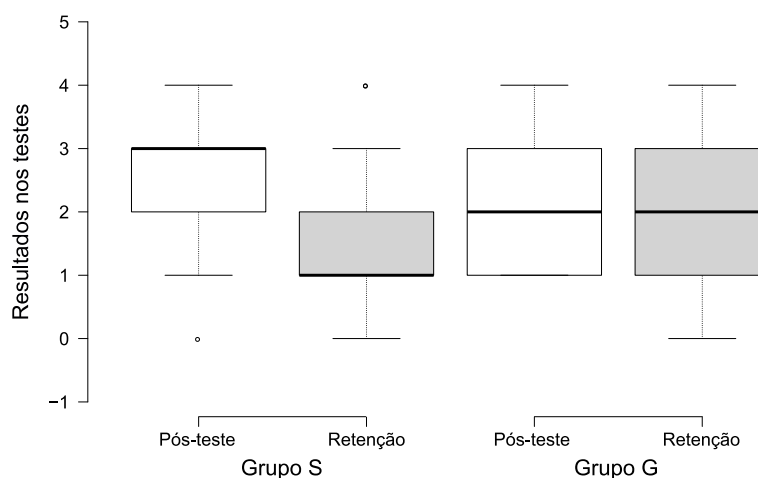
Gráfico 5 - Diagrama de caixas para o resultado no teste de retenção por grupo.



Fonte: Autoria própria (2016).

Os *boxplots* do Gráfico 5 comparam os resultados obtidos no teste de retenção para ambos os grupos G e S. A caixa do Grupo S é menor que a caixa do Grupo G e o seu terceiro quartil coincide com a mediana do Grupo G, indicando que, aproximadamente, 75% dos resultados estão abaixo do valor 2; enquanto que a distribuição do Grupo G apresenta-se mais centrada em torno do valor 2. O Grupo S possui um *outlier* superior e sua extremidade superior está 1 ponto abaixo da extremidade superior do Grupo G. Pela comparação dos *boxplots*, o Grupo G apresenta uma distribuição de resultados mais elevada que a obtida pelo Grupo S, observação também confirmada pelo teste de Mann-Whitney U ($p < 0,01$), citado acima.

Gráfico 6 - Diagrama de caixas para os resultados no pós-teste e teste de retenção por grupo.



Fonte: Autoria própria (2016).

Na comparação dos *boxplots* do Gráfico 6, é perceptível uma queda na distribuição dos valores obtidos para o teste de retenção do Grupo S, o qual apresenta uma mediana no valor 1 e um terceiro quartil localizado no valor 2, que corresponde à mediana obtida no teste de retenção do Grupo G. Para o Grupo G, a diferença entre o pós-teste e o teste de retenção ocorre em relação à extremidade inferior, porém os intervalos interquartis são mantidos na mesma posição entre 1 e 3, algo que não ocorre para o Grupo S. Assim, os *boxplots* indicam que, apesar de um resultado superior no pós-teste para o Grupo S, a diferença entre o pós-teste e o teste de retenção foi menor para o Grupo G.

7.5 COMPARAÇÕES PARA AS DIFERENÇAS OBTIDAS ENTRE O PÓS-TESTE E O TESTE DE RETENÇÃO

Considerando o objetivo desta pesquisa, em relação à presença de jogo na simulação PHET, foi analisada a diferença na pontuação dos alunos entre o teste de retenção e pós-teste para os dois grupos. Para a análise dessa diferença, foram realizados testes estatísticos paramétricos e não paramétricos.

Os testes paramétricos possuem a premissa de que as distribuições envolvidas sejam normais, mas isso não é um requerimento para a realização do teste. O teste t para duas amostras possui uma estatística robusta para o caso de um número amostral grande em cada amostra, principalmente, quando apresentem semelhanças

ou igualdade de variâncias, mesmo nos casos de escalas ordinais (HEEREN; D'AGOSTINO, 1987).

Os dados referentes às diferenças de pontuação entre os pós-testes e testes de retenção para cada Grupo São, aproximadamente, normais²⁶ e não apresentam diferenças significantes de variância²⁷, conforme testes de homogeneidade de variâncias para os centros das médias e para as medianas.

Considerando o teste de normalidade dos dados, a homogeneidade de variância e o número de participantes pareados da amostra, optou-se em comparar as diferenças individuais obtidas entre o teste de retenção e o pós-teste com a estatística do teste t pareado para cada grupo.

A Tabela 6 apresenta a estatística descritiva dos dados pareados do pós-teste, do teste de retenção e para a diferença obtida entre os testes pareados, conforme cada grupo.

Tabela 6 – Estatísticas dos resultados obtidos no pós-teste e teste de retenção por grupo.

	Teste	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Assimetria	Curtose
Grupo S N = 37	Pós-teste	2,57	1,14	0,19	-0,35	-0,87
	Retenção	1,32	1,00	0,16	1,22	1,39
	Diferença	-1,24	1,26	0,21	-0,58	-0,41
Grupo G N = 38	Pós-teste	2,24	0,97	0,16	0,24	-0,90
	Retenção	2,08	1,17	0,19	0,16	-1,06
	Diferença	-0,15	1,41	0,21	-0,58	-0,41

Fonte: Autoria própria (2016)

Conforme dados na Tabela 6, o resultado do Grupo S obtido no teste de retenção ($M = 1,32$) é menor que o resultado obtido no pós-teste ($M = 2,57$) com significância, teste t pareado: $t(36) = -6,02$, $p < 0,01$ e $r = 0,71$; enquanto, para o Grupo G, o resultado obtido no teste de retenção ($M = 2,08$) não possui diferença significativa com o resultado obtido pelo mesmo grupo no pós-teste ($M = 2,24$), teste t pareado: $t(37) = -0,69$, $p = 0,49$ e $r = 0,11$.

²⁶ Resultados dos testes de normalidade ($\alpha=0,05$): D'Agostino-Pearson (G: $p = 0,83$ e S: $p = 0,28$), Ryan-Joiner (G e S: $p > 0,10$), Shapiro-Wilk (G: $p > 0,05$ e S: $p < 0,05$) e Jarque-Bera (G: $p = 0,79$ e S: $p = 0,32$).

²⁷ Teste de Levene para as médias: $F(73) = 0,47$ e $p = 0,50$; e para as medianas: $F(73) = 0,65$ e $p = 0,42$.

A Tabela 7 apresenta a estatística dos testes t pareados na comparação entre o resultado obtido no teste de retenção com o resultado do pós-teste para cada grupo.

Tabela 7 – Teste t pareado para o teste de retenção e o pós-teste

	Diferenças pareadas entre pós-teste e teste de retenção								
	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança 95%		t	Df	p	r
				Inferior	Superior				
Grupo S	-1,24	1,26	0,21	-1.66	-0.82	-6.02	36	0,00	0,71
Grupo G	-0,15	1,41	0,21	-0.62	0.30	-0.69	37	0.49	0,11

Fonte: A autoria própria (2016)

Além do teste t pareado citado acima, o teste Wilcoxon signed rank também foi realizado para complementar a análise estatística. Este teste é utilizado na inferência de dados não paramétricos pareados. Este teste também indicou que não há diferença significativa entre o resultado no pós-teste e teste de retenção para o Grupo G, ($V = 251$, $p = 0,46$ e $r = -0,12$). Enquanto que, para Grupo S, foi identificada uma diferença significativa entre o resultado do pós-teste e teste de retenção ($V = 344$, $p < 0,05$ e $r = -0,71$). Ou seja, tanto o teste paramétrico como o teste não paramétrico apontam uma queda significativa no resultado obtido pelo Grupo S no teste de retenção.

7.5.1 Comparação dos dados para as diferenças obtidas nos testes

As diferenças médias, (retenção – pós-teste), obtidas nos testes para os grupos foram verificadas com teste t para duas amostras independentes. Em média, o Grupo G ($M = -0,15$, $SD = 1,41$) obteve um resultado melhor para as diferenças entre os testes quando comparado com o Grupo S ($M = -1,24$, $SD = 1,26$), teste t independente $t(73) = 3,52$, $p < 0,05$ e $r = 0,38$. O tamanho do efeito r encontrado é equivalente a um efeito de Cohen $d = 0,81$, considerado como um efeito grande ($d > 0,80$), que resulta em um poder estatístico de 0,95; conforme cálculo realizado no *software* G*Power e definições em Cohen (COHEN, 1992a).

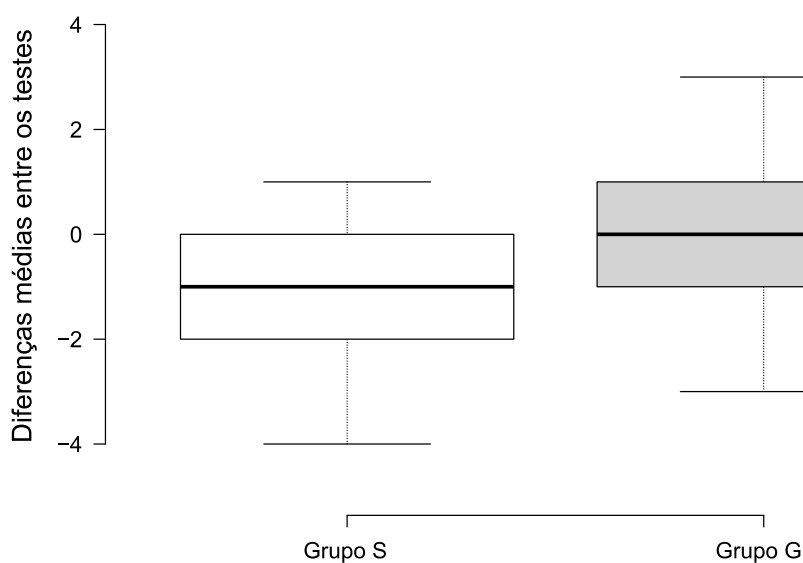
A Tabela 8 apresenta a estatística de teste t para as duas amostras independentes, no caso, os dados amostrais são os valores das diferenças obtidas pelos grupos entre os dois testes. O Gráfico 7 é um diagrama de caixas para as diferenças obtidas de cada grupo.

Tabela 8 – Teste t para as diferenças obtidas no teste de retenção e o pós-teste entre os grupos

	Teste t para duas amostras independentes								
	Teste de Levene		t	Intervalo de confiança 95%		df	p	r	d
	F	p		Inferior	Superior				
Diferenças	0,46	0,50	3,52	0,47	1,67	73	<0,001	0,38	0,81

Fonte: Autoria própria (2016).

Gráfico 7 – Diagrama de caixas das diferenças médias nos testes para os grupos S e G.



Fonte: Autoria própria (2016).

Os *boxplots* do Gráfico 7 mostram que a média do Grupo G das diferenças obtidas entre o pós-teste e teste de retenção ficou ligeiramente abaixo do valor 0, enquanto que a mesma média para o Grupo S ficou próxima do valor -1. Ambos os grupos apresentam uma distribuição semelhante, com tamanhos próximos para o intervalo interquartil e para o tamanho das hastes inferiores. A semelhança no formato de distribuição dos dados favorece a qualidade da comparação, pela qual se observa que Grupo G apresentou uma diferença, perceptivelmente, menor entre os testes realizados. Essa análise também foi confirmada pela inferência do teste t independente, citado acima.

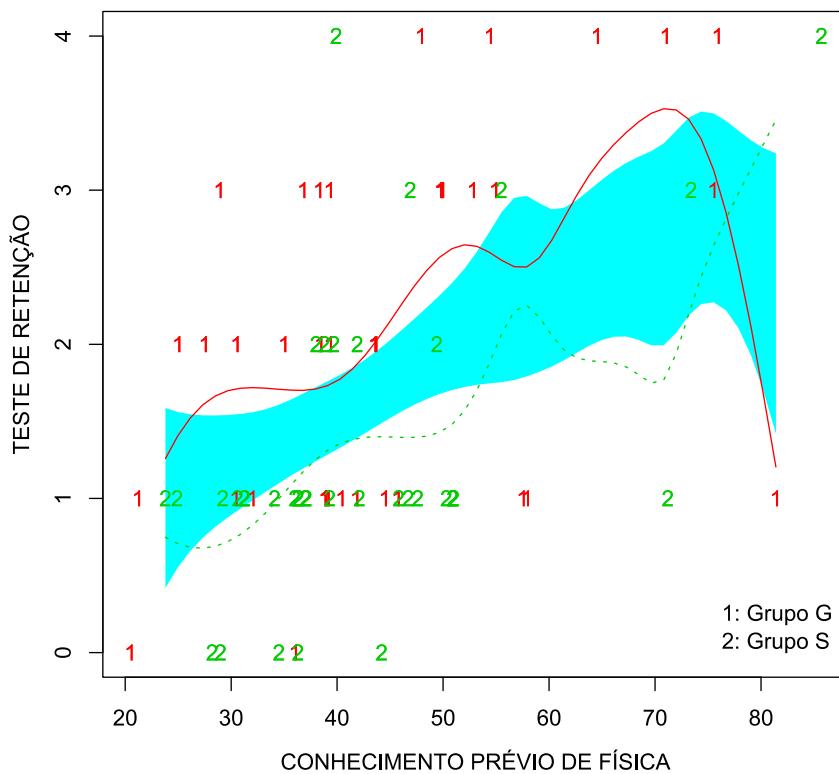
7.6 CURVA DE REGRESSÃO ENTRE TESTE DE RETENÇÃO E CONHECIMENTO PRÉVIO

Além da comparação entre o teste de retenção e pós-teste, esta pesquisa também fez a análise de comparação entre os grupos para o teste de retenção utilizando o conhecimento prévio como variável covariante. Para isso, o pacote “sm” – *Smoothing methods for nonparametric regression and density estimation* (2015)²⁸ – foi utilizado para permitir uma visualização da curva de regressão entre o teste de retenção e o conhecimento prévio.

A curva de regressão obtida para as variáveis analisadas é apresentada no Gráfico 8, no qual se observa que a curva para Grupo G ficou acima da curva do Grupo S, as quais apenas cruzaram na extremidade direita do gráfico. A inclinação da superfície gerada demonstra que a relação entre as variáveis não é aleatória, essa possui uma largura definida, perceptível, indicando que o Grupo G obteve um resultado maior em quase toda a gama de valores de conhecimento prévios.

²⁸ “sm” - *Smoothing methods for nonparametric regression and density estimation* (2015). Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/sm/>>. Acessado em: 8 de julho de 2016.

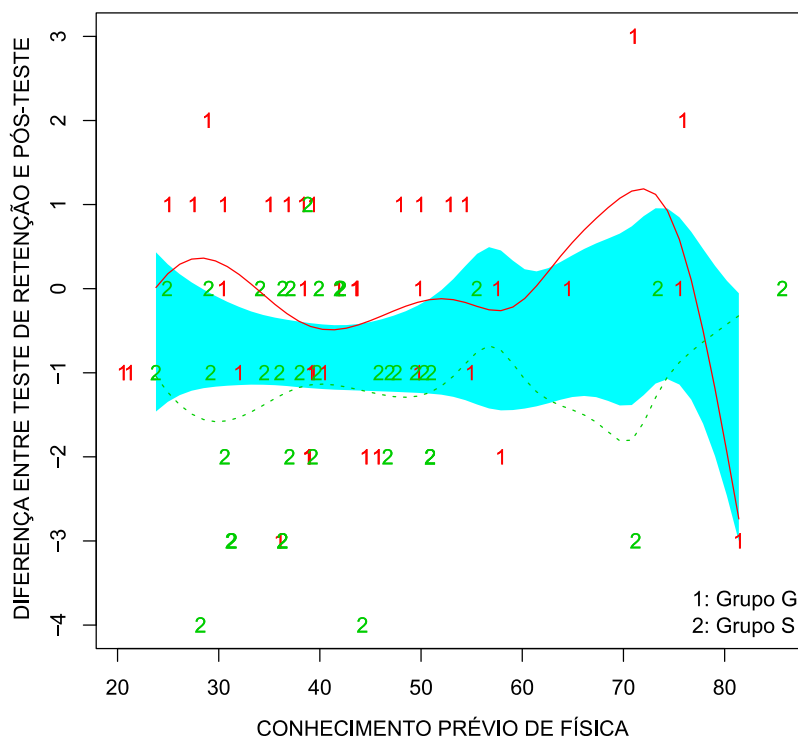
Gráfico 8 - Curva de regressão entre teste de retenção e conhecimento prévio.



Fonte: Autoria própria (2016).

Para complementar a visualização dos dados, também foi gerada a curva de regressão entre as variáveis: diferença entre teste de retenção e pós-teste com conhecimento prévio como covariante. O Gráfico 9 apresenta a respectiva curva de regressão e superfície de densidade.

Gráfico 9 - Curva de regressão entre a diferença do teste de retenção e pós-teste com o conhecimento prévio.



Fonte: Autoria própria.

A curva de regressão no Gráfico 9 mostra que o conhecimento prévio não influenciou na diferença obtida pelos alunos entre o teste de retenção e pós-teste. É perceptível que a curva de regressão para o Grupo G varia em torno da linha horizontal indicada pelo valor 0 para a diferença. Enquanto que a curva de regressão para S varia em torno da linha horizontal indicada pelo valor -1 para a diferença. A identificação perceptível desse degrau, ou *gap*, indica que ocorreu uma diferença favorável para o grupo de controle em relação ao grupo experimental devido ao tratamento investigado.

7.7 MEDIDA SUBJETIVA DA CARGA COGNITIVA

Os elementos de *game design* presente na versão do Grupo G podem apresentar efeito na carga cognitiva dos estudantes durante o processo de aprendizagem. Assim, o instrumento de medida de carga cognitiva com escala de 7

pontos apresentado e validado por Paas, F. (1992), com revisão em Paas, F. *et al.* (2010), foi aplicado no final da atividade com os dois grupos G e S.

A medida de carga cognitiva obtida na primeira intervenção para os dois grupos G e S foi comparada com auxílio do teste de Mann-Whitney U. O Grupo G ($M = 2,63$, $SD = 1,13$) e o Grupo S ($M = 2,86$, $SD = 1,00$) não apresentaram diferença significativa ($\alpha = 0,05$) no resultado da medida de carga cognitiva com escala de 7 pontos, conforme teste de Mann-Whitney U ($W = 609,5$, $p = 0,31$, $r = -0,12$).

Na segunda aula experimental, ambos os grupos utilizaram a mesma simulação “Balançando” com a presença da seção de jogo. Nesse caso, o teste de medida de carga cognitiva também não apresentou diferença significativa ($\alpha = 0,05$), os resultados nos testes ficaram mais baixos e próximos do obtido pelo Grupo G na primeira aula experimental.

Para a segunda intervenção, os resultados foram: Grupo G com $M = 2,56$ ($SD = 1,44$) e Grupo S com $M = 2,66$ ($SD = 1,53$). O teste de Mann-Whitney U para segunda intervenção foi $W = 545$ e $p = 0,85$, um resultado já esperado, pois ambos os grupos utilizaram o mesmo recurso, logo, não houve diferença significativa na medição da carga cognitiva entre os alunos de cada grupo.

7.8 DADOS QUALITATIVOS DE COMENTÁRIOS ESCRITOS PELOS ESTUDANTES DE CADA GRUPO

A opinião dos alunos sobre a experiência didática foi coletada com o auxílio dos registros de comentários no pós-teste aplicado com a seguinte pergunta: “Você tem algum comentário sobre a aula de hoje?”. Os alunos deixaram seus comentários de forma opcional e espontânea. Dos 38 alunos do Grupo G, 22 comentaram sobre a aula, enquanto, dos 37 alunos do Grupo S, 26 fizeram comentário sobre a aula.

Os comentários dos alunos foram divididos em três categorias conforme dois fatores específicos proporcionados pela aula e uma terceira categoria para abranger os comentários mais gerais: (I) melhor aprendizagem; (II) entretenimento; e (III) qualidade do método de ensino em geral. Comentários classificados nas categorias I e II não foram contados na categoria III, por ser mais geral.

A Tabela 9 apresenta o número de comentários identificados para cada uma das três categorias. Alguns comentários foram considerados em mais de uma

categoria por mencionarem aspectos que não se limitam a apenas uma única categoria. A proporção na distribuição do resultado da categorização dos comentários não possui diferença significativa na comparação dos grupos G e S, conforme teste exato de Fisher ($p > 0,39$).

Tabela 9 – Classificação dos comentários dos alunos sobre a aula em três categorias.

Fator proporcionado	Grupos		Valor de p
	G (n = 22)	S (n = 26)	
Aprendizagem	12	13	0,78
Entretenimento	4	2	0,39
Qualidade do método de ensino	8	13	0,39

Fonte: Autoria própria (2017).

No Grupo G, apenas um comentário relata a experiência citando explicitamente a presença de jogo na atividade: *“Muito legal a aula usando jogos, é mais fácil para aprender”*. Neste mesmo grupo, não há comentários citando o uso de “simulador”. Enquanto que, no Grupo S, há dois comentários citando explicitamente o uso de simulador: *“Hoje a aula foi simples, porém divertida, e com o simulador consegui aprender a fazer isso que eu não sabia”*; e *“Achei muito legal e acho que deveríamos ter mais aulas assim com provinhas e simuladores, e o simulador deixa mais claro”*. Conforme esperado, o Grupo S não possui comentários citando explicitamente a presença de “jogo” na atividade.

7.9 MONITORAMENTO DO ACESSO AO SÍTIO ELETRÔNICO APÓS AS AULAS EXPERIMENTAIS

7.9.1 Monitoramento após a primeira aula experimental

Durante a semana da realização da primeira aula experimental, em 20 de junho de 2016, com encerramento às 18h, com os grupos G e S, foi realizada uma monitoria das visitas ao site de hospedagem das simulações e dos jogos. O objetivo do monitoramento foi para avaliar o interesse espontâneo dos alunos em acessar os jogos fora do contexto escolar.

No mesmo dia da experiência, um dos alunos, participante do Grupo S, acessou o site às 21 horas e navegou por duas simulações do site: Monte um átomo e Aritmética. Este aluno permaneceu no site por 7 minutos e 20 segundos, durante este tempo, interagiu com duas simulações finalizando etapas em diferentes níveis de dificuldade. Após dois dias, este mesmo aluno retornou ao site para interagir novamente com a opção jogo da simulação Monte um átomo, durante 5 minutos. O aluno não acessou outras simulações nesta mesma sessão.

Um segundo aluno do mesmo grupo também acessou o site às 22h11min, mas não interagiu com as simulações ou jogos do site. Outros acessos não identificados também foram registrados durante a semana, porém, nestes casos, não foram observadas interações dos usuários com as simulações hospedadas no sítio eletrônico.

7.9.2 Monitoramento após a segunda aula experimental

Uma segunda aula experimental, no dia 4 de julho de 2016, foi realizada com o mesmo simulador utilizado anteriormente, porém com uma melhoria no design do jogo incorporado à simulação. O jogo recebeu a opção de placar de pontos com registro das maiores pontuações na própria página eletrônica da simulação.

Este placar foi criado com a adição de um banco de dados MySQL e scripts de acesso por PHP e programação Ajax, os quais foram incorporados à programação da simulação Balança do projeto PhET, a qual é feita em Javascript.

Assim, novos painéis foram programados nas simulações para permitir a entrada do nome do jogador e solicitar a confirmação ou não de registro de pontos obtidos no jogo no placar *online*.

O placar *online* criado permite o aluno registrar a sua pontuação para diferentes níveis de dificuldade dos jogos derivados das simulações do projeto PhET presentes no sítio eletrônico <http://www.fisicagames.com.br>.

Na segunda aula experimental, todos os alunos tiveram aula com a simulação “Balançando”, porém com uma versão da seção de jogo modificada, a qual recebeu um elemento de *game design* sociointerativo, no caso, um placar de pontuação *online*. O objetivo foi verificar se essa modificação poderia, ou não, tornar as simulações mais atraentes para os estudantes. Para isso, além de instrumentos aplicados em sala,

houve também o monitoramento dos acessos ao site pelos alunos após a aula, utilizando a integração de um *software* comercial²⁹ (do tipo *plugin*) no portal.

Após a aula experimental, que encerrou às 18h do dia 04 de julho de 2016, os acessos ao sítio eletrônico utilizado na aula foram monitorados. O primeiro acesso ocorreu no mesmo dia às 19h17min, ip 187.xx.xxx.xx1, no qual um estudante entrou na mesma simulação da balança utilizada em aula e interagiu com a seção de jogo da simulação equilibrando as massas até atingir uma pontuação final no jogo. Esse acesso durou, aproximadamente, 2 minutos.

O segundo acesso, ainda no mesmo dia, ocorreu às 19h53min, ip 201.xx.xxx.x9. Neste, o estudante primeiro acessou a página de placar geral das pontuações do jogo embutido na simulação Balança, utilizado na aula. Após verificar o placar de pontuações, o estudante acessou o jogo da Balança e marcou pontos no nível 1 do jogo. Este acesso teve uma duração de 7 minutos.

No dia seguinte após a aula, 05 de julho de 2016, o terceiro acesso foi de um celular com sistema operacional Android. O estudante fez a entrada de seu celular com usuário e senha no sítio eletrônico às 12h32min. Primeiramente, o aluno acessou a página de placar geral do jogo da simulação Balança e, depois, conferiu o placar geral de todos os demais jogos do sítio eletrônico. Então, o estudante acessou a simulação Balança, porém essa não é compatível com as telas de celulares, logo o aluno desconectou-se do site.

Outro acesso ocorreu ao sítio eletrônico às 14h05min, pelo ip identificado houve um acesso da própria escola de um computador do laboratório de Informática. No caso, o acesso foi realizado por um estudante que estava em aula em uma disciplina da área técnica do seu curso. O estudante primeiro verificou o placar geral de pontuação e, depois, acessou o jogo da simulação “Balançando”, interagindo com o jogo por, aproximadamente, 4 minutos.

Na mesma tarde, um acesso às 14h47min foi realizado de um computador pessoal utilizado por um aluno utilizando a Internet da escola durante uma aula no laboratório de Informática. Este aluno interagiu por 4 minutos com o jogo Fatorar do sítio eletrônico e, após, acessou o jogo da Balança. Durante a sessão, o estudante registrou suas pontuações no placar de pontuações *online*.

²⁹ Lucky Orange. Disponível em: <http://www.luckyorange.com/>. Acessado em: 7 de janeiro de 2017.

Ainda no dia seguinte após a aula, um acesso foi realizado por um estudante que entrou no sítio eletrônico com seu nome de usuário e senha às 19h11min, ip 138.xx.xx.xx3. Este aluno primeiro interagiu com o jogo da Balança por, aproximadamente, 5 minutos e, depois, acessou os demais jogos presentes no sítio eletrônico, totalizando um tempo de acesso de, aproximadamente, 15 minutos.

Na mesma noite, o próximo acesso foi realizado por um outro estudante às 20h47min, o qual também interagiu com o jogo da Balança, registrando 5 vezes a sua pontuação no placar de pontos *online*. No final, o estudante conferiu o placar de pontuação do jogo, finalizando o acesso com uma duração de, aproximadamente, 5 minutos.

No segundo dia após a aula, 06 de julho de 2016, um estudante entrou no sítio eletrônico às 14h09min, com seu nome de usuário e senha, de um computador da escola. Este aluno também acessou o placar geral e interagiu com o jogo da Balança por 4 minutos, registrando sua pontuação no placar *online*. Logo após, ocorreu um outro acesso às 15h47min, no qual o usuário também verificou o placar geral e entrou no jogo da Balança.

À noite, ocorreu um acesso às 00h07min do dia 07 de julho de 2016, sendo realizado de um *tablet* com sistema operacional Android. Não houve interação com os jogos do sítio eletrônico neste acesso. Durante este dia, houve outros acessos, mas sem interação com as simulações.

O próximo acesso ocorreu às 21h32min por um aluno que entrou com nome de usuário e senha, ip 187.9x.xx.xx1. O acesso foi feito de um *tablet*, o qual tentou interagir com o jogo da Balança, o acesso teve uma duração de, aproximadamente, 2 minutos. O mesmo estudante retornou ao sítio eletrônico utilizando um computador com sistema operacional Windows 8.1, desta vez, acessou o placar geral e interagiu com o jogo da Balança por, aproximadamente, 2 minutos.

Um estudante acessou o sítio eletrônico no dia 08 de julho de 2016, às 18h40min, ip 187.9x.xxx.x1, em um computador com sistema operacional Windows 10, o qual interagiu com as seguintes simulações, conforme ordem de acesso: Jogo de Multiplicar; Jogo de Dividir; Equações Químicas; Jogo de Fatorar; e Jogo dos Átomos. Este aluno registrou suas pontuações nos placares *online*s dos seguintes jogos: Jogo de Dividir; Jogo de Fatorar; e Jogo de Multiplicação. O tempo de duração de acesso ao sítio eletrônico deste aluno foi de 1 hora e 7 minutos.

No dia 09 de julho de 2016, às 15h17min, um outro estudante acessou o sítio eletrônico com seu nome de usuário e senha, ip 138.3x.xx.xx3, para verificar o placar geral, em acesso com duração de, aproximadamente, 1 minuto.

Uma aluna acessou o sítio eletrônico com seu nome de usuário e senha no dia 10 de julho de 2016 às 20h34min, ip 187.9x.xxx.xx9, a qual interagiu com o jogo da Balança e conferiu o placar geral, em acesso com duração de, aproximadamente, 6 minutos. Esta aluna também fez o registro da sua pontuação no placar *online* do jogo da Balança.

Após este dia, outros acessos ocorreram, inclusive com registros nos placares de pontuação dos jogos, porém, para o propósito desta pesquisa, não foram considerados; pois o objetivo foi verificar os acessos influenciados pela segunda aula experimental para comparar com os acessos influenciados pela primeira experiência. Assim, foram relatados aqui apenas os acessos ocorridos na primeira semana após a data de aplicação de cada aula experimental.

7.9.3 Monitoramento após a terceira aula experimental

Uma terceira aula experimental foi realizada no dia 28 de novembro de 2016 com os mesmos alunos das experiências anteriores. Esta experiência foi realizada em uma aula de Física sobre os conteúdos Colisão e Conservação da Quantidade de Movimento com a aplicação de uma simulação do grupo PhET no laboratório de Informática. A simulação utilizada não possui elementos de *game design*, como pontuação e placar geral, ou seja, sem uma seção de jogo incorporada à simulação.

Após a aula, o sítio eletrônico teve seus acessos monitorados para verificar o retorno espontâneo dos alunos. Neste caso, não houve registro de acesso dos estudantes após a aula. Isso aponta, novamente, que uma simulação sem uma seção de jogo não possui um design instrucional com efeitos motivacionais suficientes para atrair os estudantes após a sua utilização em sala de aula.

7.10 PREFERÊNCIA DOS ESTUDANTES POR DETERMINADOS ELEMENTOS DE *GAME DESIGN*

Com objetivo de levantar as preferências dos alunos sobre quais tipos de melhorias em termos de elementos de *game design* são mais atraentes para eles, um questionário foi elaborado incluindo 23 características possíveis para serem melhoradas ou incluídas nos jogos incorporados às simulações do projeto PhET. Atualmente, os elementos de *game design* das simulações PhET estão disponibilizados pelo pacote com códigos de programação pré-prontos “vegas”³⁰, com acesso livre no repositório que hospeda as simulações.

Assim, o questionário com as 23 características foi elaborado no formato de escala de Likert de 5 pontos e aplicado com 77 alunos, das mesmas turmas participantes da primeira aula experimental com os grupos G e S. Os mesmos alunos foram escolhidos para responderem o questionário por já saberem a diferença entre uma simulação com e sem jogo incorporado.

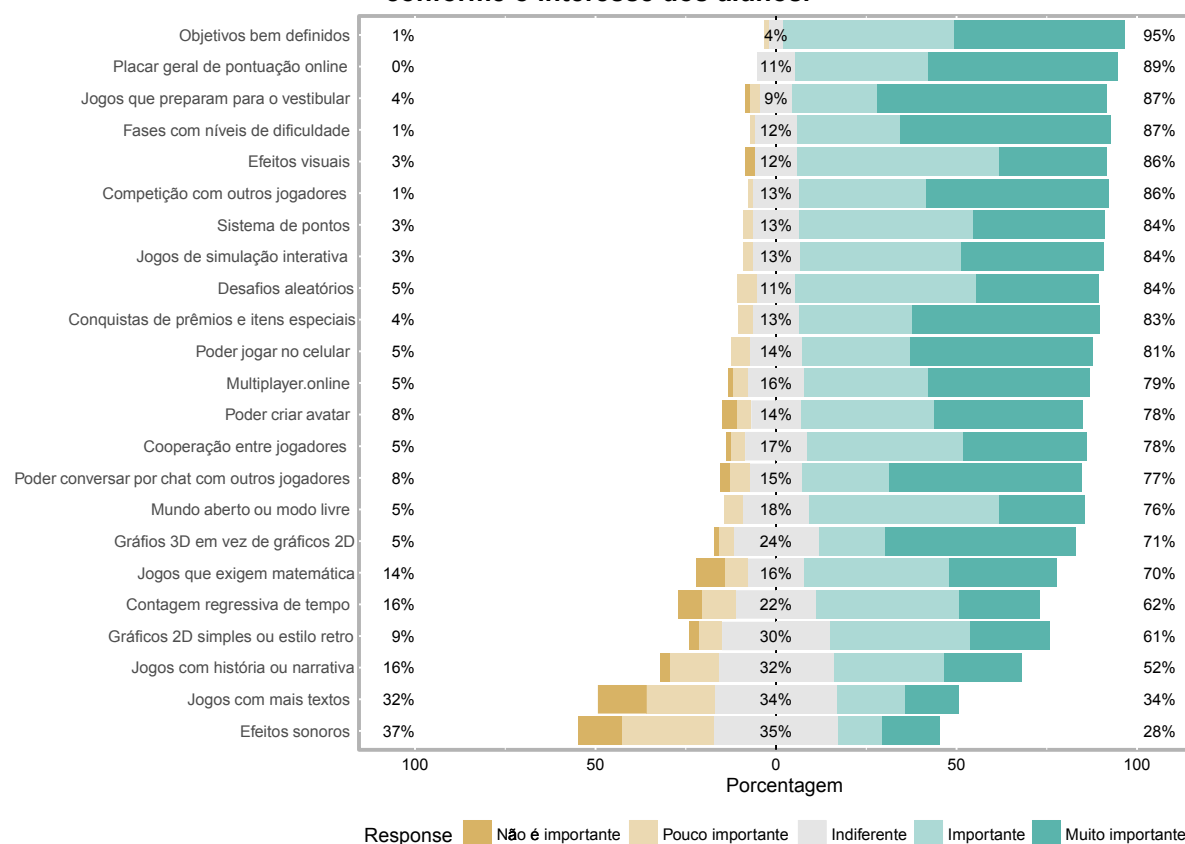
O resultado do questionário sobre características de jogos é apresentado no Gráfico 10 de visualização de escala de Likert. Este gráfico foi gerado no *software* CRAN-R com o pacote *likert*³¹, o qual requer a utilização de tabelas no formato *data.frame* com um mesmo número de níveis em cada coluna³².

³⁰ Módulo Vegas do repositório PhET. Disponível em: < disponível em: < <https://github.com/phetsims/vegas>>. Acessado em: 10 de fevereiro de 2016.

³¹ Bryer, J. M. (2013c). *likert*: R package to analyze likert based items. Disponível em: <<http://github.com/jbryer/likert>>. Acessado em: 14/01/2017.

³² Em R, foi utilizado o comando `items <- lapply(items, factor, levels=c("Não é importante", "Pouco importante", "Indiferente", "Importante", "Muito importante"))`, para igualar o número de níveis das colunas. Também foi utilizado o comando `items = as.data.frame(items)` para converter os dados em *data.frame*, conforme orientações em: Likert grouping with different levels in R. Disponível em: <<http://stackoverflow.com/questions/27061286/likert-grouping-with-different-levels-in-r>>. Acessado em: 15/01/2017.

Gráfico 10 – Gráfico de Likert para 23 elementos de *game design* ordenados por importância conforme o interesse dos alunos.



Fonte: Autoria própria (2016).

O Gráfico 10 aponta em ordem decrescente de importância os elementos ou características de design de jogos digitais educacionais conforme o interesse dos próprios alunos, participantes desta pesquisa, os quais possuem experiência em aulas de Física com o uso de simulações interativas e jogos digitais. Os dados representados neste gráfico são discutidos na Seção 8.5, página 144.

7.10.1 Sugestões dos alunos de elementos de *game design* aplicáveis em simulações interativas

Um espaço no final da atividade foi reservado para que os alunos preenchessem com sugestões para a melhoria das simulações utilizadas nas aulas de Física, dos 77 alunos participantes, 43 colaboraram com sugestões, elogios ou críticas sobre a aplicação de *game design* nas simulações do grupo PhET.

Após a leitura e análise geral dos comentários escritos pelos alunos, foram criadas 15 categorias, conforme aspectos já existentes ou possíveis de aplicação no *game design* das simulações interativas do projeto PhET. A Tabela 10 apresenta o resultado da categorização dos comentários dos alunos com o número de comentários identificados para cada categoria criada.

Tabela 10 – Classificação das sugestões dos alunos para a melhoria do processo de aplicação de *game design* em simulações interativas.

Sugestão	Número de comentários
O formato atual da simulação é satisfatório	11
Permitir criação de <i>avatar</i>	7
Precisa melhorar os efeitos sonoros	6
Colocar opção de <i>chat</i>	6
Falta mais opções no jogo	5
Salas de competição	4
Aumentar o nível de dificuldade	4
Mais jogos com novos conteúdos e mecânicas	4
Poder jogar no celular	2
Melhorar o placar de pontos	2
Melhorar o conteúdo abordado no jogo	2
Melhorar o formato da simulação	1
Jogos que preparem para o vestibular	1
Melhorar o gráfico	1
Poder jogar <i>offline</i>	1

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Tabela 10, observa-se que 11 alunos consideram que o formato atual das simulações já é satisfatório. Em segundo, os alunos (7) acham interessante a adição de sistema de *avatar*, que consiste em criação de perfis de jogadores com imagens personalizadas. Os próximos aspectos mais citados envolvem os efeitos sonoros, os quais precisam ser melhorados no caso da seção de jogo da simulação PhET, e a colocação de sala de bate-papo, ou *chat*, que, junto com o sistema de avatar, resultaria em um recurso mais sociointerativo, aumentando o efeito motivacional do recurso. Os dados representados nesta tabela são discutidos na Seção 8.5, página 144.

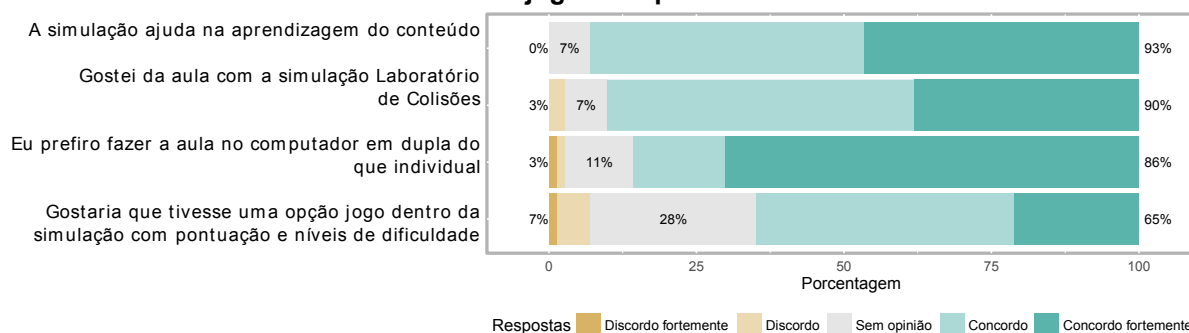
7.10.2 Interesse dos alunos pela presença de uma seção de jogo incorporada às simulações de Física

Para saber a opinião dos alunos sobre a necessidade de jogo incorporado em simulação interativa, um questionário foi elaborado e aplicado após uma aula com o uso de uma simulação sem jogo incorporado, para verificar se alunos sentem ou não a falta de jogo na simulação. Nesta aula, o conteúdo da simulação utilizada foi “Laboratório de Colisões”, e uma ficha de atividades foi entregue aos alunos com orientações e atividades sobre o tema.

Além de questões sobre a presença ou não da seção de jogo na simulação, uma pergunta foi adicionada ao teste para levantamento da carga cognitiva atribuída ao uso da simulação “Laboratório de Colisões”, sem a seção de jogo incorporada.

O questionário de levantamento de interesse dos alunos pela seção de jogo é composto por 4 itens no formato de escala de Likert de 5 pontos: Concordo fortemente; Concordo; Sem opinião; Discordo; e Discordo fortemente. O questionário foi respondido por 71 alunos e os resultados obtidos estão representados no Gráfico 11.

Gráfico 11 – Respostas do questionário aplicado em uma aula sem utilização de simulação com jogo incorporado.



Fonte: Autoria própria (2016).

No Gráfico 11, destaca-se que apenas 7% dos estudantes não gostariam de ter como opção uma seção de jogo em uma simulação do projeto PhET. Apenas 3% dos estudantes preferem fazer a aula no computador de forma individual e não em dupla, a mesma percentagem de alunos não gostou da aula com a simulação “Laboratório de Colisões”. Não houve alunos que responderam em desacordo com a capacidade da simulação em ajudar na aprendizagem do conteúdo. Esses são discutidos no Capítulo 8 como forma complementar da interpretação dos resultados gerais observados.

8 DISCUSSÃO

Esta pesquisa avaliou os efeitos da aplicação de *game design* na simulação interativa “Balançando”, disponibilizada pelo projeto PhET, no processo de ensino e na aprendizagem do conteúdo momento de uma força com alunos do Ensino Médio. Um procedimento experimental de métodos mistos foi elaborado composto por três aulas experimentais de Física com alunos de duas turmas do 1º ano do Ensino Médio Técnico Integrado.

O Capítulo 7 apresentou os resultados quantitativos e qualitativos obtidos com a realização das três aulas experimentais, os quais foram analisados para o teste das hipóteses de pesquisa levantadas neste estudo, as quais podem ser sumarizadas como:

- 1) H₁: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a aquisição de conhecimento em aulas de Física com estudantes do Ensino Médio.
- 2) H₂: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a retenção de conhecimento em aulas de Física com estudantes do Ensino Médio.
- 3) H₃: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a carga cognitiva envolvida no processo de ensino e aprendizagem em aulas de Física.
- 4) H₄: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET influencia o interesse dos estudantes pela utilização das simulações em situações fora do contexto escolar.

Além das hipóteses acima, este estudo também investigou a seguinte questão de pesquisa:

- 1) Q₁: Quais os elementos de *game design* são mais apropriados para aplicação nas simulações interativas do grupo PhET?

As aulas experimentais foram elaboradas utilizando duas versões modificadas da simulação “Balançando” do grupo PhET, uma com a presença de elementos de *game design* do módulo “vegas” e outra sem a aplicação de *game design*. Na segunda aula experimental, foi utilizada uma simulação com a inserção de novos elementos de *game design* programados com o objetivo de aprimorar os recursos do módulo “vegas”.

Os alunos foram divididos aleatoriamente em dois grupos: Grupo S e Grupo G. O Grupo S, ou grupo de controle, teve acesso à simulação sem aplicação de *game design*, enquanto o Grupo G, ou grupo de tratamento, utilizou uma simulação com uma seção de jogo embutida na simulação.

Os dois grupos, S e G, possuem semelhanças em quantidade de alunos e conhecimento prévio de Física, conforme resultados apresentados na Seção 7.1, a Tabela 2 e o Gráfico 3. As variáveis biográficas também foram analisadas e o resultado indicou não haver diferença entre os grupos quanto à idade dos participantes, proporção de gêneros e atitude em relação à Física, conforme exposto na seção 7.2. Além disso, os grupos também possuem semelhanças nos hábitos relacionados com jogos digitais, considerando diferentes plataformas, ver Tabela 5.

Considerando apenas a plataforma computador, o Grupo G apresenta um número maior de alunos (15) que jogam neste tipo de plataforma todos os dias, enquanto que, no Grupo S, o número de alunos com este hábito é menor (6), essa diferença será analisada de forma isolada posteriormente. De maneira geral, essa diferença não é estaticamente significativa ao considerar todas as plataformas de jogos, conforme mostra a Tabela 4.

8.1 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H₁: AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

A aquisição de conhecimento dos alunos após a aula foi verificada com um pós-teste aplicado aos dois grupos participantes. Dessa maneira, a hipótese H₁ pode ser testada com a comparação inferencial dos resultados obtidos por cada grupo. Primeiramente, uma hipótese nula foi elaborada conforme segue: H₀₁: A aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET não afeta a aquisição de conhecimento em aulas de Física com estudantes do Ensino Médio.

A análise quantitativa dos resultados do pós-teste corrobora com a hipótese H_{01} , confiabilidade de $\alpha = 0,05$, conforme teste de Mann-Whitney U ($W = 573$, $p = 0,16$, $r = -0,16$). Assim, pelos dados quantitativos, não há evidências para aceitar ou rejeitar a hipótese direcional H_1 , no delineamento experimental deste estudo. Um estudo semelhante com alunos de mesma idade, em que a utilização de jogo digital não resultou em diferença significativa no resultado de aprendizagem ($p > 0,05$), foi realizado por Annetta *et al.* (2009) na aplicação de um jogo para o ensino de genética. Em outros casos, a utilização de recurso didático no formato de jogo digital demonstra influenciar positivamente a aquisição de conhecimento dos alunos, conforme discutido na pesquisa realizada por Kebritchi M., Hirumi A. e Bai H. (2010), no âmbito do ensino de álgebra para alunos do Ensino Médio.

Os dados qualitativos complementares, obtidos nesta pesquisa com os comentários dos alunos, também indicam que uma seção de jogo digital embutida nas simulações interativas não interfere na qualidade do processo de ensino e aprendizagem, conforme a análise das opiniões dos alunos sobre o processo de ensino e aprendizagem.

A análise foi realizada com a classificação dos comentários em três categorias, conforme o resultado apresentado na seção 7.8. Alunos de ambos os grupos, em quantidade praticamente igual, 12 do Grupo G e 13 do Grupo S, destacaram que o recurso utilizado facilitou o processo de aprendizagem como um aspecto positivo da aula. No geral, os alunos consideraram que a aula teve uma boa qualidade de método de ensino empregado. O aspecto menos citado foi o fator entretenimento, observado nos comentários de 4 alunos do Grupo G e 2 alunos do Grupo S.

Este resultado indica que a aplicação de elementos de *game design* nas simulações interativas de Física pode complementar o processo de ensino e aprendizagem, sem prejudicar a aquisição de conhecimento ou a atitude dos alunos em relação ao método de ensino.

Este resultado também reforça a possibilidade do professor em poder utilizar jogos digitais como uma mídia instrucional capaz de favorecer a aprendizagem dos alunos proporcionando uma aula diferenciada. Essa observação está de acordo com a tendência de crescimento da proposta de Aprendizagem baseada em Jogos Digitais, ou fenômeno DGBL (PRENSKY, 2007), (PERROTTA *et al.*, 2013). Essa tendência é verificada em levantamentos realizados por Hwang e Wu (2012), e, recentemente, no panorama brasileiro por Ribeiro *et al.* (2015).

Nos comentários dos alunos sobre a aula, o fator entretenimento foi o menos citado entre os alunos de ambos os grupos G e S. Isso indica que a necessidade de uma reflexão acerca dos pensamentos dos céticos à DGBL, discutido em Prensky (2007). Há um grupo de céticos que defendem a ideia de que os jogos não valem a pena por oferecer uma quantidade de entretenimento que inviabiliza seu uso. Porém, o que se observa nesta pesquisa é algo contrário a esse ceticismo, pois a presença de uma seção de jogo na simulação não resultou em um maior destaque para o fator entretenimento, mas sim para o fator aprendizagem.

Sumarizando, as análises dos resultados experimentais, coletados no final da aula, indicam que não há evidências para rejeitar a hipótese nula H_{01} ou aceitar a hipótese alternativa H_1 . Ou seja, não se observaram efeitos negativos na aquisição de conhecimento dos alunos com o uso da seção de jogo, criada com elementos do módulo vegas, na simulação interativa Balançando do grupo PhET.

8.2 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H_2 : RETENÇÃO DE CONHECIMENTO

A hipótese H_2 tem como variável dependente a retenção de conhecimento adquirido na aula pelos alunos e como variável independente as versões de simulações utilizadas com cada Grupo. Para avaliar essa hipótese, um teste de retenção foi aplicado para ambos os grupos duas semanas após a aula. Durante este período, os alunos não tiveram aula de Física.

Esta hipótese prevê um resultado menor para o Grupo G para o teste de retenção, pois a concepção de aprendizagem pela descoberta guiada é conflitante com o modelo de *game design* utilizado na seção de jogo.

Porém, contrariando essa hipótese, a análise dos dados quantitativos mostrou que os grupos G e S diferem significativamente nos resultados obtidos no teste de retenção. O resultado do Grupo G no teste de retenção foi maior que o do Grupo S, com significância de 0,05, teste de Mann-Whitney U ($W = 964$, $p(\text{unilateral}) < 0,01$, $r = -0,34$), conforme resultados apresentados na seção 7.4.

O tamanho de efeito da amostra de 0,34 representa que o experimento resultou em uma observação relevante para a pesquisa. Pois, por convenções estatísticas, o tamanho de efeito da amostra é classificado como: pequeno se o r foi menor que 0,30; médio se o r for entre 0,30 e 0,50; e grande para r maior que 0,50.

Valores muito grandes para r ocorrem, geralmente, em situações muito esperadas ou em observações de casos óbvios (COHEN, 1992b) (FRITZ; MORRIS; RICHLER, 2012).

Além da comparação do teste de retenção, a análise também envolveu a comparação da diferença nos resultados obtidos pelos alunos nos testes de retenção e pós-teste. Primeiramente, a diferença no resultado dos testes para cada aluno foi calculada. Depois, essa diferença foi comparada entre os grupos com teste t para duas amostras independentes, ver seção 7.5.1.

Pela análise dos resultados, o Grupo G obteve uma diferença menor entre o teste de pós-teste e o teste de retenção quando comparado com o obtido pelo Grupo S, apresentando uma melhor retenção do conhecimento, conforme teste t independente $t(73) = 3,52$, $p < 0,05$ e tamanho do efeito $r = 0,38$, que é equivalente a um efeito de Cohen $d = 0,81$, considerado como um efeito grande ($d > 0,80$), com poder estatístico de 0,95.

O conhecimento do tamanho do efeito do resultado observado em uma pesquisa baseada em evidências é importante para a realização de estudos de meta-análise. Segundo Hattie (2009), em pesquisa educacional, o tamanho de efeito de Cohen mínimo considerado como relevante para área é de $d = 0,40$.

No caso da Aprendizagem baseada em Jogos Digitais, Mayer (2014) realizou uma pesquisa de meta-análise sobre a eficiência dos jogos digitais em comparação com as mídias convencionais para cinco domínios acadêmicos: ciência; língua estrangeira; matemática; artes e estudos sociais. Esse estudo envolveu o cálculo da média do tamanho de efeito de Cohen divulgado nas pesquisas para cada área. No domínio da ciência, o autor avaliou 16 pesquisas, encontrando o valor médio para o tamanho de efeito de Cohen $d = 0,69$, sendo a área com a segunda maior eficiência observada na comparação dos jogos digitais com as mídias convencionais. Em primeiro, ficou a área de estudo de línguas estrangeiras com $d = 0,96$.

Apesar desses resultados favoráveis para a aplicação dos jogos digitais educacionais, Mayer (2014) comenta que é prematura a recomendação e incorporação dos jogos digitais no currículo escolar; pois muitos estudos sobre a eficiência dos jogos digitais apresentam um tamanho de efeito grande, $d = 0,63$, por envolver comparações entre grupos experimentais e grupos de controles com aplicação de atividades regulares de sala de aula. Essa observação é feita com base em trinta estudos comparativos.

Mayer (2014) sugere que o melhor design experimental para estudos comparativos nesses casos é a utilização de grupos de controle que recebam atividades instrucionais baseadas em computador. Nesses casos específicos, o tamanho de efeito encontrado, em uma amostra de dez estudos comparativos, é mais baixo $d = 0,12$, considerado como um efeito pequeno.

Valores maiores para o tamanho do efeito da amostra já foram observados em estudos anteriores sobre a influência dos jogos digitais na retenção de conhecimento. Em pesquisas com estudantes na faixa etária entre 13 e 17 anos, Brom, Preuss e Klement (2011) encontraram um tamanho do efeito para retenção proporcionada por jogos digitais de $d = 0,67$ e Huizenga *et al.* (2009) encontraram um tamanho de efeito de $d = 0,62$. Esses casos citados acima corroboram, de certa maneira, com o resultado encontrado nesta pesquisa para a hipótese H₂, que investiga a influência dos jogos digitais na retenção do conhecimento dos estudantes com a aplicação de jogo digital no processo de ensino e aprendizagem.

Além da análise estatística por meio do tamanho do efeito, essa pesquisa também avaliou os resultados utilizando curvas de regressão com superfícies de densidade. O Gráfico 8, página 118, complementa a evidência da influência positiva da seção de jogo na retenção de conhecimento dos aprendizes. Pois, pelo gráfico, é possível verificar pela inclinação da curva ajustada que o resultado no teste de retenção possui relação com o conhecimento prévio, porém há um degrau, ou *gap*, entre a curva do Grupo G (superior) e a curva do Grupo S (inferior).

Outra curva de regressão foi gerada no Gráfico 9, página 119, mostrando que a diferença na retenção de conhecimento não possui dependência com o conhecimento prévio dos alunos, mas sim com a intervenção aplicada, ou seja, o Grupo G possui uma perceptível diferença de +1 ponto em relação ao Grupo S, evidenciado, novamente, a influência positiva da seção de jogo na retenção de conhecimento.

O efeito positivo na retenção do conhecimento observado nos resultados do Grupo G pode ser explicado com base na Teoria da Carga Cognitiva de Sweller, Merriënboer e Paas (1998), conforme discutida anteriormente, essa entende que o objetivo de um recurso instrucional é oportunizar a construção e automatização de esquemas cognitivos na memória de longo prazo, para que, posteriormente, possam ser requisitados pela memória de trabalho durante a elaboração de estratégias na solução de problemas.

Com referência à Teoria da Carga Cognitiva, o que indica é que a seção de jogo favorece a simulação na sua função como recurso didático resultando em um ambiente mais propício para a construção e automatização de esquemas cognitivos na memória de trabalho dos aprendizes. Isso pode ocorrer considerando que a seção de jogo exija que os estudantes construam e apliquem estratégias de solução de problemas em diferentes configurações conforme avançam para níveis de dificuldades maiores. Pelos resultados obtidos, o efeito dessa tarefa, realizada em ciclos durante a utilização do recurso, atende o objetivo de automatização de esquemas cognitivos na memória de longo prazo.

Neste trabalho, o delineamento experimental não permitiu conhecer as diferentes estratégias cognitivas criadas e aplicadas pelos alunos, podendo esta questão ser tratada em um trabalho futuro.

8.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H₃: CARGA COGNITIVA

A terceira hipótese é uma afirmação de que a aplicação de *game design* nas simulações interativas do projeto PhET afeta negativamente a carga cognitiva envolvida no processo de ensino e aprendizagem em aulas de Física. Esta hipótese foi elaborada com base na Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER, 1988), que possui como conceito-chave a identificação de três tipos de cargas cognitivas envolvidas na memória de trabalho no processo de aprendizagem: (1) carga cognitiva intrínseca; (2) carga cognitiva estranha (*extraneous*); e (3) carga cognitiva relevante (*germane*) (SWELLER; MERRIENBOER; PAAS, 1998).

A Teoria da Carga Cognitiva tem como objetivo principal orientar a criação de design instrucional mais eficiente, evitando ou reduzindo elementos de design que gerem carga cognitiva estranha, que acarretam em sobrecarga da memória de trabalho.

Assim, a hipótese H₃ foi elaborada prevendo que os elementos de *game design* aplicados na simulação interativa pudessem afetar o processo de aprendizagem com o aumento de carga cognitiva estranha, o que resultaria em uma influência negativa no processo de ensino e aprendizagem.

Para medir a carga cognitiva na utilização das simulações por ambos os grupos, G e S, foi aplicado o instrumento de questão única de escala de 7 pontos desenvolvido por Paas F. *et al.* (2010), descrito na Seção 6.3.4, página 100. Para utilização deste teste como instrumento comparativo de esforço mental, certificou-se que ambos os grupos não tiveram diferenças significantes ($\alpha = 0,05$) no tempo de uso das simulações ($p = 0,12$), na quantidade de cliques realizadas nas simulações ($p = 0,38$) e no comprimento do caminho realizado pelo rastro do *mouse* durante a interação com as simulações ($p = 0,16$).

A comparação da medida da carga cognitiva na utilização das duas versões de simulação, com e sem a presença da seção de jogo, foi realizada com teste de Mann-Whitney U, conforme apresentado na seção 7.7. Não foi observada diferença significativa ($\alpha = 0,05$) na medida carga cognitiva entre os dois grupos, Grupo G (M = 2,63, SD = 1,13, Mdn = 2,5), Grupo S (M = 2,86, SD = 1,00, Mdn = 3,0) e na comparação com teste de Mann-Whitney U (W = 609,5, $p = 0,31$, $r = -0,12$).

Outra pesquisa que também investigou a carga cognitiva proporcionada por uma simulação do grupo PhET foi realizada por Kaheru (2014). Em sua pesquisa, Kaheru comparou a carga cognitiva resultante de aulas de Física com e sem o uso de uma simulação do grupo Phet: *Óptica Geométrica*. Em sua pesquisa, a carga cognitiva também foi medida utilizando o instrumento de Paas F. *et al.* (2010).

Em uma das intervenções, utilizando grupo de tratamento e grupo de controle, Kaheru (2014) observou uma carga cognitiva menor para o grupo que fez o uso de simulação computacional PhET (Mdn = 2) comparado com o grupo de controle (Mdn = 5), que teve aula sem o auxílio de recursos digitais. Em sua comparação, a diferença encontrada para a carga cognitiva foi significativa, conforme teste de Mann-Whitney, $U(104) = 899,50$, $Z = -2,06$, $p = 0,04$ (bilateral), $r = 0,21$, porém o tamanho do efeito observado foi baixo. Assim, com base na evidência empírica, a utilização da simulação PhET, aparentemente, não representa um aumento na carga cognitiva no processo de ensino e aprendizagem.

Na pesquisa desta tese, a carga cognitiva foi avaliada comparando duas simulações iguais, porém uma delas com a presença de uma seção de jogo digital com elementos clássicos de *game design* e outra sem essa opção de jogo. A presença dessa opção de jogo não resultou em uma diferença ($\alpha = 0,05\%$) na medida da carga cognitiva. Ou seja, a seção de jogo, aparentemente, não acarreta em um aumento

significante na carga cognitiva de trabalho dos estudantes no processo de aquisição de conhecimento.

Na segunda aula experimental, os dois grupos utilizaram simulações iguais, que, além da seção de jogo embutida, foi acrescida de um placar geral de pontuação *online*. Neste caso, a medida da carga cognitiva observada (Mdn = 2,0) ficou ainda mais baixa que as medidas obtidas na primeira aula experimental, Grupo G (Mdn = 2,5) e Grupo S (Mdn = 3,0), ficando mais próxima do resultado obtido pelo Grupo G. Este resultado mostra, novamente, que a seção de jogo nas simulações não afeta negativamente a carga de trabalho no processo de aquisição de conhecimento, conforme observado, não é possível afirmar que os elementos de *game design* do módulo vegas do grupo PhET representem aumento da carga cognitiva estranha (*extraneous*) para a memória de trabalho dos aprendizes.

Em estudo mais específico, Mayer e Johnson (2010) realizaram um experimento para investigar como determinados elementos de design instrucional, presentes em um jogo digital sobre circuitos elétricos, afetam o processo cognitivo envolvido na aprendizagem. Com os resultados do experimento, os autores descobriram que determinados elementos de *game design* podem, realmente, afetar a memória de trabalho resultando em aumento de carga cognitiva relevante, beneficiando o processo de aquisição de conhecimento. A explicação nesse caso é que a presença de alguns elementos de *game design* ajudam na manutenção da motivação dos aprendizes enquanto interagem com um jogo digital educacional.

Nesse mesmo trabalho, Mayer e Johnson (2010) concluíram a pesquisa destacando uma importante contribuição teórica para área que é, justamente, a possibilidade de inclusão de elementos com características de *game* em mídias instrucionais com o objetivo de promover a carga cognitiva relevante, ou conforme expressão utilizada pelos autores: os elementos de *game design* proporcionam processos geradores, que possuem a função de auxiliar o processo de aprendizagem.

Entretanto, essa inclusão de elementos de *game design* deve ser realizada de maneira balanceada para evitar a sobrecarga da memória de trabalho do aprendiz. Isto é, sem resultar em um aumento de carga cognitiva estranha no processo cognitivo, como o caso de utilizar elementos de *game design* em excesso que possam distrair a atenção do aprendiz.

Mayer (2014) resume as funções do *game design* instrucional no processo de aprendizagem da seguinte maneira:

“Os jogos digitais educacionais incluem ambas as características, capazes de promover a motivação dos alunos para manterem-se no jogo; e as características de instrução, que auxiliam de forma apropriada o processo de cognição durante interação com o jogo. Em particular, as características com efeitos motivadores incluem as funções de encorajar os jogadores a iniciarem o jogo, manterem-se no jogo e envolverem-se intensamente enquanto jogam. As características instrucionais com efeitos cognitivos incluem ajudar os aprendizes na compreensão do material relevante, organizando-o mentalmente em uma representação cognitiva coerente e integrando-o com conhecimentos prévios relevantes. (MAYER, 2014, p. 11, tradução nossa³³).”

Conforme os resultados obtidos nesta pesquisa discutidos nesta seção e os apontamentos teóricos encontrados sobre o problema investigado, a adição de uma seção de jogo nas simulações do projeto PhET favorecem o recurso didático por atender ambas as características citadas por Mayer (2014). Isto é, as simulações apresentam características instrucionais com efeitos cognitivos que auxiliam a aprendizagem do material relevante, enquanto que a presença de uma seção de jogo acaba por encorajar os estudantes por proporcionar efeitos motivadores, mas sem acarretar, aparentemente, em um aumento da carga cognitiva estranha.

Para compreender melhor como os elementos do módulo vegas afetam a memória de trabalho, seria necessário avaliar separadamente cada um dos elementos, utilizando técnicas de medidas de carga cognitiva apropriadas (KALYUGA; PLASS, 2009). Esse tipo de questão de pesquisa depende de um delineamento experimental próprio, algo que poderá ser realizado em um trabalho futuro.

Como exemplo, Kalyuga e Plass (2009) relataram uma investigação sobre o tipo de carga cognitiva que determinados elementos de *game design* geram na memória de trabalho, permitindo descobrir se proporcionam carga cognitiva relevante ou carga cognitiva estranha. Investigações desse tipo são úteis para melhorar o potencial pedagógico de um jogo digital educativo, pois, com a interpretação dos resultados, é possível realizar mudanças no design instrucional de um jogo com o objetivo de evitar casos de sobrecarga cognitiva da memória de trabalho dos aprendizes.

³³ Texto original: “*Games for learning include both game features, intended to motivate learners to engage in game playing, and instructional features, intended to foster appropriate cognitive processing during game playing. In particular, the motivating effects of game features include encouraging players to initiate, maintain, and intensely engage in game play. The cognitive effects of instructional features include helping learners attend to relevant material, mentally organize it into a coherent cognitive representation, and integrate it with relevant prior knowledge.* (MAYER, 2014, p. 11).”

Na classificação dos efeitos do design instrucional na carga cognitiva elencada por Sweller, Merrienboer, Paas (1998), observa-se que as simulações promovem, principalmente, o efeito *problema de objetivo-livre*, por permitir que o aluno explore as simulações conforme seus conhecimentos prévios e curiosidade enquanto interage com a simulação, esse tipo de design instrucional gera uma carga cognitiva menor quando comparado com os problemas tradicionais.

De acordo com a Teoria da Carga Cognitiva, a facilitação observada com a presença da seção de jogo na simulação pode ser explicada por atribuir ao recurso o efeito *variabilidade*, que consiste na variação das atividades utilizadas para a aprendizagem de um mesmo conteúdo. Conforme exposto no capítulo 3, essa variação beneficia o engajamento dos estudantes: Sweller, Merrienboer, Paas (1998) destacam que o efeito variabilidade acarreta em aumento da carga cognitiva relevante (*germane*), em vez da carga cognitiva estranha como previsto em alguns estudos preliminares sobre esse efeito.

8.4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A HIPÓTESE H₄: INTERESSE ESPONTÂNEO PELA SEÇÃO DE JOGO

Esta pesquisa contou com o monitoramento dos acessos ao endereço eletrônico com as simulações utilizadas nas aulas experimentais. Após a primeira aula, apenas um aluno acessou o endereço de casa, interagindo somente com as seções de jogo disponíveis. Na segunda aula experimental, o jogo recebeu um aprimoramento com a adição de placar de pontuações, permitindo aos alunos registrarem seus resultados nos jogos presentes nas simulações.

A opção de placar de pontuação acrescentou à simulação uma característica social, pois os alunos passaram a interagir com a simulação com o intuito de melhorarem seus resultados tendo como referência os resultados obtidos por outros alunos.

Também foi observado que alguns alunos assumiram um comportamento mais competitivo, buscando melhorar sua pontuação no jogo para alcançar as posições mais altas dos placares de pontuação. Conseqüentemente, essa busca pela melhoria na pontuação exige que o aluno construa estratégias para solução de problemas que envolvem o conceito de momento de uma força, após um tempo, o

aluno passa a aplicar estratégias de forma automatizada e esse conhecimento passa a compor mais facilmente a memória de longo prazo. Outra situação observada foi uma competição, que surgiu naturalmente, entre as duas turmas participantes da pesquisa, pois, além do nome, os alunos passaram a registrar o nome do curso que frequentam.

No experimento, ficou evidente que, após a adição do placar de pontuação, houve um aumento no interesse dos alunos pelas simulações, principalmente, devido à da seção de jogo embutida. O monitoramento dos acessos indicou que 12 acessos foram realizados após a aula, sendo que a predominância nesses acessos foi pelas seções de jogos disponíveis nas simulações e pela página que contém os placares de pontuação.

Posteriormente, foi realizada uma terceira aula experimental utilizando uma simulação sobre colisões, porém sem a presença de uma seção de jogo. Em um questionário aplicado no final da aula, 65% dos alunos responderam que gostariam que a simulação também tivesse uma seção de jogo embutida. Desses, 28% se posicionaram sem opinião e 7% dos alunos marcaram que não tem interesse pela presença de uma seção de jogo embutida na simulação sobre colisões, conforme mostra o Gráfico 11.

Tanto os dados qualitativos obtidos com o monitoramento dos acessos como os dados quantitativos evidenciam que a seção de jogo agrega valor às simulações tornando-as mais atrativas e, conseqüentemente, resulta em um maior efeito motivador, inclusive, aumentando o número de retorno de acessos ao endereço eletrônico dos alunos em situações fora de contexto escolar.

Conforme os resultados aqui discutidos, as observações mostram que a simulação por si só não é suficiente para despertar o interesse geral dos alunos para retornarem ao sítio eletrônico, o que explica o baixo número de acesso dos alunos ao portal do projeto PhET fora do contexto escolar, que é atual preocupação dos desenvolvedores do portal. Como solução para este problema, uma alternativa é investir na melhoria do design da seção de jogo das simulações para torná-las mais sociointerativas, como exemplo, a melhoria realizada nesta pesquisa com a adição de placar de pontuações permitindo o registro dos nomes dos alunos em um *ranking*.

Essas observações corroboram com as discussões realizadas por Ellington, Addinall e Percival (1981), os quais apontaram, ainda na década de 1980, que a presença de competições em simulações ou jogos digitais é uma das razões para

justificar o uso desses recursos no ensino de Ciência, pois as competições desafiam os alunos a se empenharem no jogo com maior motivação e interesse pela aprendizagem. Além do fator competição, os autores também já ressaltavam que os jogos interativos e multiusuários são capazes de auxiliar na socialização entre os alunos.

Essa influência na socialização dos alunos pelos jogos digitais também foi observada nesta pesquisa, principalmente, durante as aulas com a simulação que recebeu a opção de placar geral de pontuação. Os alunos passaram a observar e conversar sobre as conquistas realizadas pelos colegas, conforme as pontuações eram registradas no placar geral de pontuação.

O interesse dos alunos pela seção de jogo presente nas simulações pode ser explicado por ser um fenômeno cultural, considerado, por Huizinga (2000), como uma terceira função da vida humana, representada pela expressão *Homo ludens* (homem do jogo), enquanto que as outras as funções são *Homo faber* e *Homo sapiens*. Essas funções fazem parte natural da vida, inclusive no nível animal. O jogo pode ser compreendido como resultado de uma descarga vital superabundante acompanhada de satisfação.

Huizinga (2000) descreve o jogo como uma atividade de preparação para a vida adulta e pode ser associado ao desejo de dominar ou competir. Essa descrição justifica bem o caso do sucesso da seção de jogo embutida na simulação, tanto no fator aprendizagem como no efeito motivador. Ao interagir com o modo jogo, o aluno precisa aprender o conteúdo de Física da simulação caso queira ter sucesso no jogo. Consequentemente, o aluno estará mais bem preparado para aplicar esse conhecimento em situações futuras, seja em um teste escolar, na sua carreira profissional ou, até mesmo, em situações do seu cotidiano.

O jogo é uma atividade de prazer, assim, ao interagir com a seção de jogo, os alunos se divertem enquanto aprendem. Esse sentimento de prazer está associado com a descarga de energia excessiva após um esforço, o qual deve ser voluntário. O jogo deve ser realizado com liberdade e apresentado como um convite para a brincadeira. A seção de jogo da simulação deve ser encarada como um anexo, uma atividade extra. Se utilizada em aulas, o professor deve deixar os alunos livres sem atrelar notas de rendimento escolar pela realização, ou não, dessa atividade.

Huizinga (2000) comenta que o jogo deve ser sempre praticado nas “horas de ócio” e foi assim que aconteceu com os alunos que acessaram o jogo de casa nos

dias posteriores a aula. Não foi por necessidade física ou pelo dever moral, os alunos acessaram o jogo de casa por prazer e, em contrapartida, reforçaram a construção de esquemas úteis para a compreensão do conteúdo de Física envolvido na simulação.

A competição proporcionada pela seção de jogo da simulação também é compreendida por Huizinga (2000) como algo natural presente na formação da cultura, desde as sociedades primitivas. O interesse dos alunos em verificar constantemente o placar de pontuações está relacionado com o prazer que as pessoas têm em serem reconhecidas pelos espectadores de uma competição, além do comportamento de poder gabar-se a outros de seus êxitos, um caso de autoaprovação. Huizinga (2000) entende nesses casos que o “ganhar” é mais relevante quando há adversários, em grupo, o vencedor ganha estima, conquista e honrarias.

Ao embutir uma seção de jogo na simulação, é importante que ela exija faculdades específicas e que os resultados não sejam, de maneira nenhuma, obtidos por pura sorte. Para Huizinga (2000), jogos de azar são inúteis para o estudo da evolução da cultura. O que não é o caso dos jogos presentes nas simulações PhET, pois esses exigem que os alunos apliquem estratégias de resolução de problemas associadas com conteúdos curriculares.

Outra abordagem, no âmbito da cultura contemporânea, para explicar o interesse dos alunos pela seção de jogos, é associar este comportamento com o mesmo que ocorre no fenômeno dos *e-Sportes*, ou esportes eletrônicos, um novo gênero de entretenimento presente na sociedade. As competições de e-Sportes são muito semelhantes com as competições esportivas, possuindo jogadores profissionais, formação de times com técnicos especializados, confederações, patrocinadores, torcidas, transmissões ao vivo e diferentes tipos de premiações (KAYTOUE *et al.*, 2012) (AMÉRICO, 2014)(AMÉRICO, 2014) (PULCIDES; NODARI, 2015).

Os e-Sportes são, geralmente, compostos por jogos de estratégia ou de ação, e atingem um público mundial de jogadores e entusiastas. Entretanto, nesse cenário, também há espaço para os jogos digitais educacionais, como ocorre na Olimpíada de Jogos Digitais e Educação (OJE), na qual alunos de diferentes partes do Brasil participam de desafios com minijogos com conteúdos escolares que utilizam mecânicas de jogos clássicos (MEIRA; PINHEIRO, 2012) (MEIRA; NEVES; RAMALHO, 2009).

Considerando a tendência no interesse dos jovens por e-Sports e Olimpíadas Digitais Educacionais, outra proposta de trabalho futuro é a utilização e o aprimoramento das simulações de Física com jogo embutido para comporem desafios em competições virtuais.

8.5 ANÁLISE DA QUESTÃO DE PESQUISA Q₁

Nesta pesquisa, a seção de jogo embutida na simulação Balança apresentou resultados favoráveis para o processo de ensino e aprendizagem, além dos efeitos motivadores. As simulações do projeto PhET possuem licença de código aberto, permitindo que novas versões modificadas sejam programadas, como foi feito neste trabalho com a inclusão do placar de pontuação, que agregou valor ao recurso do projeto PhET.

Para orientar futuras modificações nas simulações, principalmente na seção jogo, um questionário foi elaborado para levantar, previamente, qual é a preferência dos estudantes por 23 elementos de *game design* passíveis de serem implementados ou aprimorados nas simulações. O resultado deste questionário é apresentado no Gráfico 10, página 127.

A característica considerada como a mais importante pelos estudantes foi a presença de “Objetivos bem definidos”. Essa é uma característica não presente nas simulações do projeto PhET, que são elaboradas com base em uma aprendizagem por descoberta. Os objetivos das simulações ficam mais evidentes para os alunos por meio das orientações do professor. Mesmo nas seções de jogos, os objetivos não são explicitados. Essa seria uma modificação simples de ser implementada nas simulações, porém afetaria a sua concepção de ensino de origem, a qual teria que ser revisada. Ao comparar este resultado com o obtido por Malone (1981), na década de 1980, essa mesma característica “Objetivo” foi registrada como a função de jogo com a maior preferência dos estudantes, ver Tabela 1, página 71.

Kapp (2012) destaca a importância do elemento “objetivo” por ser o ponto de partida para o início de um jogo. O jogador, ao conhecer os objetivos do jogo, consegue determinar o seu próprio progresso ou, então, saber se está avançando bem em relação aos outros jogadores.

O segundo elemento na preferência dos estudantes foi o “placar geral de pontuação *online*”, o qual já foi discutido anteriormente como um elemento que desperta o lado competitivo dos alunos, que pode ser explicado pelo conceito de Homo ludens (HUIZINGA, 2000). Este elemento também foi identificado na pesquisa de Malone (1981) como a segunda função de jogo na preferência média de estudantes, Tabela 1.

Medler (2009) fez uma pesquisa de revisão histórica sobre a importância do placar de pontuação e demais registros de conquistas nos jogos eletrônicos. Diferente da tecnologia da década de 1980, atualmente, a capacidade de processamento dos computadores e videogames permite muito mais do que salvar a pontuação final obtida em um jogo. Os jogos mais recentes são capazes de gravar uma seção de jogo completa e manter a salvo a posição do jogador para continuar o jogo em outro momento. Além disso, já é possível jogar contra jogadores fantasmas que são criados como um mescla de gravações de movimentos de jogadores reais com inteligência artificial.

Os jogos mais recentes chegam a fazer o registro de milhares de pequenas conquistas em jogo, tudo isso forma uma nova área da programação de jogos conhecida como *game analytics*. Segundo Medler (2009), essa é uma área que envolve a análise das informações gravadas em um jogo para facilitar decisões futuras de *game design*. Essas informações, por sua vez, proporcionam a construção design de jogos adaptados, ou *game adaption*. Neste caso, os jogos são programados para gravar a performance de um jogador por um período e utilizar essa informação para balancear em tempo real a dificuldade de um jogo. Medler (2009) cita como exemplo o sistema Trueskill da empresa Microsoft em sua plataforma de jogos Xbox Live.

A tendência em gravar informações das ações do jogador para, posteriormente, balancear a dificuldade de um jogo é baseada na teoria de Fluxo de Csikszentmihalyi (2008). Essa teoria busca entender os limites em que um jogo fica fácil demais e torna-se tedioso ou difícil demais ao ponto de provocar aborrecimento. Um jogo com um design que exige do jogador habilidades compatíveis com a sua capacidade resulta em uma sensação de estado de “fluxo”. Essa sensação é experimentada pelo jogador quando seus pensamentos estão totalmente imersos no ambiente de jogo na busca de soluções para os desafios em um alto grau de concentração.

As versões originais das simulações do projeto PhET não salvam os registros de performance ou das atividades realizadas pelos estudantes. Nesta pesquisa, uma modificação foi realizada na seção de jogo das simulações possibilitando ao aluno o registro da sua pontuação. Apenas com essa modificação, observou-se um interesse maior dos alunos em retornarem ao jogo, seja para melhorar a sua performance no jogo seja para verificar o placar de pontuação na comparação com os resultados obtidos pelos colegas de turma. Essa experiência indicou que o investimento na melhoria da seção de jogo agregou valor à simulação.

Este trabalho pode representar o início de um futuro projeto maior de implementação de novos elementos de *game design* nas simulações de Física para tornarem mais interativas. Por exemplo, a programação de módulos para o registro das ações realizadas pelos alunos para possibilitar a criação de modos de jogos adaptados em tempo real com as habilidades, ou conhecimento prévio, dos alunos.

Os resultados desta pesquisa indicam que: trazer as tecnologias utilizadas, atualmente, pelas grandes desenvolvedoras de jogos digitais, como a área de *game analytics* e *game adaption*, para os jogos digitais educacionais, poderá resultar em um interesse maior dos estudantes por esse tipo de recurso instrucional, mesmo em situações fora do contexto escolar. Além de poder proporcionar com os jogos digitais educacionais um estado de fluxo com objetivos pedagógicos, potencializando a aprendizagem baseada em jogos digitais.

8.6 LIMITAÇÕES E VALIDAÇÃO

O objetivo no delineamento experimental foi investigar como uma determinada característica na simulação Balança do projeto PhET afeta o processo de ensino e aprendizagem. Geralmente, os delineamentos com este objetivo fazem a comparação de uma aula com o uso de uma nova proposta de recurso didático com uma aula tradicional, do tipo quadro e giz. Porém, nesta pesquisa, optou-se por comparar a aula com o uso do recurso investigado com outra aula utilizando o mesmo recurso, diferenciado apenas na opção em questão, no caso, a presença de uma seção de jogo. Ambas as aulas foram realizadas com os mesmos esforços e a mesma qualidade pedagógica, tanto que não apresentaram diferenças significativas na análise dos dados quantitativos e qualitativos coletados durante a aula.

Outra decisão tomada nesta pesquisa foi a utilização de distribuição aleatória interna dos alunos das duas turmas participantes, algo que nem sempre é possível de realização em ambiente natural de ensino. No âmbito deste experimento, essa distribuição aleatória foi facilitada por já ser comum na escola a divisão das turmas quando os professores utilizam o laboratório de informática, que possuem 20 computadores cada para serem trabalhados com turmas 40 alunos.

Uma limitação identificada no delineamento experimental desta pesquisa ocorreu em função do tempo destinado para a aplicação do experimento e a coleta de dados. Na prática, o tempo necessário para acomodar os alunos no laboratório de informática, considerando desde a etapa de organização dos alunos, inicialização e verificação dos computadores, o tempo de aplicação dos instrumentos de coleta de dados foi bastante restrito. Assim, os testes de conhecimento com apenas 4 questões apresentou-se razoável para a proposta, permitindo a realização de inferência estatística, mas, em uma reaplicação do experimento, sugere-se o uso de testes de conhecimento com um número maior de questões, desde que haja tempo suficiente para isso.

A análise de 11 avaliações realizadas pelos alunos na disciplina de Física foi utilizada para a verificação de semelhança de conhecimento prévio dos alunos em cada grupo participante. No caso, a análise dos conhecimentos prévios dos alunos em cada grupo não indicou haver diferença, observação que reforça a validade interna dos resultados.

No levantamento das variáveis intervenientes e biológicas, a análise dos dados coletados indicou que os dois grupos são semelhantes, sendo necessário para assegurar a confiabilidade nos testes de comparação dos resultados obtidos para cada grupo. A diferença observada, mais notável, foi no número de participantes no Grupo G de alunos que possuem o hábito de jogar jogos de computador todos os dias, sendo 15 alunos para este grupo e 6 para Grupo S.

8.6.1 Comentários sobre a diferença no número de alunos que utilizam jogos de computador diariamente em cada grupo

Por haver um número maior de alunos do Grupo G (15) que possuem o hábito de jogar jogos de computador todos os dias em relação ao número de alunos com o

mesmo hábito do Grupo S (6), uma análise específica para este caso foi realizada. Considerando apenas os alunos do Grupo G, a questão é: “Os 15 alunos com este hábito são responsáveis por um resultado diferente no teste de retenção?”. Analisando esta questão com teste de inferência de Mann-Whitney U, não se observou diferença com significância estatística ($\alpha = 0,05$) para os resultados no teste de retenção ($W = 150$, $p = 0,50$).

A mesma questão foi analisada para o Grupo S: os 6 alunos com o hábito de jogar jogos de computador todos os dias são responsáveis por um resultado diferente no teste de retenção? Analisando esta questão com teste de inferência de Mann-Whitney U, também não se observou diferença com significância estatística ($\alpha = 0,05$) para os resultados no teste de retenção ($W = 77$, $p = 0,47$) para alunos com hábitos diferentes de uso de jogos de computador participantes do Grupo S.

8.6.2 Validade externa

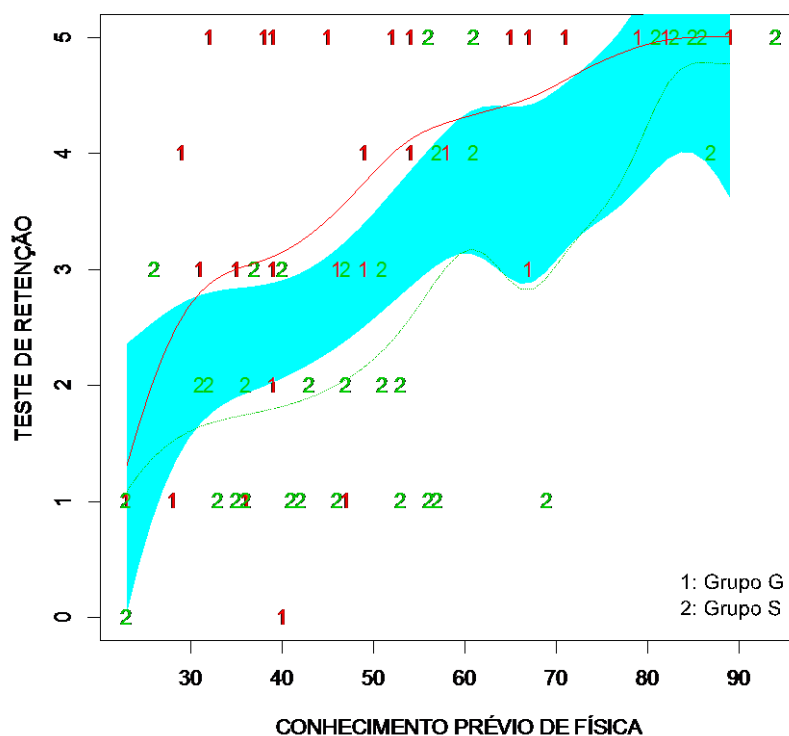
Um dos problemas da validação de pesquisas experimentais com grupos amostrais é a validade externa, que consiste em fazer inferências ou generalização dos resultados obtidos com a amostra para a população. Creswell (2010) sugere que, para lidar com ameaças à validade externa, o pesquisador pode conduzir experimentos adicionais com grupos de participantes com características diferentes, em locais diferentes e em épocas posteriores. Nesta pesquisa, decidiu-se por reaplicar o experimento com as turmas de alunos da mesma instituição do ano posterior, porém ainda trata-se de participantes do mesmo local de realização do primeiro experimento.

A reaplicação do experimento envolveu, novamente, dois grupos, sendo o Grupo G' com 29 estudantes e o Grupo S' com 35 estudantes. A diferença na reaplicação é que não foi possível realizar a distribuição aleatória dos praticantes, sendo assim, cada grupo pertencente a uma turma distinta de alunos do 1º ano do Ensino Médio do Curso Técnico em Mecânica. Na reaplicação, foi adotado um design quase-experimental, com grupo experimental e grupo-controle, mas não equivalentes.

O objetivo da reaplicação foi verificar, principalmente, a validade do resultado obtido para a retenção de conhecimento, conforme observado no Gráfico 8. Na reaplicação, restringiu-se apenas ao uso dos instrumentos de pós-teste e teste de retenção, e optou-se por adicionar uma questão a esses testes, aumentando o número

de questões de quatro para cinco. O gráfico para curva de regressão foi gerado, novamente, utilizando as médias dos alunos em avaliações anteriores como covariante. O resultado para a reaplicação pode ser observado no Gráfico 12:

Gráfico 12 - Curva de regressão entre teste de retenção e conhecimento prévio para o experimento de reaplicação.



Fonte: Autoria própria (2016).

Para o experimento de reaplicação, novamente, observa-se que a curva para Grupo G' ficou acima da curva do Grupo S', com uma inclinação positiva e um *gap* entre as curvas de regressão para os dois grupos. O Grupo G' obteve um resultado para o teste de retenção maior em quase toda a faixa de valores de conhecimento prévios. Esse resultado para a reaplicação do experimento reforça a validade externa dos resultados obtidos para a hipótese H₂.

8.7 POSSÍVEIS GENERALIZAÇÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa e discutidos nas seções anteriores podem ser compreendidos com o escopo teórico de Richard E. Mayer sobre a

aprendizagem baseada em jogos digitais quando envolve a aprendizagem de esquemas mentais, como no caso dos conteúdos de Física, com base na seguinte explicação teórica:

“A teoria de esquema tem lugar nos jogos digitais educacionais? Dada a importância dos esquemas no desenvolvimento da expertise dos estudantes em uma disciplina, a teoria de esquema continua a ser um importante quadro teórico para orientar o desenvolvimento de jogo digital. No entanto, do lado negativo, uma precaução essencial é que os métodos puros de descoberta - isto é, atividade prática sem orientação - geralmente são maneiras ineficientes e ineficazes para promoverem a aprendizagem conceitual (Kirschner, Sweller e Clark, 2006; Mayer, 2004), então, simplesmente permitir que os alunos interajam com uma simulação pode não ser tão eficaz quanto os casos em que há fornecimento de orientação e instrução (MAYER, 2014, p. 66, tradução nossa³⁴).”

Esse escopo teórico descrito por Richard E. Mayer condizem com a interpretação dos dados desta pesquisa em relação à presença ou não da seção de jogo em uma simulação do projeto PhET, e seus efeitos motivacionais e características pedagógicas. Conforme já discutido anteriormente, observou-se que as simulações, por si só, não são capazes de atrair os alunos para o seu uso em situações fora do contexto escolar. Pois, essas dependem do acompanhamento de um professor e do uso de guias de orientações para a realização de atividades de aprendizagem. Wieman *et al.* (2010) destaca que as simulações não são recursos autônomos de aprendizagem, isto é, capazes de substituírem a presença de um professor. Por outro lado, o modo jogo permite ao aluno saber se está acertando ou errando na aplicação de seus conhecimentos observando o seu próprio resultado, ou pontuação obtida no decorrer do jogo. Esse modo torna o recurso do projeto PhET independente do acompanhamento de um professor ou de materiais com orientações de uso das simulações.

Este resultado pode ser explicado levando em consideração o tipo de conhecimento exigido na compreensão do funcionamento da simulação Balança

³⁴ Texto original: “*Does schema theory have a place in games for learning? Given the importance of schemas in the learner’s development of expertise in a discipline, schema theory remains an important theoretical framework for guiding game development. However, on the negative side, an essential caution is that pure discovery methods— that is, hands-on activity without guidance— generally are inefficient and ineffective ways to promote conceptual learning (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006; Mayer, 2004), so simply allowing players to interact with a simulation may not be as effective as providing guidance and instruction (MAYER, 2014, p. 66).*”

utilizada nesta experiência. No geral, os efeitos da utilização dos jogos digitais no processo de aprendizagem são sintetizados em quatro categorias, conforme o tipo de conhecimento envolvido, conforme sintetiza Mayer (2014): conhecimento fatural; conhecimento conceitual; conhecimento procedural; e conhecimento estratégico.

No caso do objetivo pedagógico da simulação Balança do grupo PhET, o tipo predominante de conhecimento exigido é o conceitual, que envolve a aprendizagem de esquemas, em que o aluno precisa construir e organizar mentalmente representações de um sistema. Em processos de aprendizagem desse tipo, o professor é o responsável por fornecer orientações sobre como um determinado sistema funciona, por isso que é importante o uso de guias ou orientações para a boa utilização das simulações do grupo PhET, caso se deseje um bom aproveitamento do recurso. Dessa maneira, presume-se, aqui, ser este o fato das simulações não terem uma procura significativa pelos alunos em situações não formais de ensino, como em acessos de casa ou em períodos de férias escolares.

Nesta pesquisa, ficou evidente que uma forma de tornar as simulações de Física, não somente as do grupo PhET, mais abrangentes, ou seja, independentes de guias ou orientações de professores, é por meio da implementação de seções de jogo com aspectos sociointerativos.

O problema aparente na aplicação de *game design* nas simulações do grupo PhET é que contraria a sua concepção de ensino de origem, que é baseada na aprendizagem pela descoberta guiada, como uma proposta que visa à simulação de um ambiente virtual semelhante ao laboratório de um cientista, um cenário bastante distante da ideia de jogo, estando mais condizente com *Homo faber* do que *Homo luden*.

Mesmo assim, o que se observou nesta pesquisa é que a seção de jogo presente na simulação não impede que essa seja utilizada de maneira tradicional, conforme sugerida pelos desenvolvedores do projeto PhET. A seção de jogo passa a ser um modo opcional para os alunos, principalmente em situações após a aula ou quando acessam a simulação em situações fora da escola. Nestes casos, a concepção de ensino tem como referência a aprendizagem baseada em jogos digitais, a qual também possui seus méritos para o processo de ensino e aprendizagem, potencializando, assim, os objetivos pedagógicos das simulações.

Dessa maneira, o recurso instrucional investigado nesta pesquisa possui duas concepções de ensino que, pelos resultados da pesquisa, se complementam para

atender diferentes contextos de ensino. No caso de ensino formal com a presença do professor e atividades de orientação, a concepção predominante é a aprendizagem por descoberta, relação já investigada em: Rutten, Van Der Veen e Van Joolingen (2015); Chen (2010); e Stephens e Clement (2015). Nesses casos, é interessante que as aulas sejam organizadas em pequenos grupos de alunos por computador (STEPHENS; CLEMENT, 2015).

Caso contrário, em espaços informais, a seção de jogo permite uma aprendizagem mais autônoma, podendo ser utilizada pelos estudantes, inclusive, em seus momentos de recreação.

Não é comum o relato de recursos instrucionais no formato de jogos digitais construídos com referência em múltiplas concepções de ensino, conforme mostram as pesquisas de levantamento realizadas por Hwang e Wu (2012), e Ribeiro *et al.* (2015). Assim, esta pesquisa abre um novo caminho para que designers instrucionais repensem sobre a possibilidade de construção de recursos com concepções de ensino híbridas para atender melhor diferentes contextos de ensino e perfis de estudantes.

Esta pesquisa investigou questões sobre *game design* instrucional utilizando uma simulação do projeto PhET. Entretanto, essas questões também se aplicam a outros projetos institucionais que produzem e disponibilizam simulações interativas para o ensino de Ciência. Por exemplo, Clark *et al.* (2007) apresenta e discute as características de outros projetos, como: *Physlets*, *TEALsim Project*, *NetLogo*, *StarLogo*, *Molecular Workbench*, *HubNet*, *SimEarth*, *SimCity*, *SimAnt*, *SimFarm*, *Interactive Physics*, *Geode Initiative*, *Maxis SimLife*, *WISE Environment*, *Astronaut Robot Mission Simulator*, *SURGE*, *Adventure Lab*, *Save Science*, e outros.

Por exemplo, os resultados aqui encontrados podem ser empregados em análises e discussões das simulações interativas do projeto “*The Physics Aviary*”³⁵, que disponibiliza simulações e jogos em HTML5 para o ensino de Física. Os jogos deste portal também possuem elementos de *game design* no estilo dos jogos clássicos, como: pontuação; placar *online*; controle de tempo; e outros. Entre os portais citados acima, este é o que possui maior semelhança com o formato das seção de jogos das simulações do grupo PhET.

³⁵ • Frank McCulley's Simulated Environments: The Physics Aviary. Disponível em: <<http://www.thephysicsaviary.com>>. Acessado em: 25 de agosto de 2016.

9 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, um experimento foi realizado para investigar e compreender dois problemas observados nas simulações do projeto PhET. O primeiro problema é baseado em uma observação dos próprios pesquisadores do PhET ao relatarem que as simulações são pouco acessadas fora da escola pelos estudantes. O segundo problema observado, levantado neste estudo, é a presença nas simulações de elementos de *game design* no estilo de jogos clássicos de videogame. Considerando os dois problemas citados acima, esta pesquisa investigou os efeitos da seção de jogo presente em uma simulações do projeto PhET e encontrou resultados que contribuem para a compreensão de ambos os problemas.

Nas etapas iniciais, levantou-se a hipótese (H_1) de que a seção de jogo em uma simulação PhET pudesse ter efeitos negativos no processo de aprendizagem, por conter elementos de *game design* de jogos clássicos. Porém, não foram encontradas evidências para aceitar ou rejeitar esta hipótese ($p > 0,05$) após a análise de pós-teste aplicado em um experimento com grupo de controle. A análise dos dados qualitativos, coletados no final da aula experimental, também não apresentaram diferenças significantes, ou seja, ambos os grupos apresentaram atitudes semelhantes em relação ao uso da simulação PhET, seja com seja sem a presença de uma seção de jogo.

Este resultado para a hipótese H_1 indica que a seção de jogo pode ser utilizada no processo de ensino e aprendizagem, sem prejudicar a aquisição de conhecimento ou a atitude dos alunos. Esta observação contribui para área de pesquisa sobre Aprendizagem baseada em Jogos Digitais, ou fenômeno DGBL (PRENSKY, 2007), (PERROTTA *et al.*, 2013).

A pesquisa também abordou uma segunda hipótese (H_2) para verificar o efeito da seção de jogo na retenção de conhecimento por ambos os grupos. A análise do teste de retenção, aplicado duas semanas após a primeira aula experimental, mostrou uma diferença com significância estatística ($p < 0,01$ e $r = -0,34$) para os resultados obtidos pelo Grupo G e Grupo S, sendo o resultado no teste maior para o Grupo G. O tamanho do efeito ($r = 0,34$) representa uma observação relevante para a pesquisa. Essa observação foi reforçada com a análise da diferença dos resultados obtidos pelos grupos no teste de retenção e pós-teste, com um tamanho de efeito $r = 0,38$,

que é equivalente a um efeito de Cohen $d = 0,81$. Segundo Hattie (2009), em pesquisa educacional, o tamanho de efeito de Cohen mínimo considerado como relevante para área é de $d = 0,40$. Diante desse resultado, a experiência foi reaplicada em design quase-experimental, em ano posterior, com participantes diferentes e os resultados para H_1 e H_2 foram os mesmos, reforçando a validade externa do experimento.

O resultado desta pesquisa, baseada em evidências, para o tamanho do efeito na retenção de conhecimento, proporcionada pela seção de jogo presente em uma simulação PhET, contribui para a realização de futuros estudos de meta-análise. Como exemplo, Mayer (2014) avaliou 16 pesquisas e encontrou um valor médio $d = 0,69$ para o tamanho de efeito proporcionado por jogos digitais aplicados no ensino de Ciência. Sobre os efeitos dos jogos digitais, especificamente, na retenção do conhecimento, com estudantes na faixa etária entre 13 e 17 anos, Brom, Preuss e Kliment (2011) encontraram um tamanho do efeito de $d = 0,67$ e Huizenga *et al.* (2009) encontraram um tamanho de efeito de $d = 0,62$.

Este efeito positivo na retenção de conhecimento proporcionado pela seção de jogo observado nos resultados do Grupo G pode ser compreendido com base na Teoria da Carga Cognitiva. A seção de jogo presente na simulação potencializa a sua função como material instrucional, facilitando a construção e automatização de esquemas cognitivos na memória de trabalho dos estudantes. Em um trabalho futuro, um delineamento experimental poderá ser elaborado para conhecer e analisar como ocorre o processo cognitivo dos alunos na construção e aplicação de seus esquemas para solução dos problemas presentes na seção jogo da simulação.

A investigação da terceira hipótese (H_3) envolveu verificar se a aplicação de *game design* nas simulações interativas acarreta ou não em aumento da carga cognitiva estranha na memória de trabalho dos estudantes durante o uso do recurso. Para isso, o instrumento SSI (*Short Self-Report Instrument*) de questão única de escala de 7 pontos desenvolvido por Paas F. *et al.* (2010) foi aplicado em cada uma das três aulas experimentais. A análise do resultado da aplicação deste instrumento não indicou diferenças, com significância estatística, na medida carga cognitiva dos grupos G e S.

Kaheru (2014) também realizou uma pesquisa com uma simulação do projeto PhET, sobre óptica geométrica, para avaliar a carga cognitiva proporcionada, utilizando o instrumento de Paas F. *et al.* (2010). Em seu trabalho, o grupo que utilizou a simulação obteve uma medida menor ($Mdn = 2$) no teste de carga cognitiva de 9

pontos, uma diferença com significância ($p = 0,04$) quando comparado com um grupo que não teve aula sem o uso de simulação computacional ($Mdn = 5$). Esse resultado pode ser compreendido com os trabalhos de Mayer e Johnson (2010), ao concluírem em sua pesquisa que alguns elementos de *game design* podem contribuir, positivamente, para o aumento da carga cognitiva relevante.

O problema do interesse dos alunos em utilizarem as simulações em situações fora do contexto escolar foi examinado com a elaboração da quarta hipótese (H_4). Na segunda aula experimental, o design da seção jogo presente na simulação foi aprimorado, com a adição de um novo elemento de *game design*, no caso, um placar de pontuação. Após a aula experimental com essa versão modificada, 12 alunos acessaram o endereço eletrônico nos dias seguintes à aula. Observou-se, nesses acessos, que o interesse dos alunos foi pelas seções de jogos e pela conferência dos placares de pontuação. Essa atitude dos alunos pode ser compreendida com o conceito de Homo ludens de Huizinga (2000), a terceira função da vida, considerada com um fenômeno cultural. Atualmente, o interesse, principalmente dos jovens, por competições com jogos eletrônicos é, também, bastante evidenciada nos eventos de e-Sportes (KAYTOUE; SILVA; CERF, 2012) (AMÉRICO, 2014) (PULCIDES; NODARI, 2015).

Diante dos resultados dessa tese, sugere-se investir em melhorias no design das seções de jogos presentes nas simulações PhET. Para apoiar o desenvolvimento de novas simulações, essa pesquisa disponibiliza, como produto didático, um portal eletrônico para hospedagem de versões modificadas de simulações PhET e um Guia Prático de Programação de Simulações Phet.

Com referência no escopo teórico de Mayer (2014), foi possível compreender os resultados obtidos nesta pesquisa, os quais destacam que métodos de descoberta, sem orientação, geralmente, são ineficientes e ineficazes para promoverem a aprendizagem conceitual. Isto é, permitir que alunos interajam com uma simulação, sem orientação, pode não ser tão eficaz para a aprendizagem conceitual. Por isso, a seção jogo pode potencializar a função pedagógica das simulações em situações em que não há o acompanhamento de um professor. Dessa maneira, a simulação com a seção de jogo embutida pode ser utilizada tanto em espaços formais de ensino, com foco na aprendizagem pela descoberta guiada, como em outras situações adversas, em que não há o acompanhamento de um professor, com o foco em uma aprendizagem baseada em jogos digitais.

Não é comum o relato de recursos instrucionais no formato de jogos digitais compostos por múltiplas concepções de ensino, conforme mostram os levantamentos realizadas por Hwang e Wu (2012) e Ribeiro *et al.* (2015). Neste contexto, observou-se que a simulação PhET “Balançando” é um exemplo atípico de recurso didático, pois, mesmo com a combinação de concepções de ensino conflitantes, apresenta resultados positivos para o processo de ensino e aprendizagem.

Como contribuição para a área de design instrucional no ensino de Ciência, conclui-se a tese: a presença de uma seção de jogo em uma simulação interativa de Física possui efeitos positivos na retenção de conhecimento ($d = 0,81$); efeitos positivos na motivação dos estudantes em acessarem, espontaneamente, as simulações e não há evidências de aumento da carga cognitiva na memória de trabalho dos estudantes, causado pela seção de jogo.

REFERÊNCIAS

ADAMS, W. K. *et al.* New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 2, n. 1, p. 1–14, 2006.

ADAMS, W. K. Student engagement and learning with PhET interactive simulations. **Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C**, v. 33, n. 3, p. 21–32, 2010.

ADAMS, W K *et al.* A Study of Educational Simulations Part I - Engagement and Learning. **Journal of Interactive Learning Research**, v. 19, n. 3, p. 397–419, 2008.

AK, Oguz. A Game Scale to Evaluate Educational Computer Games. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 46, p. 2477–2481, jan. 2012.

AMÉRICO, Marcos. O jornalismo esportivo transmídia no ecossistema dos esportes eletrônicos (E-Sports). **Estudos em Jornalismo e Mídia**, v. 11, n. 2, p. 316, 24 out. 2014.

ANNETTA, Leonard A. *et al.* Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. **Computers and Education**, v. 53, n. 1, p. 74–85, 2009.

ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. Human memory: A proposed system and its control processes. **Psychology of Learning and Motivation**, v. 2, p. 89–195, 1968.

ATTARDI, Stefanie M.; ROGERS, Kem A. Design and implementation of an online systemic human anatomy course with laboratory. **Anatomical Sciences Education**, v. 8, n. 1, p. 53–62, 2015.

BACKLUND, Per *et al.* Sidh - a game based firefighter training simulation. In: INFORMATION VISUALIZATION, 4, 2007, Zurich. **Proceedings online...** Zurich: [s.n.], 2007. p. 899–907.

BADDELEY, Alan. Working Memory Components of Working Memory Individual Differences in Working Memory The Slave Systems of Working Memory. **Science**, v. 255, n. ii, p. 556–559, 1992.

BECKER, Katrin. Digital game-based learning once removed: Teaching teachers. **British Journal of Educational Technology**, v. 38, n. 3, p. 478–488, maio 2007.

BECKER, Katrin; JACOBSEN, D Michelle. Games for learning: are schools ready for what's to come? In: DIGRA 2005 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE, "CHANGING VIEWS:WORLDS IN PLAY", 2005, Vancouver, BC, Canada. **Proceedings online...** Vancouver, BC, Canada: Digital Games Research Association, 2005.

BRATFISCH, Oswald; BORG, Gunnar; DORNIC, Stanislav. Perceived Item-Difficulty in Three Tests of Intellectual Performance Capacity. In: REPORTS FROM THE INSTITUTE OF APPLIED PSYCHOLOGY, 1972, Stockholm. **Proceedings online...** Stockholm, Sweden: Institute of Applied Psychology, 1972.

BREUER, Johannes; BENTE, Gary. Why so serious? On the relation of serious games and learning. **Eludamos. Journal for Computer Game Culture**, v. 4, n. 1, p. 7–24, 2010.

BROCKMYER, Jeanne H. *et al.* The development of the Game Engagement Questionnaire: A measure of engagement in video game-playing. **Journal of Experimental Social Psychology**, v. 45, n. 4, p. 624–634, jul. 2009.

BROM, Cyril; PREUSS, Michal; KLEMENT, Daniel. Are educational computer micro-games engaging and effective for knowledge acquisition at high-schools? A quasi-experimental study. **Computers and Education**, v. 57, n. 3, p. 1971–1988, 2011.

BRUCKMAN, Amy. Can Educational Be Fun? In: GAME DEVELOPER'S CONFERENCE, 1999, San Jose, California. **Proceedings online...** San Jose, California: [s.n.], 1999. p. 75–79.

BURKE, Kathleen; LAWRENCE, Betty. Process education: past, present and future. **International Journal of Process Education**, v. 1, n. 1, p. 35–42, 2009.

CARR, David; BOSSOMAIER, Terry; LODGE, Ken. Designing a computer game to teach einstein's theory of relativity. In: COMPUTER GRAPHICS, IMAGING AND VISUALISATION (CGIV 2007), ago. 2007, Bangkok, Thailand. **Proceedings online...** Bangkok, Thailand: lee, ago. 2007. p. 109–114.

CHARNESS, Neil. The impact of chess research on cognitive science. **Psychological research**, v. 54, p. 4–9, 1992.

CHASE, William G.; SIMON, Herbert a. Perception in chess. **Cognitive Psychology**, v. 4, n. 1, p. 55–81, 1973.

CHEN, Sufen. The view of scientific inquiry conveyed by simulation-based virtual laboratories. **Computers & Education**, v. 55, n. 3, p. 1123–1130, nov. 2010.

CHONG, Toh Seong. Recent Advances in Cognitive Load Theory Research : Implications for Instructional Designers. **Technology**, v. 2, n. 3, p. 106–117, 2005.

COHEN, Jacob. Quantitative Methods in Psychology. **Psychological Bulletin**, v. 112, n. 1, p. 155–159, 1992a.

COHEN, Jacob. Statistical Power Analysis. **Current Directions in Psychological Science (Wiley-Blackwell)**, v. 1, p. 98–101, 1992b.

CRESWELL, Jonh W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly. **Flow: The Psychology of Optimal Experience**. Nova Iorque, NY: Harper Perennial Modern Classics, 2008.

DE JONG, Ton; VAN JOOLINGEN, Wouter R. Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. **Review of Educational Research**, v. 68, n. 2, p. 179–201, 1998.

DE MELLO, Dante Alighieri Alves; GOBARA, Shirley Takeco. Teacher Mediation in a Collaborative Learning Laboratory of Physics, a Virtual Environment for Teaching and Learning. **Creative Education**, v. 5, n. 20, p. 1812–1820, 2014.

ECHEVERRÍA, Alejandro *et al.* The atomic intrinsic integration approach: A structured methodology for the design of games for the conceptual understanding of physics. **Computers & Education**, v. 59, n. 2, p. 806–816, 2012.

ELLINGTON, Henry; ADDINALL, Eric; PERCIVAL, Fred. **Games and Simulations in Science Education**. New York: Company, Nichols Publishing, 1981.

ESQUEMBRE, Francisco. Computers in physics education. **Computer Physics Communications**, v. 147, n. 1–2, p. 13–18, ago. 2002.

FAUL, Franz *et al.* G*Power: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**, v. 39, n. 2, p. 175–191, 2007.

FEDKIW, Ronald; STAM, Jos; JENSEN, Henrik Wann. Visual simulation of smoke. In: ACM SIGGRAPH, 2001, Los Angeles. **Proceedings online...** Los Angeles: ACM, 2001. p. 15–22.

FIELD, A.; MILES, J.; FIELD, Z. **Discovering statistics using R**. London: Sage, 2010.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre Da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115–146, 2009.

FILATRO, Andrea. **Design instrucional na prática**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

FINKELSTEIN, N. *et al.* When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 1, n. 1, p. 10103, out. 2005.

FRITZ, Catherine O; MORRIS, Peter E; RICHLER, Jennifer J. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. **Journal of experimental psychology. General**, v. 141, n. 1, p. 2–18, 2012.

FU, Fong-Ling; SU, Rong-Chang; YU, Sheng-Chin. EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. **Computers & Education**, v. 52, n. 1, p. 101–112, jan. 2009.

GREGORCIC, Bor; BODIN, Madelen. Algodoo: A Tool for Encouraging Creativity in Physics Teaching and Learning. **The Physics Teacher**, v. 55, n. 1, p. 25–28, jan. 2017.

GRIFFITHS, Mark D. The educational benefits of videogames. **Education and Health**, v. 20, n. 3, p. 47–51, 2002.

GURSAC, Yucel. 3-D computer animation production process on distance education programs through television: Anadolu University OEF Model. **Turkish Online Journal of Distance Education**, v. 2, n. 8, p. 57–68, 2001.

HART, Sandra G. NASA-TASK LOAD INDEX (NASA-TLX); 20 YEARS LATER. In: HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 50TH ANNUAL MEETING, 2006, Los Angeles. **Proceedings online...** Los Angeles, CA: SAGE, 2006. p. 904–908.

HART, Sandra G.; STAVELAND, Lowell E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. **Human mental workload**, v. 52, p. 139–183, 1988.

HATTIE, John. Visible learning: a synthesis of over 800 meta- analyses relating to achievement. **Educational Psychology**, v. 29, n. 7, p. 867–869, 2009.

HEEREN, Timothy; D'AGOSTINO, Ralph. Robustness of the two independent samplest-test when applied to ordinal scaled data. **Statistics in Medicine**, v. 6, n. 1, p. 79–90, jan. 1987.

HOPKINS, Izabela; ROBERTS, David. “Chocolate-covered Broccoli”? Games and the Teaching of Literature. **Changing English**, v. 22, n. 2, p. 222–236, 2015.

HUANG, Wenhao *et al.* A preliminary validation of Attention, Relevance, Confidence and Satisfaction model-based Instructional Material Motivational Survey in a computer-based tutorial setting. **British Journal of Educational Technology**, v. 37, n. 2, p. 243–259, mar. 2006.

HUIB AND VAN GERVEN, Pascal WM Paas Fred and Tuovinen Juhani E and Tabbers *et al.* Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. **Educational Psychologist**, v. 1520, n. 38, p. 43–52, 2003.

HUIZENGA, J. *et al.* Mobile game-based learning in secondary education: engagement, motivation and learning in a mobile city game. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 25, n. 4, p. 332–344, 2009.

HUIZINGA, Johan. **Homo Ludens**. São Paulo: Editora Perspectiva S. A., 2000.

HWANG, Gwo-Jen; WU, Po-Han. Advancements and trends in digital game-based learning research: a review of publications in selected journals from 2001 to 2010. **British Journal of Educational Technology**, v. 43, n. 1, p. E6–E10, 21 jan. 2012.

JESSE SCHELL. **The art of game design: a book of lenses**. Burlington, MA: Elsevier, 2008.

JIMOYIANNIS, Athanassios; KOMIS, Vassilis. Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. **Computers & Education**, v. 36, n. 2, p. 183–204, 2001.

JUUL, Jesper. The game, the player, the world: Looking for a heart of gameness. **Proceedings at the Level Up: Digital Games Research Conference**, p. 30–45, 2002a.

JUUL, Jesper. The game, the player, the world: Looking for a heart of gameness. **Proceedings at the Level Up: Digital Games Research Conference**, p. 30–45, 2002b.

KAHERU, Sam James Murungi. **The use of computer simulations for cognitive load change and acquisition of knowledge and skills in geometrical optics**. 2014. Tese de Doutorado (Mathematics, Science and Technology Education with specialisation in Physics Education) - University of South Africa, 2014.

KALYUGA, Slava *et al.* The Expertise Reversal Effect. **Educational Psychologist**, v. 38, n. 1, p. 23–31, 2003.

KALYUGA, Slava; PLASS, Jan. L. Evaluating and Managing Cognitive Load in Games. **Handbook of Research on Effective Electronic Gaming in Education (3 Volumes)**, v. II, p. 719–737, 2009.

KAPP, Karl M. **The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education**. San Francisco, CA: John Wiley & Sons, 2012.

KAYTOUE, Mehdi *et al.* Watch me playing, i am a professional: a first study on video game live streaming. **Proceedings of the 21st international conference companion on World Wide Web**, p. 1181–1188, 2012.

KAYTOUE, Mehdi; SILVA, Arlei; CERF, Loïc. Watch me playing, i am a professional: a first study on video game live streaming. **Proceedings of the 21st international conference companion on World Wide Web**, p. 1181–1188, 2012.

KEBRITCHI, Mansureh; HIRUMI, Atsusi; BAI, Haiyan. The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation. **Computers & Education**, v. 55, n. 2, p. 427–443, set. 2010.

KELC, Robi. Zygote Body: A New Interactive 3-Dimensional Didactical Tool for Teaching Anatomy. **Webmed Central ANATOMY**, v. 3, p. 14, 2012.

KHATRI, Raina *et al.* Over One Hundred Million Simulations Delivered: A Case Study of the PhET Interactive Simulations. **2013 Physics Education Research Conference Proceedings**, p. 205–208, 2014.

KOLB, David. A. **Experiential learning: experience as the source of learning and development**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984.

KORT, Y.A.W. De; IJSSELSTEIJN, W. A.; POELS, K. Digital Games as Social Presence Technology: Development of the Social Presence in Gaming Questionnaire (SPGQ). In: PRESENCE 2007, 2007, Barcelona. **Proceedings online**... Barcelona: [s.n.], 2007. p. 195–203. Disponível em: <[http://home.ieis.tue.nl/ydkort/de kort et al Digital games as social presence technology PRESENCE 2007.pdf](http://home.ieis.tue.nl/ydkort/de_kort_et_al_Digital_games_as_social_presence_technology_PRESENCE_2007.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2014.

KOSCIANSKI, André; RIBEIRO, Rafael João; DA SILVA, Sani Carvalho Rutz. Short animation movies as advance organizers in physics teaching: a preliminary study. **Research in Science & Technological Education**, v. 30, n. 3, p. 255–269, nov. 2012.

LANE, Peter C R; GOBET, Fernand. Perception in chess and beyond: Commentary on Linhares and Freitas (2010). **New Ideas in Psychology**, v. 29, n. 2, p. 156–161, 2011.

LEE, Virginia S. Lee. What Is Inquiry-Guided Learning? **New Directions for Teaching and Learning**, n. 129, p. 5–14, 2012.

LI, Qing. Understanding enactivism: A study of affordances and constraints of engaging practicing teachers as digital game designers. **Educational Technology Research and Development**, v. 60, n. 5, p. 785–806, 2012.

LINEHAN, Conor *et al.* Practical, appropriate, empirically-validated guidelines for designing educational games. **CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**, n. July 2015, p. 1979–1988, 2011.

LOVELACE, Matthew; BRICKMAN, Peggy. Best practices for measuring students' attitudes toward learning science. **CBE Life Sciences Education**, v. 12, n. 4, p. 606–617, 2013.

MALONE, Thomas W. Toward a theory of intrinsically motivating instruction. **Cognitive Science**, v. 5, n. 4, p. 333–369, 1981.

MAYER, Richard E. **Computer Games for Learning: An Evidence-Based Approach**. Cambridge, MA: MIT Press, 2014.

MAYER, Richard E.; JOHNSON, Cheryl I. Adding Instructional Features that Promote Learning in a Game-Like Environment. **Journal of Educational Computing Research**, v. 42, n. 3, p. 241–265, 2010.

MEDLER, Ben. Generations of Game Analytics, Achievements and High Scores. **Journal for Computer Game Culture**, v. 3, n. 2, p. 177–194, 2009.

MEIRA, Luciano; NEVES, André; RAMALHO, Geber. Lan House na escola: uma olimpíada de jogos digitais e educação. In: VIII BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GAMES AND DIGITAL ENTERTAINMENT. **Anais...** RIO DE JANEIRO, RJ, 2009.

MEIRA, Luciano; PINHEIRO, Marina. Inovação na Escola. **SBGames 2012**, p. 42–47, 2012.

MELEIRO, Alessandra.; GIORDAN, Marcelo. Hipermídia no ensino de modelos atômicos. **Texto LAPEQ - Laboratório de Pesquisa em Ensino de Química e Telemática Educacional**, v. 9, p. 1–9, 2003.

MENEGOTTO, José Carlos; ROCHA FILHO, João Bernardes. Atitudes de estudantes do ensino médio em relação à disciplina de Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 7, n. 2, p. 298–312, 2008.

MERRILL, M. David *et al.* Reclaiming instructional design. **Educational Technology**, v. 36, n. 5, p. 5–7, 1996.

MILLER, G a. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. **Psychological review**, v. 101, n. 2, p. 343–352, 1956.

MILLER, George a. The cognitive revolution: A historical perspective. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 7, n. 3, p. 141–144, 2003.

MINSTRELL, James; KRAUS, Pamela. Guided Inquiry in the Science Classroom. **How Students Learn:: Science in the Classroom**. Washington: National Academies, 2005. p. 475–514.

MORENO, Roxana; MAYER, Richard E. Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. **Journal of Educational Psychology**, v. 91, n. 2, p. 358–368, 1999.

MOTA, Mailce Borges. Sistemas de memória e processamento da linguagem : um breve panorama. **Linguística**, v. 11, n. 1, p. 205–215, 2015.

NEUFELD, Carmen Beatriz; STEIN, Lilian Milnitsky. A compreensão da memória segundo diferentes perspectivas teóricas. **Estudos de Psicologia (Campinas)**, v. 18, n. 2, p. 50–63, 2001.

OLIVEIRA, Wesley Cabral De *et al.* Utilização e avaliação de recursos educacionais abertos no ensino de gases ideais: uma proposta de trabalho para o segundo ano do Ensino Médio. In: IV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2014, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: UTFPR, 2014. p. 1–14.

OZCINAR, Zehra. The topic of instructional design in research journals: A citation analysis for the years 1980-2008. **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 25, n. 4, p. 559–580, 2009.

PAAS, Fred. Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. **Journal of Educational Psychology**, v. 84, n. 4, p. 429–434, 1992.

PAAS, Fred G. W. C.; MERRIENBOER, Jeroen J. G. Van. The Efficiency of Instructional Conditions: An Approach to Combine Mental Effort and Performance Measures. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, v. 35, n. 4, p. 737–743, 1993.

PAAS, Fred; VAN GOG, Tamara; SWELLER, John. Cognitive load theory: New conceptualizations, specifications, and integrated research perspectives. **Educational Psychology Review**, v. 22, p. 115–121, 2010.

PEREIRA, Fernando de Candido; SCHUHMACHER, Élcio. Hands-on-tec e a aprendizagem significativa de conceitos de Física Moderna e Contemporânea. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 3, n. 2, p. 22–34, 2013.

PERKINS, K *et al.* PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. **The Physics Teacher**, v. 44, n. 1, p. 18–23, 2006.

PERROTTA, Carlo *et al.* **Game-based learning: Latest evidence and future directions**. Slough: NFER, 2013.

PHET. **PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/research>. Acesso em: 10 fev. 2016a.

_____. **PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/balancing-act>. Acesso em: 10 fev. 2016b.

_____. **PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder.** Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/balancing-chemical-equationst>. Acesso em: 10 fev. 2016c.

PHET GITHUB. **Repositório PhET GITHUB.- Vegas.** Disponível em: <<https://github.com/phetsims/vegas>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

PILATTI, Luiz; PEDROSO, Bruno; LUIS, Gustavo. Propriedades Psicométricas de Instrumentos de Avaliação: Um debate necessário. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 81–91, 2010.

PORTER, Guy *et al.* Recognizing problem video game use. **The Australian and New Zealand journal of psychiatry**, v. 44, n. 2, p. 120–8, fev. 2010.

PRENSKY, Marc. **Aprendizagem baseada em jogos digitais.** São Paulo: SENAC, 2012.

PRENSKY, Marc. **The Digital Game-Based Learning Revolution.** Minnesota: Paragon House, 2007.

PULCIDES, André Luis; NODARI, Sandra. eSPORTS: narrativas em hipermídia como competições. **Revista Dito Feito**, v. 6, n. 8, p. 1–13, 2015.

RENKEN, Maggie D.; NUNEZ, Narina. Computer simulations and clear observations do not guarantee conceptual understanding. **Learning and Instruction**, v. 23, p. 10–23, fev. 2013.

RIBEIRO, Rafael João. **Curta de animação como organizador prévio no ensino de física.** 2011. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciência e Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

RIBEIRO, Rafael João *et al.* Teorias de Aprendizagem em Jogos Digitais Educacionais: um Panorama Brasileiro. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 13, n. 1, p. 1–10, 2015.

RODRIGUES, Cassio. Contribuições da memória de trabalho para o processamento da linguagem. Evidências experimentais e clínicas. **Working papers em linguística**, n. 5, p. 124–144, 2001.

ROHLING, Jurandir Hillmann *et al.* Produção de filmes didáticos de curta metragem e cd-roms para o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 168–175, 2002.

RUTTEN, Nico; VAN DER VEEN, Jan T.; VAN JOOLINGEN, Wouter R. Inquiry-Based Whole-Class Teaching with Computer Simulations in Physics. **International Journal of Science Education**, n. July, p. 1–21, 2015.

SALEN, Katie; ZIMMERMAN, Eric. **Rules of play: Game design fundamentals**. [S.l.]: MIT Press, 2004.

SANCHO, Valero; LUIS, José. La infografía digital en el ciberperiodismo. **Revista Latina de Comunicación Social**, v. 11, n. 63, p. 492–504, 2008.

SCHWARTZ, David I.; BAYLISS, Jessica D. Unifying Instructional and Game Design. In: FELICIA, PATRICK (Org.). **Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games: Multidisciplinary Approaches**. Advances in Game-Based Learning. Hershey, PA: IGI Global, 2011. p. 192–214.

SPRING, Dawn. Gaming history: computer and video games as historical scholarship. **Rethinking History**, n. July 2015, p. 1–15, 2014.

STEPHENS, A. Lynn; CLEMENT, John J. Use of physics simulations in whole class and small group settings: Comparative case studies. **Computers & Education**, v. 86, p. 137–156, 2015.

SUN, Pei-chen; LIN, Yung-shao; HUANG, Po-chi. Effects of Different Cognitive Load Courses in Game-Based Learning on Students' Visual Attention and Learning Performance. In: THE ASIAN CONFERENCE ON TECHNOLOGY IN THE CLASSROOM 2013, 2013, Osaka, Japan. **Proceedings online...** Osaka, Japan: The International Academic Forum, 2013. p. 288–300.

SWAN, G. I. Information overload: How can we help students? In: 8TH ANNUAL TEACHING LEARNING FORUM, THE UNIVERSITY OF WESTERN AUSTRALIA, 1999, Perth: UWA. **Proceedings online...** Perth: UWA: [s.n.], 1999. p. 403–408.

SWELLER, John. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive Science**, v. 12, n. 2, p. 257–285, 1988.

SWELLER, John. Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. **Learning and Instruction**, v. 4, p. 295–312, 1994.

SWELLER, John; CHANDLER, Paul. Evidence for Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. **Cognition and Instruction**, v. 8, n. 4, p. 293–332, 1991.

SWELLER, John; MERRIENBOER, Jeroen J G Van; PAAS, Fred G W C. Cognitive Architecture and Instructional Design. **Educational Psychology Review**, v. 10, n. 3, p. 251–296, 1998.

TALIM, Sérgio Luiz. Atitude no ensino de física, A... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 313–324, 2004.

TARNOW, Eugen. Why The Atkinson-shiffrin Model Was Wrong From The Beginning. **WebmedCentral NEUROLOGY**, v. 1, n. 10, p. 1–13, 2010.

TORII, Akihiko; HAVLENA, Michal; PAJDLA, Tomás. From Google Street View to 3D city models. In: COMPUTER VISION WORKSHOPS, 2009 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE, 12, 2009, Kyoto. **Proceedings online...** Kyoto: IEEE, 2009. p. 2188–2195.

VALLADARES NETO, José *et al.* Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontológica do Brasil Central**, v. 26, n. 76, p. 1–6, 2017.

VAN GOG, Tamara; PAAS, Fred. Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. **Educational Psychologist**, v. 43, n. 1, p. 16–26, 2008.

WHITE, Barbara Y. Designing computer games to help physics students understand Newton's laws of motion. **Cognition and instruction**, v. 1, n. 1, p. 69–108, 1984.

WIEBE, Eric N.; ROBERTS, Edward; BEHREND, Tara S. An examination of two mental workload measurement approaches to understanding multimedia learning. **Computers in Human Behavior**, v. 26, n. 3, p. 474–481, 2010.

WIEMAN, C. E. *et al.* Teaching Physics Using PhET Simulations. **The Physics Teacher**, v. 48, n. 4, p. 225, 2010.

WIEMAN, Carl E; ADAMS, Wendy K; PERKINS, Katherine K. PHYSICS: PhET: Simulations That Enhance Learning. **Science**, v. 322, n. 5902, p. 682–683, 2008.

WINDELL, David; WIEBE, Eric N. Measuring Cognitive Load in Multimedia Instruction: A Comparison of Two Instruments. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION., 2007, Chicago. **Proceedings online**... Chicago: AERA, 2007.

WILLEY (2016). **Willey**. Disponível em: <<http://www.wiley.com/WileyCDA/>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

WU, Wen-Hsiung *et al.* Re-exploring game-assisted learning research: The perspective of learning theoretical bases. **Computers & Education**, v. 59, n. 4, p. 1153–1161, dez. 2012.

YAIR, Yoav; LITVAK, Rachel Mintz And Shai. 3d-virtual reality in science education: an implication for astronomy teaching. **Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching**, v. 20, n. 3, p. 293–305, 2001.

YEE, Nick. Motivations for play in online games. **Cyberpsychology & behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society**, v. 9, n. 6, p. 772–5, dez. 2006.

ZUMBACH, Joerg; MOHRAZ, Maryam. Cognitive load in hypermedia reading comprehension: Influence of text type and linearity. **Computers in Human Behavior**, v. 24, n. 3, p. 875–887, 2008.

APÊNDICE A - Guias com orientações para as atividades de aprendizagem

Guia com orientações para atividade de aprendizagem: Grupo G



Física I

Data - ___/___/2016

Professor: Rafael João Ribeiro	Disciplina: Física I
Aluno(a): _____	Curso: _____
Conteúdo: momento de uma força e condição de equilíbrio estático.	

A balança é um instrumento utilizado pelo homem desde a antiguidade. Observe a figura abaixo:



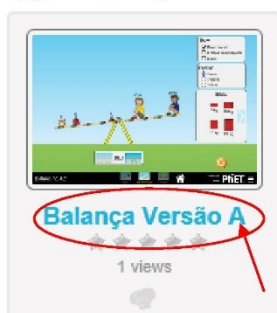
Esta figura representa uma escrita em papiro que mostra os egípcios com uma balança de equilíbrio, que era usada em um ritual de julgamento final chamado "Salão das duas Verdades".

Para refletir: você saberia utilizar uma balança como essa para calcular a massa de um objeto desconhecido?

1. Para iniciar a aula de hoje, você irá entrar no site: fisicagames.com.br e fazer o seu registro nas opções no canto direito, conforme mostra a figura abaixo:



2. Anote aqui o seu nome de usuário cadastrado: _____ use uma senha que seja fácil de lembrar. Após fazer o login no site você poderá editar seu perfil para preencher o campo com o seu nome completo. Você pode chamar o professor caso tenha alguma dúvida para fazer o cadastro.
3. Feito o login no site, entre na simulação com o nome "Balança Versão A" e entre na opção "Introdução":



Dependendo da internet, a simulação pode demorar um pouco para carregar.

Para entender como o simulador de balança funciona, coloque algumas massas na gangorra e use o botão liga e desliga no centro da tela. Depois veja o que acontece ao ativar ou desativar as opções no painel lateral.

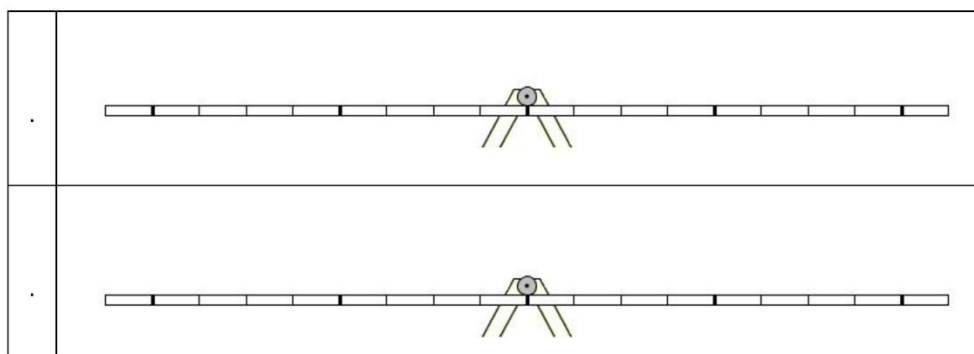
Qualquer dúvida sobre o funcionamento do simulador você pode chamar o professor.

4. Use o simulador para responder a pergunta: existe mais de uma maneira para equilibrar dois objetos de massas idênticas?

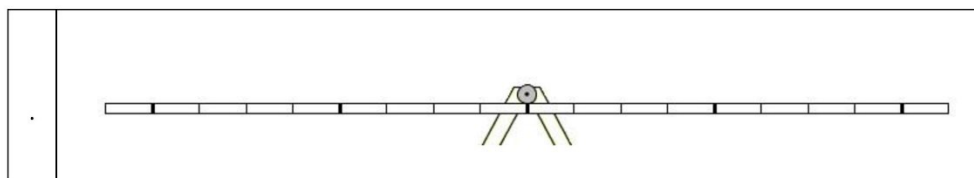
Resposta: _____

5. Agora, escolha dois objetos com massas diferentes e coloque um de cada lado na balança. Tente descrever pelo menos 2 maneiras diferentes de posicionar os objetos para obter o equilíbrio. Desenhe essas duas maneiras nas figuras abaixo:

Lembre-se de indicar os valores das massas e a distância de cada massa até o centro da balança (ponto de apoio).



6. Agora crie uma situação de equilíbrio com 1 massa do lado direito e 2 massas do lado esquerdo da balança. Após conseguir o equilíbrio, desenhe o resultado na figura abaixo indicando os valores das massas e as distâncias de cada uma até o ponto de apoio:



A balança em condição de equilíbrio é obtida quando a ação das forças que fazem a balança inclinar para um lado é igual a ação das forças que fazem a balança inclinar para o outro lado.

Na Física, a ação de uma força em fazer um corpo girar é conhecida como Momento de uma Força, que é determinada pela multiplicação da força pela sua distância até o ponto de apoio.

Faça um teste para o caso que você desenhou acima: multiplique cada força pela sua distância até o ponto de apoio, anote esses valores na figura.

Agora compare o resultado da multiplicação obtido para a massa da esquerda com a soma dos resultados obtidos para as massas do lado direito.

Desafio final!

No simulador, entre na opção “Jogo” e escreva aqui a sua **pontuação** final obtida nos seguintes níveis de dificuldade. A pontuação aparece no final de cada nível.

NÍVEL 1_____

NÍVEL 2_____

Em casa, se tiver interesse, tente obter a máxima pontuação nos níveis 3 e 4.

FIM!

Guia com orientações para atividade de aprendizagem: Grupo S



Física I

Data – ___/___/2016

Professor: Rafael João Ribeiro	Disciplina: Física I	Curso: _____
Aluno(a): _____		
Conteúdo: momento de uma força e condição de equilíbrio estático.		

A balança é um instrumento utilizado pelo homem desde a antiguidade. Observe a figura abaixo:



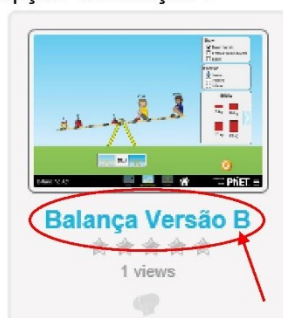
Esta figura representa uma escrita em papiro que mostra os egípcios com uma balança de equilíbrio, que era usada em um ritual de julgamento final chamado “Salão das duas Verdades”.

Para refletir: você saberia utilizar uma balança como essa para calcular a massa de um objeto desconhecido?

1. Para iniciar a aula de hoje, você irá entrar no site: **fisicagames.com.br** e fazer o seu registro nas opções no canto direito, conforme mostra a figura abaixo:



2. Anote aqui o seu nome de usuário cadastrado: _____ use uma senha que seja fácil de lembrar. Após fazer o login no site você poderá editar seu perfil para preencher o campo com o seu nome completo. Você pode chamar o professor caso tenha alguma dúvida para fazer o cadastro.
3. Feito o login no site, entre na simulação com o nome “Balança Versão B” e entre na opção “Introdução”:



Dependendo da internet, a simulação pode demorar um pouco para carregar.

Para entender como o simulador de balança funciona, coloque algumas massas na gangorra e use o botão liga e desliga no centro da tela. Depois veja o que acontece ao ativar ou desativar as opções no painel lateral.

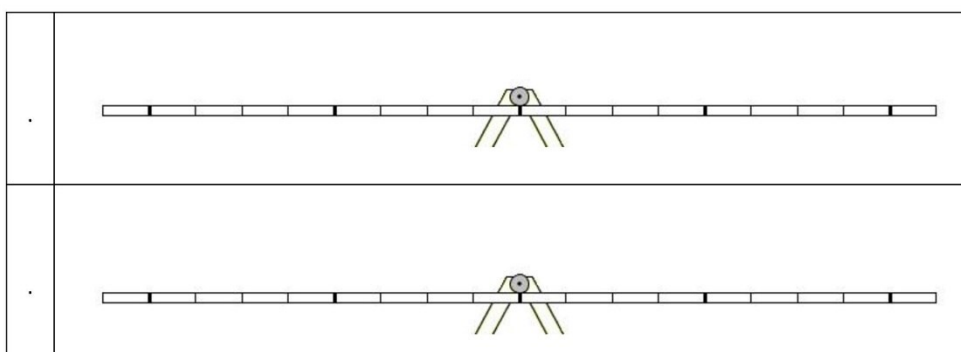
Qualquer dúvida sobre o funcionamento do simulador você pode chamar o professor.

4. Use o simulador para responder a pergunta: existe mais de uma maneira para equilibrar dois objetos de massas idênticas?

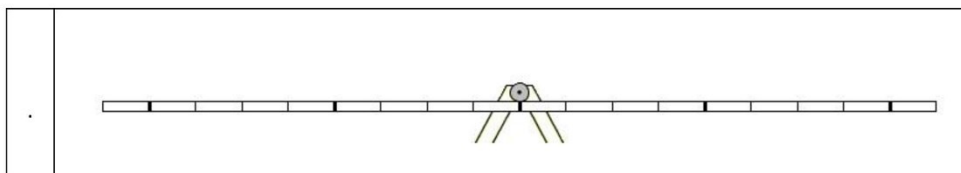
Resposta: _____

5. Agora, escolha dois objetos com massas diferentes e coloque um de cada lado na balança. Tente descrever pelo menos 2 maneiras diferentes de posicionar os objetos para obter o equilíbrio. Desenhe essas duas maneiras nas figuras abaixo:

Lembre-se de indicar os valores das massas e a distância de cada massa até o centro da balança (ponto de apoio).



6. Agora crie uma situação de equilíbrio com 1 massa do lado direito e 2 massas do lado esquerdo da balança. Após conseguir o equilíbrio, desenhe o resultado na figura abaixo indicando os valores das massas e as distâncias de cada uma até o ponto de apoio:



A balança em condição de equilíbrio é obtida quando a ação das forças que fazem a balança inclinar para um lado é igual a ação das forças que fazem a balança inclinar para o outro lado.

Na Física, a ação de uma força em fazer um corpo girar é conhecida como Momento de uma Força, que é determinada pela multiplicação da força pela sua distância até o ponto de apoio.

Faça um teste para o caso que você desenhou acima: multiplique cada força pela sua distância até o ponto de apoio, anote esses valores na figura.

Agora compare o resultado da multiplicação obtido para a massa da esquerda com a soma dos resultados obtidos para as massas do lado direito.

Desafio final!

No simulador, entre na opção "Laboratório de equilíbrio". Qual é o valor da massa misteriosa do objeto **F**? Explique como você fez para determinar o valor dessa massa:



Resposta: _____

Em casa, se tiver interesse, tente descobrir os valores das massas dos objetos misteriosos E, G e H.

FIM!

APÊNDICE B - Pós-teste e teste de retenção

Pós-teste:

**Física I**

Data - ___/___/2016

Professor: Rafael João Ribeiro

Disciplina: Física I

Aluno(a): _____

Curso: _____

Conteúdo: questionário 3.

Circule o número que melhor descreve a sua experiência de hoje.

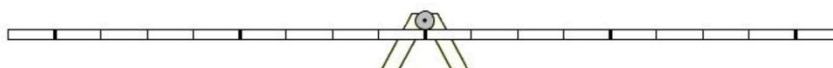
Foi difícil para você entender o conteúdo da aula de hoje?

Extremamente
fácil

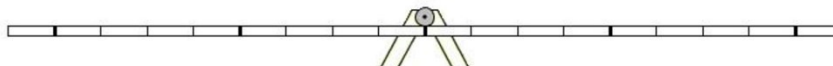
Extremamente
difícil

1-----2-----3-----4-----5-----6-----7

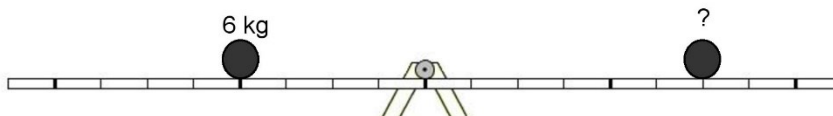
1. Considere duas pedras de massas idênticas de 10 kg cada. Cuidadosamente desenhe as duas pedras na gangorra abaixo em posições que resulte em equilíbrio na horizontal:



2. Agora você tem uma pedra de 10 kg e outra de 20 kg. Cuidadosamente desenhe as duas pedras na gangorra abaixo em posições que resulte em equilíbrio na horizontal. Indique o valor da massa de cada pedra na figura.

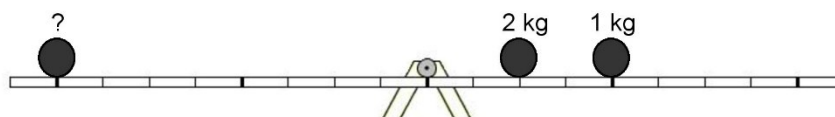


3. Na figura abaixo a gangorra está em equilíbrio. Sabendo que a massa da pedra do lado esquerdo é de 6 kg, qual é o valor da massa da pedra do lado direito?



Resposta: _____

- 4, Na figura abaixo a balança está em equilíbrio. As massas das pedras do lado direito estão indicadas na figura. Qual é o valor da massa do objeto desconhecido do lado esquerdo?



Resposta: _____

6. Você tem algum comentário sobre a aula de hoje?

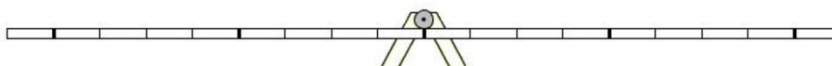
Teste de retenção:



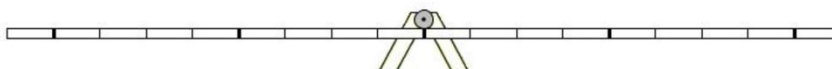
Física I
Data - 04/07/2016

Professor: Rafael João Ribeiro	Disciplina: Física I	Curso: _____
Aluno(a): _____		
Conteúdo: conteúdo da aula anterior.		

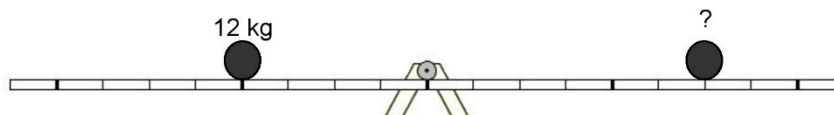
1. Considere duas pedras de massas idênticas de 15 kg cada. Cuidadosamente desenhe as duas pedras na gangorra abaixo em posições que resulte em equilíbrio na horizontal:



2. Agora você tem uma pedra de 5 kg e outra de 10 kg. Cuidadosamente desenhe as duas pedras na gangorra abaixo em posições que resulte em equilíbrio na horizontal. Indique o valor da massa de cada pedra na figura.

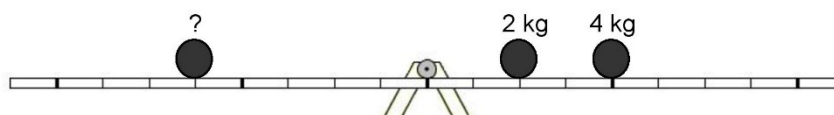


3. Na figura abaixo a gangorra está em equilíbrio. Sabendo que a massa da pedra do lado esquerdo é de 6 kg, qual é o valor da massa da pedra do lado direito?



Resposta: _____

4. Na figura abaixo a balança está em equilíbrio. As massas das pedras do lado direito estão indicadas na figura. Qual é o valor da massa do objeto desconhecido do lado esquerdo?



Resposta: _____

APÊNDICE C - Questionário de atitudes e questionário de frequência de uso de jogos em diferentes plataformas



Física I
Data - ___/___/2016

Professor: Rafael João Ribeiro	Disciplina: Física I	Curso: _____
Aluno(a): _____		
Conteúdo: questionário 1		

Questionário sobre a disciplina de Física:

Itens	Concordo fortemente	Concordo	Sem opinião	Discordo	Discordo fortemente
Gosto muito de Física.					
Tenho prazer em resolver um problema de Física.					
Sinto-me completamente perdido quando estudo Física.					
Acho a Física muito importante.					
Sinto-me tranquilo e confiante nas aulas de Física.					
Eu não gosto de assuntos de Física					

Questionário sobre jogos digitais:

Itens	Todos os dias	Uma ou duas vezes por semana	Uma ou duas vezes por mês	Uma ou duas vezes por bimestre	Nenhuma vez este ano
Você costuma jogar jogos no celular?					
Você costuma jogar jogos de videogame?					
Você joga jogos de computador?					
Você joga outros tipos de jogos com cartas ou tabuleiros?					