

Ensino da Física Básica Qualitativa e o desenvolvimento de Modelos Mentais com o Software 3ds Max

Marcos Rogério dos Reis

Mestre em Ciências da Computação (UFSC). Docente IFRS - *Campus Sertão*

Renato Pires dos Santos

Doutor em Física (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Pós-doutorado em Inteligência Artificial aplicada à Física pela Universitaet Karlsruhe TH (Alemanha) e Research Institute for Symbolic Computation (Áustria)

Resumo: Neste artigo, objetiva-se demonstrar o desenvolvimento de Modelos Mentais da Física Clássica aos alunos de Nível Superior, na disciplina de Física Básica, do Instituto Federal *campus Sertão*. Implementa-se uma sequência de estratégias pedagógicas como recurso didático para os alunos da disciplina de Física e investigam-se teorias de aprendizagem para orientar a adaptação dos conteúdos da Física que possam oportunizar a aprendizagem do domínio da Física (Gravidade e Gravimetria) e a Fórmula Internacional da Gravidade. Assim, busca-se o desenvolvimento de Modelos Mentais da Física Qualitativa dos alunos de Física que não estão cursando graduação em Ciências Exatas. Então, implementa-se simulação 3D na Teoria da Física Qualitativa, em que se pretende desenvolver estratégias educacionais e um ambiente que proporcione o desenvolvimento de um Modelo Mental Qualitativo da Física, do tipo “História Foto” a “Física Naive” com auxílio do *software Autodesk 3ds Max 2013 Student*. Este trabalho vem contribuir com o desenvolvimento de um sistema de avaliação quantitativo para os Mapas Conceituais e uma sequência de estratégias que proporcionem o desenvolvimento dos Modelos Mentais Qualitativos. Demonstra-se o desenvolvimento do Modelo Mental Qualitativo tipo Corpus Causal de todos os estudantes e do tipo Física Naive nos estudos de caso.

Palavras-Chave: Modelos Mentais, Física Qualitativa, Gravidade.

Teaching basic qualitative physics and the development of mental models through 3ds Max Software

Abstract: This article aims to demonstrate the development of Mental Models in classical Physics to students of Higher Education attending the Basic Physics class at the Sertão campus of the Federal Institute. It employs a sequence of pedagogical strategies as teaching resources for the students in the Physics class, and it also investigates some learning theories to guide the adaptation of Physics contents that can create opportunities for learning in the Physics area (gravity and gravimetry) as well as the International Gravity Formula. Thus, it seeks the development of Mental Models in Qualitative Physics for Physics students who are not attending undergraduate courses in Exact Sciences. Then, 3-D simulation of Qualitative Physics Theory is implemented, which aims to develop educational strategies and an environment that provides the development of a Mental Model in Qualitative Physics, in the form of “Photo Historic” to “Naive Physics” with the aid of the Autodesk 3ds Max 2013 Student software. This work contributes to the development of a quantitative assessment system for concept maps and a sequence of strategies that provides the development of Quantitative Mental Models. It demonstrates the development of the Causal Corpus Mental Model of all students and of Naive Physics in the case studies.

Keyword: Mental Models, Qualitative Physics, Gravity.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo se propõe a apresentar a busca e a continuidade dos experimentos do pesquisador sobre a aprendizagem da Física na disciplina de Física Básica no Ensino Superior em que, no passado, buscou-se identificar uma evolução na aprendizagem – segundo conceitos da teoria dos modelos mentais. Em estudos anteriores é detectado (Reis, 2011, 2013; Reis; Dos Santos, 2013, 2015) que, no Ensino de Física, no meio rural – Instituto Federal Rio Grande do Sul (IFRS), *Campus Sertão*, tem-se a necessidade de um ensino de Física Clássica dinâmico, envolvente, com a abordagem do formalismo matemático reduzido e vinculado à realidade do aluno e ao mundo tecnológico em que vive, o meio rural. Enfim, como desenvolver modelos mentais e ensinar Física Básica para alunos de Bacharelado que não serão físicos.

Nesta caminhada, percebe-se a necessidade de maiores estudos e investimentos na evolução desta pesquisa. Este artigo apresenta a continuidade do trabalho já iniciado e propõe um Projeto Instrucional, motivo pelo qual inspirou a busca da solução na Ciência Cognitiva por meio da Teoria dos Modelos Mentais e do Ensino de Física Qualitativa em ambiente virtual 3D para oportunizar uma boa aprendizagem (POZO, 2002, p. 55) e explicações satisfatórias (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 10).

Para o professor atuar neste contexto, surge a necessidade de estratégias instrucionais – segundo Moreira, “No ensino, é preciso desenvolver modelos conceituais, e, também, materiais e estratégias instrucionais que ajudem os aprendizes a construir modelos mentais adequados” (MOREIRA, 1996) – e de uma investigação ampla sobre o desenvolvimento de modelos mentais e Física Qualitativa. Pois, somente uma seleção no conteúdo da Física a ser ensinada não é suficiente para obter um bom resultado na aprendizagem.

Portanto, este artigo objetiva mostrar que por meio da implementação de uma sequência de estratégias pedagógicas, acrescida de simulação 3D, e a implementação da Teoria da Física Qualitativa, desenvolver Modelos Mentais Qualitativo da Física em alunos de nível superior, na disciplina de Física Básica no IFRS *Campus Sertão* – Tecnólogo em Alimentos, Bacharelado de Zootecnia e Bacharelado em Agronomia. Assim, desenvolve-se um ambiente que proporcione o

desenvolvimento do Modelo Mental Qualitativo tipo “Foto História” até os mais sofisticados, como o Modelo Mental Qualitativo tipo “Física Naive”, envolvendo desde o Raciocínio Qualitativo do senso comum ao Raciocínio Qualitativo do engenheiro e cientista em uma condição de “pré-formalismo matemático” (FORBUS; GENTNER, 1986b, p. 3) – com o auxílio do *software Autodesk 3ds Max 2013*.

De modo breve, localiza-se a Teoria dos Modelos Mentais como uma Teoria contemporânea, que teve destaque na década de 1980 com o trabalho de Johnson-Laird (1983) e Gentner e Stevens (1983), e, trinta anos após, ainda é discutida; teorias como o Construtivismo fortemente embasado na epistemologia genética de Jean Piaget da década de 1940 e a teoria sócio-histórica de Lev Vygotsky, com suas pesquisas voltadas para a “Zona de Desenvolvimento Proximal” (ZDP), da década de 1930; a teoria da aprendizagem significativa teve seu desenvolvimento por David Ausubel na década de 1960, assim como o colaborador Josep Novak, na década de 1970, desenvolveu os Mapas Conceituais, entre outras.

Na sequência, serão abordadas teorias que fundamentarão o artigo que apresenta o projeto (de Tese) já implementado. Será investigada a Teoria dos Modelos Mentais segundo pesquisas desenvolvidas por Johnson-Laird (1983), Gentner e Stevens (1983) e demais autores contemporâneos; posteriormente, serão abordados os aspectos do Conhecimento Qualitativo, em particular a Física Qualitativa, segundo pesquisas sobre “representações qualitativas do raciocínio” do “Qualitative Reasoning Group”, cujo presidente é Kenneth D. Forbus (UNIVERSITY NORTHWESTERN, 2013); finalmente, as simulações qualitativas desenvolvidas com o *software “3ds Max”*, e por meio do Design Instrucional (YIN, 2010).

Finaliza-se o artigo com a descrição da implementação e os resultados obtidos das avaliações quantitativas realizadas com Mapas Conceituais e questionário dissertativo, evidenciando o desenvolvimento de Modelos Mentais Qualitativos do tipo “Física Naive” por meio de estudo de caso.

1.1. Introdução à teoria dos modelos mentais

Na análise dos modelos científicos mecânicos utilizados nas ciências, Craik afirma que “o ser humano raciocina com modelos” (CRAIK, 1943). Afirma, também, que o processo do raciocínio “simula” modelos que somente existem na mente do indivíduo, obtendo resultados semelhantes ao mundo real (físico) e, com alguns

dispositivos mecânicos do modelo, consegue-se representar o processo físico que se deseja prever – esta simulação torna-se tanto mais útil quanto mais precisa se ela for fiel à comparação do fenômeno físico que representa. Assim, “a pesquisa de Modelos Mentais está fundamentalmente preocupada com a compreensão do conhecimento humano sobre o mundo” (FORBUS; GENTNER, 1986b, p. 1).

O professor, ao fazer suas opções de material didático e estratégias, atua como “orador”, segundo a Teoria dos Modelos Mentais, e induz o aluno a um roteiro, como “ouvinte”, e ao desenvolvimento de um Modelo Mental Qualitativo do mundo a ele apresentado – considerando a semântica do discurso e o contexto em volta do meio acadêmico, segundo Johnson-Laird (1983).

Este desenvolvimento do Modelo Mental Qualitativo e suas possibilidades de mundos possíveis são resultados da existência do orador (professor e orientador) dos modelos conceituais (material didático) e suas estratégias apresentadas ao aluno e do envolvimento do aluno como “ouvinte” – participante das estratégias de ensino, ora passivamente ora ativamente, envolvido com experimentos. Johnson-Laird (1983), ao referir os constructos mentais, considerando o conceito de “força” como um construto não físico, como um estado de um objeto e não um objeto – deste modo, o Modelo Mental Qualitativo desenvolvido pelo indivíduo é uma representação do mundo físico enriquecido com os constructos mentais desenvolvidos pelo homem.

Este professor, orador contemporâneo, depara-se com as novas tecnologias, tornando-se um problema de ensino sua implementação, e nota-se que a utilização de uma diversidade de ferramentas de visualização para o ensino e a aprendizagem das ciências é necessária porque os alunos compreendem melhor os fenômenos e formulam modelos mentais apropriados – em que se percebe a importância de um laboratório virtual como elemento de visualização e abordagem dos conteúdos nas aulas de ciências (HERGA; GRMEK; DINEVSKI, 2014).

Por tratar-se da Física, que é um tema relativamente avançado aos olhos do aluno não físico, acredita-se ser inconcebível limitar-se a representações estáticas de uma Física formal e alguns rabiscos com “quadro negro e giz” – sendo que os recursos das TICs, associados ao potencial das simulações, oportunizam a criação da imagem de um fenômeno específico. Professores pesquisadores que trabalham com hipertextos e multimídia no Ensino de Física relatam:

Acreditamos que as novas tecnologias de informação e comunicação, com as

multimídias – recurso didático que combina imagens, sons, textos, simulações e vídeos em uso simultâneo – se constituem em recursos auxiliares no aprendizado, visto que podemos obter conhecimento por meio da interatividade e através da visualização de modelos baseados na realidade, favorecendo a assimilação ou reformulação de conceitos de maneira mais eficiente do que a aula tradicional com quadro-negro e giz. Assim, a combinação de interação e entretenimento pode facilitar o ensino e a aprendizagem (GONÇALVES; VEIT; SILVEIRA, 2006).

Este artigo apresenta soluções simples a problemas clássicos do Ensino de Física, tais como a visão clássica de aula de Mecânica Quântica, limitada única e exclusivamente por “quadro negro e giz” (Figura 1), com professor “palestrante” e aluno “ouvinte” passivo.



Figura 1 - Aula de Mecânica Quântica, “quadro negro e giz” - 2015.

Já Norman (1983), ao referir-se aos modelos mentais, afirma:

Os modelos mentais das pessoas são deficientes em vários aspectos, talvez por incluir conceitos contraditórios, errôneos e desnecessários [...] Como professor, é nosso dever desenvolver modelos conceituais, que ajudarão o aluno a desenvolver modelos mentais adequados e apropriados. E como cientistas [...] devemos desenvolver métodos experimentais adequados e descartar as nossas crenças de encontrar modelos mentais perfeitos e elegantes, mas devemos aprender a compreender as estruturas desarrumadas, superficiais, incompletas e indistintas que as pessoas realmente têm (NORMAN, 1983p. 14).

Moreira (2014, p. 6) afirma que “Modelos são também fundamentais para o desenvolvimento cognitivo. Para dar conta de uma nova situação-problema o

primeiro, e indispensável, passo é a construção de um Modelo Mental Qualitativo (JOHNSON-LAIRD, 1983) na memória de trabalho”.

Ao implementar um domínio de Física em sala de aula, “os alunos, a fim de compreender o seu mundo circundante e seus fenômenos, constroem representações internas - modelos mentais – que permitirá aprender, explicar e/ou prevê-los” (GRECA; MOREIRA, 2000, p. 8).

Pesquisas sobre a Teoria dos Modelos Mentais citam a importância dos conhecimentos prévios e as crenças dos estudantes na aquisição de novos conhecimentos. Estes estudantes constroem

Representações explicativas com base na observação e interação com os fenômenos da natureza. Esses modelos são geralmente criados por meio dos sentidos (visão, audição e tato) ou por influências das práticas sociais (ERROBIDART et al, p 441, 2013).

Pesquisadores contemporâneos de Johnson-Laird investigaram sobre a possibilidade de “pensamento sem imagens”, ou seja, processos mentais sem conteúdo sensorial ou imaginário (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 146) que nos levam a uma nova perspectiva que surgiu sobre as imagens e agregou valores explicativos à teorização psicológica. Assim, Johnson-Laird (1983) argumenta que existem diferentes tipos de representações lógicas – seriam diferentes codificações para a informação relevante,

Em particular, devo argumentar que existem pelo menos três tipos principais de representação - modelos mentais, representações proposicionais e imagens, que vão esboçar uma Teoria que relaciona Modelos Mentais como as Representações Proposicionais e as Imagens, que são tratados como uma classe especial de modelos (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 146).

A Teoria dos Modelos Mentais descreve o discurso de um evento ou de uma situação descrevendo os objetos e o conhecimento implícito que cada observador utiliza para compreender o “Mundo Possível”. As representações proposicionais descrevem o sentido do discurso, as regras explícitas para manipular este “mundo possível”. Estes modelos mentais são:

Estruturalmente semelhantes aos processos que acontecem no mundo exterior, ainda que sejam incompletos e não representem diretamente a realidade e são formados por elementos onde se guardam os significados do mundo externo e as relações que o

sujeito faz entre eles. São modelos de trabalho que possibilitam que façamos previsões, deduções e que tomemos decisões para a execução de tarefas (Errobidart *et al.*, p 441, 2013).

As imagens são resultado da percepção, da imaginação e representam como os indivíduos “visualizam” algumas coisas a partir de um ponto de vista particular do observador, do indivíduo que analisa, interpreta e define o seu Modelo Mental Qualitativo para a situação em particular (ERROBIDART *et al.*, p 441, 2013).

Nota-se que o aluno, por meio de suas habilidades e capacidades conceituais, desenvolve representações em sua mente; estas, quando orientadas e bem direcionadas, podem compor imagens e/ou modelos mentais. Em experimentos, pesquisadores, desprovidos de uma teoria cognitiva, identificam que:

[...] o aluno usualmente invoca uma representação do mundo físico em sua mente, uma representação que em geral vai além das observações no laboratório. Ele imagina partículas como bolinhas, imagina uma onda se propagando, imagina um microscópio de raios gama, etc. O aluno busca interpretar os diferentes símbolos e procedimentos matemáticos, ou seja, imagina a que entidades reais eles correspondem, se é que se possa dizer que eles correspondam a alguma coisa (PESSOA JR., 2002, p. 107).

Com um olhar contemporâneo, Johnson-Laird faz uma releitura da Teoria dos Modelos Mentais afirmando que:

Cada Modelo Mental Qualitativo representa o que é comum a um conjunto distinto de possibilidades: “... os modelos mentais são ícone, ou seja, a sua estrutura tanto quanto possível corresponde à estrutura do que eles representam...”. os modelos mentais com base em descrições representam o que é verdade em detrimento do que é falso (JOHNSON-LAIRD, 2013, p. 132).

1.2 Introdução à física qualitativa

Pesquisadores renomados como Greca e Moreira (2000, p. 8) afirmam que o Modelo Mental Qualitativo desenvolvido pelo indivíduo é algo pessoal, incompleto e qualitativo. Também o classificam como “estudantes que construíram algum tipo de

Modelo Mental Qualitativo para o conceito de campo elétrico” (MOREIRA, 1996, p. 30). Porém, Forbus, em suas pesquisas sobre Raciocínio Qualitativo, apresenta uma classificação dos modelos mentais, de modo crescente, do indivíduo ingênuo à “Física Naive” (FORBUS, 1984, p. 6).

No mundo físico, ocorrem muitos fenômenos e transformações que o homem interpreta como processos ao analisar o movimento, as colisões, o fluxo, a quebra, o aquecimento, o deslocamento, a pausa ou a mudança de estado. Estas e outras transformações provocam alterações nos objetos no decorrer do tempo e são intuitivamente caracterizados como processos (FORBUS, 1984, p. 6).

Forbus e Gentner (1986a) investigam a Teoria da Física Qualitativa e, em seu caso particular, a Teoria dos Processos Qualitativos, em que constatam que o suporte para esta teoria está embasado em experimentos de diversas áreas – psicologia do desenvolvimento, estudos de aprendizagem, entre outras pesquisas psicológicas experimentais (Ibid.).

A “Teoria dos Processos Qualitativos” (QP) fornece uma estrutura de trabalho e representações para o raciocínio físico do senso comum, e o autor acredita que seja útil para o raciocínio de sistemas físicos complexos – tais como funcionamento de usinas nucleares e a realização de simulações mentais (FORBUS, 1984, p. 6) – inviável de realizar simulações reais sobre possíveis acidentes. A Física qualitativa preocupa-se, então, com as representações e o raciocínio sobre o mundo físico, cujo objetivo é “capturar tanto o conhecimento do senso comum de que a pessoa na rua, o conhecimento tácito subjacente ao conhecimento quantitativo usado por engenheiros e cientistas” (FORBUS, 1988a, p. 239).

Ao raciocinar sobre processos, ocorrem restrições sobre representações qualitativas de quantidades; e a representação espacial quantitativa descreve o valor de uma grandeza em termos de informações sobre outras quantidades (maior, menor ou igual); neste desenvolvimento, vários tipos de conclusões qualitativas podem ser previstos utilizando a Teoria QP, desde raciocinar sobre os efeitos de processos combinados, sobre os limites dos processos e sobre situações alternativas (FORBUS, 1984, p. 90).

Forbus considera como processo a mudança de estado no decorrer do tempo em que, em um exemplo de aquecimento de água com um dispositivo a gás, aumenta-se a temperatura de 80°C para 95°C (processo); de 95°C para 110°C (processo); se o recipiente está aberto, temos também uma mudança de estado

líquido para vapor (fenômeno físico, ebulição); se o recipiente está fechado, temos – nos processos que ocorrem – mudança de temperatura, pressão e ponto de ebulição, etc. (FORBUS, 1984, p. 6).

Assim, Forbus (1988a) explica:

Os físicos já têm teorias do senso comum do mundo. Seu objetivo é criar modelos capazes de explicações mais precisamente. Com poucas exceções, o foco da formalização encontra-se com a construção de novos modelos que têm significativamente melhor poder preditivo e explicativo do que nossos modelos de senso comum, implícitos (p. 241).

Os autores afirmam que “o aprendizado humano dos domínios físicos pode ser analisado como uma sequência de diferentes modelos mentais” (FORBUS; GENTNER, 1986b, p. 3), pois, cotidianamente, o indivíduo está recebendo informações do meio em que vive e estas possuem implicitamente fenômenos físicos que são observados e analisados pelo indivíduo que irá desenvolver modelos mentais do tipo:

- **História foto:** É o Modelo Mental Qualitativo em que as representações são “ricas em informações” (do cotidiano, não exigindo sobrecarga de memória) e contextualmente específicas, cujas percepções dos fenômenos são capturadas desenvolvendo as expectativas sobre os padrões de exemplos fenomenológicos; trata-se de um tipo de Modelo Mental Qualitativo em que o indivíduo desenvolve uma imagem da situação, isolando o fenômeno das demais informações cotidianas e corriqueiras. Esta imagem não contém variáveis e relações causais.

- **Corpus causal:** É o Modelo Mental Qualitativo em que se desenvolvem expectativas sobre os mecanismos entre as representações que consistem de declarações simples e conectadas com as variáveis (conexão causal); seria um nível aperfeiçoado da “história foto”; trata-se de um Modelo Mental Qualitativo em que o indivíduo desenvolve uma imagem do fenômeno, reconhecendo as variáveis e as relações causais, e descrevendo o mecanismo.

- **Física Naive:** É o Modelo Mental Qualitativo em que os processos subjacentes formam o mecanismo do “*corpus causal*” – “As ligações locais diferentes do *corpus causal* são substituídas por modelos qualitativos organizados em torno da

noção de processo” (FORBUS; GENTNER, 1986b, p. 3); seriam uma evolução dos dois modelos mentais anteriores, em que o indivíduo reconheceu o fenômeno, isolou as demais informações corriqueiras, identificou as variáveis e identificou as relações causais e os processos. Neste nível, o indivíduo desenvolveu uma “teoria” qualitativa a respeito do domínio da Física (fenômeno) que está analisando, identificando os processos que ocorrem no fenômeno e as implicações deste processo que podem causar o fenômeno, tais como “aumento de temperatura de um recipiente com líquido que pode estar aberto, fechado ou semiaberto”, identificando, nos processos, as situações possíveis, fazendo previsões por meio de simulações mentais simples e diretas.

- **Modelo dos especialistas:** É o Modelo Mental Qualitativo desenvolvido quando se consegue fazer representações quantitativas complexas com o equivalente modelo qualitativo, tais como modelos de efeitos de diferentes misturas de “oxigênio e gasolina”; seria o indivíduo que desenvolveu a “Física Naive”, com domínio no conhecimento qualitativo, domínio de simulações mentais complexas e, também, domina o formalismo matemático.

Considerando que muitas pessoas têm modelos intuitivos de domínios físicos e que estão em desacordo com os modelos científicos, di Sessa (1993, p. 105) afirma que, para compreender o sentido intuitivo dos mecanismos que respondem por previsões do senso comum (expectativas, explicações e julgamentos de plausibilidade sobre fatos causais), é necessário compreender como essa totalidade de ideias intuitivas, conhecidas como “Física Naive”, contribuem e desenvolvem a física escolar.

Forbus e Gentner (1997, p. 6) afirmam serem qualitativos os modelos mentais, as simulações e a memória; pois não existe um modelo puro que dê conta o suficiente para a operacionalidade das simulações com modelos mentais. Os autores propõem a existência de um modelo híbrido que fornece as condições necessárias para o conhecimento do domínio da física. O raciocínio qualitativo emerge da acumulação e da análise de um grande número de exemplos e analogias. Este modelo é necessário “para capturar a flexibilidade do raciocínio humano, do senso comum sobre o mundo físico ao longo de um vasto leque de estados de conhecimento” (FORBUS; GENTNER, 1997, p. 6).

2. O EXPERIMENTO DIGITAL

A pesquisa inicia-se com a representação de uma experiência e a implementação de estratégias pedagógicas de Física – estudos sobre gravidade com aspectos qualitativo e, posteriormente, quantitativo – com acadêmicos do Curso de Bacharelado em Agronomia na disciplina de Física Básica no Ensino Superior, no IFRS *Campus Sertão*, em sala de aula.

Esta pesquisa-piloto, que investiga o entendimento da gravidade, resume-se em representações por meio de vídeos 3D, conforme a sequência, em que se faz um apanhado de imagens extraído dos vídeos em 3D – Anaglifo.

O experimento de Física (Figura 2) primeiramente tem uma visão geral do ambiente, na sequência, o experimento da queda livre simulado com um coco, e, posteriormente, um lançamento oblíquo com um coco.



Figura 2 - Imagens em 3D – Anaglifo (visível com óculos).

2.1 O *Software 3ds Max*

Com o *Software 3ds Max* é possível criar um mundo imaginário tipo ficção ou mesmo fazer um ambiente realista com iluminação natural do Sol ou da Lua, ou com iluminação artificial; capturar estas imagens com a introdução de câmera para filmar com ângulos e posições predeterminadas.

Nota-se que as representações 3D – desenvolvidas por este *software* - possibilitam representar fenômenos físicos tais como massa, velocidade, a ação de forças, como o vento, a gravidade ou o atrito em um mundo virtual que reproduz o mundo real ou um mundo fictício.

O presente trabalho aborda o uso de simulações computacionais 3D auxiliando a educação no desenvolvimento cognitivo e desenvolvimento de modelos mentais – do tipo “Foto História” e “Física Naive”.

Existe uma quantidade de comandos disponíveis e muitos são utilizados para desenvolver os objetos – tais como o bípede da Figura 3 – e/ou para configurar comandos avançados de modo particular e/ou generalizado, tais como forças, vento, gravidade, interações, etc. Ao ativar o comando “biped” por meio da “Viewport”, arrasta-se o mouse, que irá animar a personagem “Cylon” – muito utilizada nos diálogos com a personagem “Aluno”.

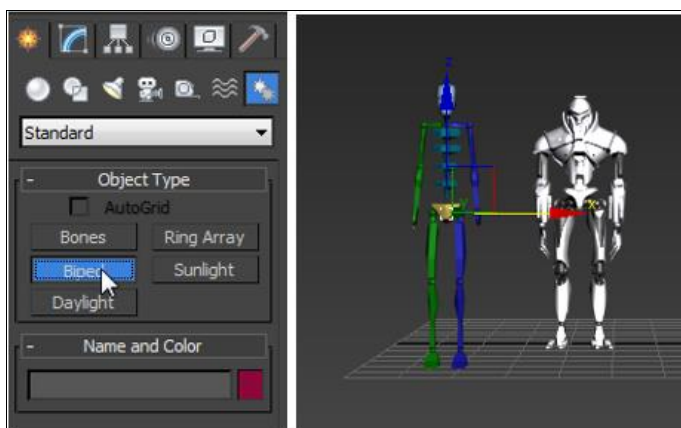


Figura 3 - Inserindo um "biped" no "skin" para desenvolver animações da personagem.

2.2. Desenvolvendo o Modelo Mental Qualitativo de Física com o 3ds Max.

Na sequência de imagens (Figura 4) ilustra-se a narração de uma história em que uma personagem – aluno – está caminhando ao acaso adentrando em um prédio abandonado e depara-se com um ambiente tecnológico habitado pelo personagem *Cylon* com quem desenvolve um diálogo a respeito do local em que o estudante está... Finaliza-se o diálogo com o cálculo da gravidade; análise de erros de aproximação em virtude da medida do tempo; e da gravidade local segundo fórmula internacional da gravidade (1) – adaptado da Fórmula Internacional da Gravidade de 1980 (ANTUNES, 2014) – e da equação da anomalia de Bouguer – adaptado da expressão em mGal (10^{-3} Gal = 10^{-5} m/s²) (BOMFIM; MOLINA, 2009, P. 21).

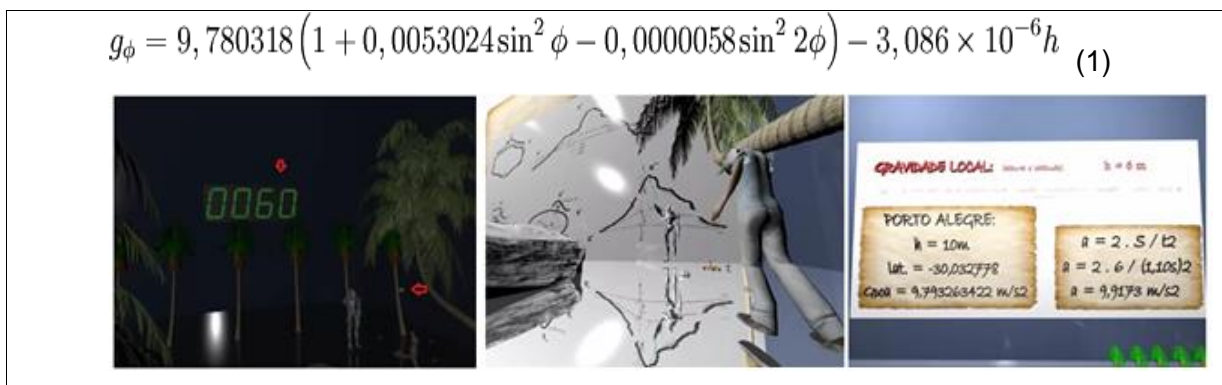


Figura 4 - Vídeo 3D, queda livre de um coco e da influência da altitude no valor da gravidade (Anaglifo, visível com óculos).

Enquanto a aceleração da gravidade é apresentada aos alunos como um valor constante de 10m/s^2 , $9,8\text{m/s}^2$ ou $9,81\text{m/s}^2$ (dependendo do autor do livro), deve estar explícito o fato de que este número não é constante devido à sua variação de latitude e altitude, bem como à morfologia local das rochas (Figura 5), conforme citado em Maroja *et al.* (2005).

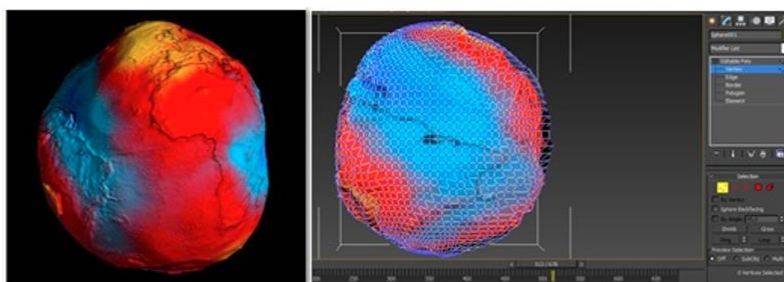


Figura 5 - Dados de satélite mostram como a gravidade afeta a Terra – *site BBC*; reprodução do planeta Terra no *3ds Max*.

Este cálculo da Gravidade Local irá considerar como variável somente o aspecto altitude (h) na fórmula (1); quanto à latitude será fornecido *link* externo (Web) para obter informações. Para definir valores de latitude *online*, uma pesquisa rápida nos portais de busca nos apresentarão os sites do *iTouchMap*, *Gravity*, entre outros.

Na sequência da aula foi desenvolvido o experimento da Queda Livre, Pêndulo Simples e Gravidade Local em laboratório de Física. Também foi realizada uma análise qualitativa detalhada a respeito do Pêndulo Simples considerando *força*

resultante (F_r), aceleração (a), tempo (t), espaço percorrido (S), massa (m) e comprimento (L) do barbante do pêndulo.

Logo, no ambiente 3D, a personagem “aluno” dialogando com a personagem “Cylon”... E desenrolam-se mais de 30 minutos de diálogos e simulações em vídeo 3D.

3. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO

O desenvolvimento das estratégias pedagógicas ocorreu, inicialmente, no primeiro semestre de 2015 (REIS; DOS SANTOS, 2015), com continuidade no segundo semestre de 2015. Obtiveram-se, então, resultados finais durante as aulas do Curso de Bacharelado em Agronomia, com 44 alunos – no turno diurno, 2015/2, conforme ilustrado na Figura 6.

Ocorreram 16 horas-aulas com o objetivo de repetir os testes desenvolvidos no semestre anterior (*Ibid.*), porém acrescentado: distribuição do material de apoio pelo site “profmarcos.com”¹; assistido e discutido o vídeo do documentário “*The History Channel*” 2ª temporada, “O Universo – Gravidade”; foi assistido e discutido, na última aula, o vídeo 3D, desenvolvido pelo professor, com turma dividida em virtude da quantidade de óculos 3D (30 exemplares), disponível no “*Youtube*”²; e desenvolvimento do Mapa Conceitual III como pós-teste (MC III).

Mesmo sendo introduzido o conhecimento sobre Mapas Conceituais por meio de apostila impressa e *online*, a dificuldade persiste – como já citada em diversos artigos e pesquisas sobre Modelos Mentais e Mapas Conceituais, tal como Greca e Moreira (2000).

¹ <http://www.profmarcos.com.br>

² <https://youtu.be/OxYUMDQU-7c>



Figura 6 - Alunos do Bacharelado em Agronomia, assistindo ao vídeo 3D (óculos Anaglifo em ambiente com pouca luz) e em Laboratório de Física.

Na sequência, relata-se pela Figura 7 o Questionário II e na Tabela 1 o desenvolvimento das 16 horas/aula.

Prof. M^c MARCOS REIS Física Básica

QUESTIONAMENTO QUALITATIVO SOBRE ACELERAÇÃO – parte II

5. Quanto as variáveis acima, complete as frases abaixo utilizando as expressões "aumenta", "diminui", "menos" ou "mais" (expressões qualitativas):

- Se ao analisarmos a **velocidade**, aumentamos o **tempo**, o que ocorre com a **distância** percorrida?
- Se ao analisarmos a **velocidade**, percebemos um aumentarmos na **distância percorrida**, o que ocorre com tempo?
- Se ao analisarmos a **aceleração** e aumentamos o **tempo** de aceleração, o que ocorre com a **velocidade** de um veículo?
- Se ao analisarmos a **aceleração**, percebemos o aumento de **velocidade**, o que ocorre com a **distância percorrida** pelo veículo?
- Se ao analisarmos a **aceleração**, percebemos uma **diminuição de velocidade**, o que ocorre com a **distância** percorrida pelo veículo (comparado ao problema anterior)?
- No planeta Terra percebemos a força gravitacional através do peso e do efeito da aceleração da gravidade em um objeto que cai. Ao largarmos dois objetos com pesos distintos (**peso grande e pequeno**) de uma altura de 4,0m, qual chegará primeiro ao solo?
- Em um pêndulo simples, o objeto suspenso sai de um extremo vai ao outro e retorna (1 oscilação); se colocar um peso maior no pêndulo ele irá mais rápido?

6. Quanto as variáveis acima, sobre gravidade, explique utilizando os conceitos anteriores ("aumenta", "diminui", "menos" ou "mais"):

- Se ao analisarmos a **Força da Gravidade** atuando sobre um corpo caindo, se comparar com um objeto com **mais massa**, o que ocorre com a **Força**?
- Se ao analisarmos a **Força da Gravidade** atuando sobre um corpo suspenso, ao diminuirmos a **distância** entre as massas, o que ocorre com a **Força**?
- Um cometa tem uma trajetória elíptica muito bem definida. Ao aproximar-se do Sol, o que ocorre com a:
 - Velocidade**:
 - Dist. Percorrida**:
 - Força da Gravidade**:
- Você recorda de alguma fórmula associada à gravidade (do ensino médio), se sim expresse a fórmula e comente:

7. No caso do Experimento do Pendulo Simples, descreva detalhadamente o que ocorre com as variáveis (peso, massa, aceleração da Gravidade, aceleração do Pendulo, velocidade, tempo e distância percorrida):

8. Você encontra-se no IFRS (Sertão) onde a Gravidade Local é aproximadamente $9,762\text{m/s}^2$. Caso você desloca-se para outro local, o que pode ocorrer com o valor da aceleração da Gravidade? Um objeto pesa 5kgf no IFRS (Sertão), o que acontece com ele nestas circunstâncias?

Figura 7 - Questionário II.

TABELA 1 - Distribuição das 16 horas/aula.

Aulas	Atividade
02	- Física Geral e Mapa Conceitual; - Desenvolvimento de Mapa Conceitual da Física
02	- Revisão da Cinemática e Dinâmica; - Queda Livre, Lançamento Oblíquo e Lançamento Horizontal;
02	- Galileu e a Queda Livre e Modelo Científico; - Exemplos e discussão de Mapas Conceituais de Física; - Desenvolvimento de Mapa Conceitual I; - Aplicação do Questionário I.
02	- Experimento em Lab. de Física: Queda Livre; - Descrição das variáveis e descrição do experimento; - Cálculo da Gravidade com auxílio do Excel.
02	- Experimento em Lab. de Física: Pêndulo Simples; - Descrição das variáveis e descrição do experimento; - Cálculo da Gravidade com auxílio do Excel.
02	- Cálculo da Gravidade Local com auxílio do Excel; - Desenvolvimento de Mapa Conceitual II.
02	Turma dividida: - Vídeo “ <i>The History Channel</i> ” 2ª temporada, “O Universo; - Vídeo 3D, desenvolvido pelo professor com <i>3ds Max</i> ; - Aplicação do Questionário II.
02	- Discussão do Mapa Conceitual II; - Desenvolvimento de Mapa Conceitual II.

Fonte: A pesquisa.

Quanto à avaliação, considera-se que 100% do MC desenvolvido pelo professor apresentam 175 pontos (50% = 87,5pts) e considera-se que 100% do Questionário II têm 34 pontos (50% = 17pts.).

A Figura 8 demonstra que o Gabarito não contempla “exemplos” em virtude de ser resultado da criatividade dos alunos – de suas leituras e buscas de informações *online* – e não está limitado aos conceitos citados em sala de aula.

ALUNO	AVALIAÇÃO	total	correto	MÉDIA
GABARITO	Conceito	42	42	42
	Relações	22	22	22
	Proposições	51	51	51
	Relações Cruzadas	6	6	60
	Exemplos	0	0	0
	TOTAL			175
	Percentual	100,0	Conceito	E+

Figura 8 – Avaliação quantitativa, MC do Professor.

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA: ARQUIVO DE DADOS

O arquivo de dados é composto de 44 alunos. Destes, foram retirados da análise os Alunos 2, 40, 41, 42, 43 e 44, pois não realizaram a avaliação “Mapa Conceitual I” (MC I) e 9, 20, 24 e 41, pois não realizaram a avaliação “Mapa Conceitual III” (MC III). Para as análises do MC I, ficaram 38 alunos e, para as análises do MC III, ficaram 40 alunos.

Para as análises referentes aos questionários foi considerado somente o Questionário II. Deste Questionário foram retirados os Alunos 9, 20, 21, 24 e 40, pois estes não responderam ao questionário II, ficando 39 alunos.

4.1 Análise das Variáveis dos Mapas Conceituais I e III

Nesta avaliação, por meio de Mapas Conceituais (I e III), considera-se o Mapa como um todo, considerando a média do aluno; também se considera o desenvolvimento do aluno quanto às variáveis “conceitos”, às “relações”, às “proposições”, às “relações cruzadas” e aos “exemplos”.

Verifica-se que houve um ganho de conhecimento significativo entre a avaliação do MC I e do MC III para a variável “conceito”, pois a diferença média das avaliações foi de 30,7 pontos pró MC III.

Existe diferença significativa entre a avaliação dos alunos para o MC I e a avaliação dos alunos para o MC III. Verifica-se que houve um ganho de conhecimento significativo entre a avaliação do MC I e do MC III, pois a diferença média das avaliações foi de 96,7 pontos pró MC III.

De modo análogo, faz-se o teste t para todas as demais variáveis envolvidas nos Mapas Conceituais I e III, tais como: “relações”, “proposições”, “relações cruzadas” e “exemplos”.

De modo geral, toda a turma refutou a H_0 e comprovou a H_1 , resultando que podem ter desenvolvido Mapa Conceitual de modo “satisfatório” ou “insatisfatório”, mas não “Excelente”.

Porém, nota-se que 19 alunos se destacam nos Mapas Conceituais e no Questionário II – apresentados na FIGURA 9, oportunizando, então, um estudo de caso a ser verificado qualitativamente.

4.2 Questionário II

De modo análogo à “Análise das Variáveis dos Mapas Conceituais I e III”, fez-se a análise estatística do Questionário II, não sendo oportuno apresentar neste momento.

4.3 Análise Geral dos Mapas Conceituais I e III

Na sequência, são descritos os apontamentos de modo geral sobre o desenvolvimento das estratégias pedagógicas.

- Dos 44 alunos, somente 38 alunos desenvolveram o MC I; 40 alunos desenvolveram o MC III; e somente 41 responderam ao Questionário II;
- Percebe-se que mais da metade dos alunos conseguiram atingir valores superior a 50% de pontos do MC III e do Questionário II, conforme o Gráfico 1;

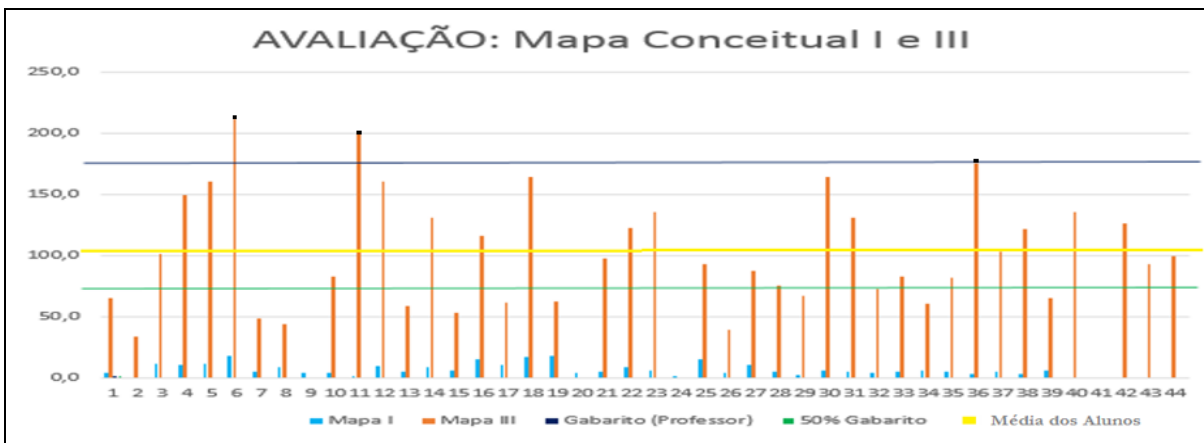


Gráfico 1 - Avaliação dos MC I e MCIII, 100% e 50% do MC do professor, e Média de pts. dos alunos.

- Nota-se, no Gráfico 1, que 3 alunos tiveram pontuação superior a 100% (175pts.) do MC do Professor;
- O motivo de tamanha criatividade foi o vídeo “Gravidade” apresentado em sala de aula, com temas associados à Física Moderna, não previsto pelo MC do professor;
- Nota-se, no Gráfico 2, que a diferença de pontos entre o MC I e o MC III é muito significativa, tornando desprezível os valores do MC I;

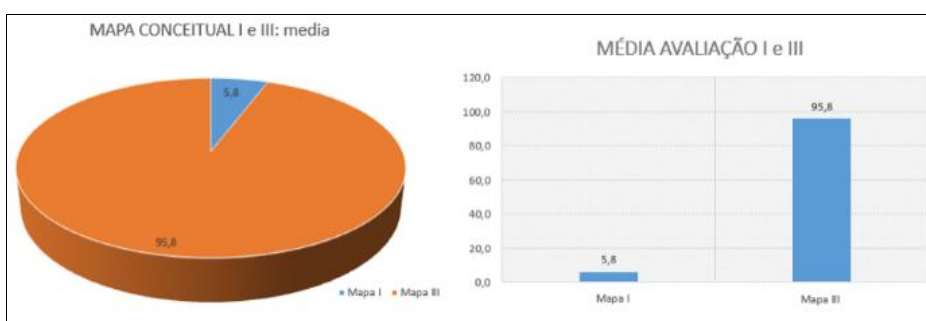


Gráfico 2 - Média dos Mapa Conceituais I e III.

- Nota-se, no Gráfico 3, que a turma teve uma oscilação no crescimento das variáveis (“conceitos”, “relações”, “proposições”, “relações cruzadas” e “exemplos”);

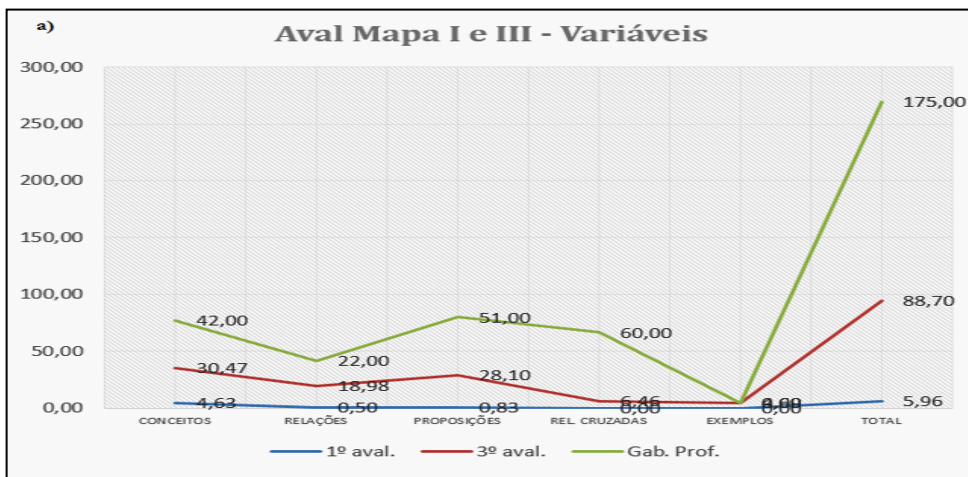


Gráfico 3 - Variação das avaliações I e III, e Gabarito – considerando as variáveis.

4.4 Análise Geral do Questionário II

- As “questões 5 e 6” são formadas por situações em que o aluno raciocina “se.... algo acontece... então”, exigindo uma breve simulação mental sobre as variáveis associadas ao domínio da gravidade – buscando identificar as conexões causais entre as variáveis;
- Nota-se que a grande maioria (Figura 9) desenvolveu as noções necessárias, assim, identificando os objetos, sua propriedade, as variáveis e os mecanismos, tal como no Modelo Mental Qualitativo Foto História e no Modelo Mental Qualitativo Corpus Causal, previsto por Forbus e Gentner (1986);

a)	b)	c)
MÉDIA - Q. 5	Gab. Q. 5	% ACERTO
6,0	7,0	85,7
MÉDIA - Q. 6	Gab. Q. 6	
5,0	9,0	55,6
MÉDIA - Q. 7	Gab. Q. 7	
5,0	7,0	71,4
MÉDIA - Q. 9	Gab. Q. 8	
4,0	11,0	36,4
MÉDIA - Quest. II	GABARITO	
20,0	34,0	58,8

Figura 9 - Média do Questionário II (a); Gabarito do Questionário II (b); Percentual de acertos dos “alunos X gabarito” (c).

- A “questão 7 e 9” são formadas por situações em que o aluno deveria raciocinar “se.... algo acontece... e.... se.... algo acontece... então”, exigindo

simulações mais complexas sobre as variáveis já identificadas, nota-se que o percentual de acerto, destas questões, está em 47,4%;

- Desse modo, não foi identificada uma noção organizada dos Modelos Qualitativos da “Física Naive”, de modo geral, para todos os alunos da Turma – como pode ser identificado no Questionário II com um percentual geral de acerto (médio) de 58,8%;

- Também se acredita que alguns alunos conseguiram desenvolver Modelo Mental Qualitativo da “Física Naive”, pois a média de acertos mostra uma tendência do grande grupo e sabe-se, do Gráfico 4, que muitos alunos obtiveram pontuação superior aos 50% de acertos do gabarito;

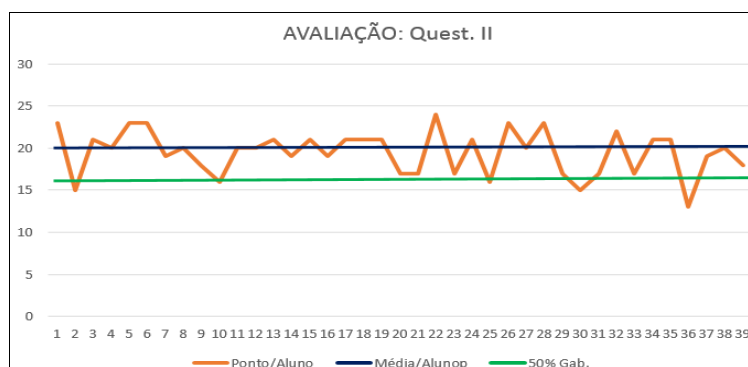


Gráfico 4 - Avaliação do Questionário II, Média dos Alunos e 50% do Gabarito.

- Sabe-se, da Figura 10, que, no mínimo, cinco (05) alunos (01, 05, 06, 26 e 30) tiveram pontuação elevada no Questionário II e, destes, três (03) alunos (05, 06 e 30) tiveram pontuação elevada no MC III;

- Parece ser possível que o Modelo Mental Qualitativo da “Física Naive” foi desenvolvido por esses Alunos (Figura 10) – em um estudo de caso, verifica-se tal hipótese;

N.	Mapa I	Mapa II	Mapa III	Total Quest. II
3	12,0	1,0	101,5	21
4	11,0	79,5	149,50	20
5	11,5	47,0	160,50	23
6	18,0	59,0	211,50	23
11	1,0	36,5	200,50	16
12	9,5	65,5	160,50	20
14	9,0	65,5	131,00	21
16	15,0	48,5	116,50	21
18	17,0	73,0	164,50	21
22	9,0	59,0	122,50	21
23	6,5	0,0	135,50	17
30	6,5	82,5	164,50	23
31	5,0	0,0	131,50	20
36	3,0	82,5	176,00	22
38	3,5	79,5	122,00	21
40	0,0	73,0	135,50	0

Figura 10 - Alunos que se destacam nos Mapas Conceituais e no Questionário II – total de 19 alunos.

Esta conclusão está associada ao fato de o aluno ter de raciocinar, na “questão 8”, sobre uma simulação complexa associada a cálculos qualitativos, obtendo êxito por parte de alguns alunos.

Questionou-se, na “questão 8”, sobre o resultado dos processos sobre diferentes variáveis e alguns alunos conseguiram desenvolver tal raciocínio.

Na “questão 7” faz-se uma análise sobre o experimento do Pêndulo Simples, em que o aluno deveria ter um Modelo Mental Qualitativo complexo desenvolvido e elaborando tal resultado.

Considerando o índice de acertos das “questões 7 e 8”, pôde-se afirmar a possibilidade de alguns alunos terem obtido êxito em desenvolver o Modelo Mental Qualitativo da “Física Naive”.

5. ESTUDO DE CASO

Neste momento, faz-se um estudo aprofundado do “Aluno 06”, considerando seus MC III e o Questionário II.

5.1. Considerações Gerais

O “Aluno 06” desenvolveu um Modelo Mental Qualitativo do mundo a ele apresentado, baseado no antecedente, em suas crenças, em suas experiências anteriores e em sua interpretação – um Modelo Mental Qualitativo Natural segundo Johnson-Laird (1983, p. 10). Porém, este Modelo Mental Qualitativo não pode ser classificado segundo Forbus e Gentner (1986b, p. 3).

Destaca-se o “Aluno 06” (Figura 11d) por ter desenvolvido um “Excelente” MC III e um “Excelente” índice de acerto no Questionário II; tornando-se possível o desenvolvimento do Modelo Mental Qualitativo da “Física Naive”, desenvolvendo “explicações satisfatórias” para a questão do pêndulo simples (questão 7) e para as simulações complexas (questão 8).

a)	ALUNO 26			Quest. 5	Quest. 6	Quest. 7	Quest. 8	QUEST. II
	MAPA I	4.0	pts	7.0	6.0	3.0	8.0	24
	MAPA III	39.5	%	100.0	66.7	42.9	72.7	70.6
b)	ALUNO 01			Quest. 5	Quest. 6	Quest. 7	Quest. 8	QUEST. II
	MAPA I	4.0	pts	6.0	6.0	4.0	7.0	23
	MAPA III	65.0	%	85.7	66.7	57.1	63.6	67.6
c)	ALUNO 05			Quest. 5	Quest. 6	Quest. 7	Quest. 8	QUEST. II
	MAPA I	11.5	pts	7.0	5.0	4.0	7.0	23
	MAPA III	160.5	%	100.0	55.6	57.1	700.0	67.6
d)	ALUNO 06			Quest. 5	Quest. 6	Quest. 7	Quest. 8	QUEST. II
	MAPA I	18.0	pts	7.0	4.0	5.0	7.0	23
	MAPA III	211.5	%	100.0	44.4	71.4	63.6	67.6
e)	ALUNO 30			Quest. 5	Quest. 6	Quest. 7	Quest. 8	QUEST. II
	MAPA I	6.5	pts	7.0	5.0	4.0	7.0	23
	MAPA III	164.5	%	100.0	55.6	57.1	63.6	67.6
f)	ALUNO 32			Quest. 5	Quest. 6	Quest. 7	Quest. 8	QUEST. II
	MAPA I	4.0	pts	6.0	4.0	7.0	6.0	23
	MAPA III	73.0	%	85.7	44.4	100.0	54.5	67.6

Figura 11 - Percentual de acerto do MC III e Questionário II – melhores índices.

5.2 Aluno 6

Em particular, destaca-se o “Aluno 06” por ter desenvolvido um “Excelente” MC III e um “Excelente” índice de acerto no Questionário II, conforme Figura 11d. Tornando-se evidente o desenvolvimento do Modelo Mental Qualitativo da “Física Naive” e o desenvolvimento de “explicações satisfatórias” para a questão do pêndulo simples (questão 7) e para as simulações complexas (questão 8), conforme observado na Figura 12 e no Gráfico 5.

Na Figura 12, nota-se o desempenho “Excelente” no Questionário II, com destaque para cada questão.

N.	QUESTIONÁRIO II - Q. 05 a 08				TOTAL		MC III
	Q. 05	Q. 06	Q. 07	Q. 08			
6	7	4	5	7	23	pts	212
	100	44	71	64	68	%	121
	E+	S-	E-	S+	E-		E+

Figura 12 - Questionário II e MC III, “Aluno 06”.

Na Figura 13, observa-se que o “Aluno 06” superou as expectativas do MC do Professor, obtendo 211, 5pts. dos 175pts. previstos.

	AVALIAÇÃO	CERTO	ERRADO	MÉDIA	
Artur Z.	Conceito	57	56	56.5	6
	Relações	52	51	51.5	
	Proposições	65	62	63.5	
	Relações Cruzadas	1	1	10	
	Exemplos	6	6	30	
	TOTAL				
	Percentual	120.9	Conceito	E+	

Figura 13 - Mapa Conceitual III, “Aluno 06”.

5.3 Análise Específica – Mapa Conceitual III

O elevado número de conceitos corretos evidencia o domínio do tema Gravidade e suas relações. Também se percebe o cuidado em desenvolver relações válidas a partir de palavras significativas.

O cuidado em utilizar conceitos corretos, relações significativas e formar proposições válidas deixa explícito o entendimento do domínio da Física proposto (Gravidade e Gravimetria).

Com este conjunto complexo de proposições corretas, o “Aluno 06” exterioriza seu conhecimento e entendimento por meio de construções lógicas e grupos de proposições demonstrando ter domínio. Desenvolveu uma sequência lógica em seu raciocínio, tornando o conhecimento computável, possível de ser desenvolvido em uma sequência algorítmica – previsto por Johnson-Laird (1983, p. 5).

5.4 Análise Específica – Questionário II

Análise - Questão 7

No caso da descrição do Pêndulo Simples, o “Aluno 06” tem uma descrição precisa que o “*peso depende da Gravidade*”; o “*tempo depende do comprimento do barbante*”; a visão parcial de que “*distância percorrida depende do ângulo de lançamento*”; a “*Força de atração é proporcional as massas envolvidas*”.

Apesar de alguns mal-entendidos, como “a aceleração da gravidade vai aumentar conforme o comprimento da linha do pendulo [...]” ou “a aceleração do pendulo será sempre a mesma [...]”, acredita-se que a recursividade, a retomada do experimento, o diálogo com os colegas e um debate a respeito do desenvolvimento do MC III, facilmente complementa o conhecimento e ajuste das dúvidas a respeito da aceleração da gravidade e da resultante da gravidade.

Análise - Questão 8

- “Se deslocar em direção à linha do Equador, a gravidade vai diminuir”;
- “Se deslocar em direção aos polos, a gravidade aumenta”;
- “Se aumentar a altitude diminuirá, a gravidade [...]”;
- “E, se diminuir a altitude, aumenta a gravidade”;
- “E, também, pode variar com a densidade do solo”;

Percebe-se que o “Aluno 06” desenvolveu um Modelo Mental Qualitativo completo a respeito da Gravidade e Gravimetria.

Seu entendimento dos processos e das variáveis é organizado, lógico e computável, pois o “Aluno 06” desenvolveu um Modelo Conceitual “Excelente” e compatível com a “explicação satisfatória” prevista por Johnson-Laird (1983, p. 5). Este conjunto de cenário, descrevendo fenômenos, analisando variáveis e desenvolvendo vocabulários de processos proporciona o entendimento do mecanismo e dos domínios (FORBUS; GENTNER, 1986, p. 2).

O “Aluno 06” demonstrou ter desenvolvido um Modelo Mental Qualitativo em que se conhecem as variáveis, entendem-se os processos, sabe-se descrever o fenômeno (Pêndulo Simples) como uma “explicação satisfatória”, seguindo um raciocínio lógico, tal qual o Modelo Mental Qualitativo da “Física Naive”. Também, demonstrou ter desenvolvido simulações mentais do tipo: “Se eu tenho isso mais isso e mais isso, então isto ocorrerá” – Simulação Qualitativa simples e Cálculos Qualitativos simples.

5.5 Observações Gerais

- Nota-se que as mudanças nas estratégias didáticas como a apresentação do vídeo 3D (desenvolvido pelo professor) ao término das aulas, como revisão do domínio da Física, foram oportunas.

- Pela média de acertos apresentada (MC III com 104,4pts. e Questionário II 20pts.), pode-se dizer que alguns alunos desenvolveram as noções necessárias para descrever seu Modelo Mental Qualitativo computável sobre o pêndulo simples.
- A explicação satisfatória descrita por Johnson-Laird (1983, p. 5) parece complexa aos olhos dos alunos, pois exige uma narrativa lógica e sequencial (questão 7) dos processos do domínio da gravidade – semelhante a um algoritmo – e esses desenvolveram, a observar algumas particularidades do grande grupo, média de 71% (Figura 11).
- Percebe-se que os alunos souberam interpretar as informações cotidianas proporcionadas pelas estratégias, e souberam analisar e interpretar as informações científicas sobre o domínio da gravidade.
- Souberam identificar os fenômenos, bem como entender seu mecanismo a ponto de identificar as variáveis (força, massa, “peso”, aceleração, velocidade, deslocamento, tempo e “período”).
- Assim, é possível afirmar que, de modo geral, os alunos não desenvolveram o Modelo Mental Qualitativo da “Física Naive”, somente alguns casos particulares evidenciam tal desenvolvimento. No entanto, os resultados mostram que tiveram êxito em desenvolver modelos mentais do tipo Corpus Causal.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O sistema de avaliação qualitativo desenvolvido com o auxílio dos Mapas Conceituais foi muito prático, eficaz e oportuno para a análise de desenvolvimento do conhecimento dos alunos, pois proporcionou de modo rápido e eficiente um levantamento do potencial do Mapa Conceitual desenvolvido pelos alunos, evidenciando o acréscimo de conhecimento pelos alunos, verificando se os alunos tiveram um crescimento no número de conceitos, relações, proposições, relações cruzadas e exemplos; se estes estão corretos ou não; e conceituá-lo quanto ao seu desempenho (Insuficiente, Suficiente e Excelente).

O Modelo Mental Qualitativo tipo Foto História e o Modelo Mental Qualitativo tipo Corpus Causal parecem estar explícitos nas questões respondidas pelos alunos do Bacharelado de Agronomia, de modo generalizado. Já o Modelo Mental

Qualitativo tipo Física Naive parece estar presente no estudo de caso, em que alguns alunos obtiveram bons resultados em todas as questões do Questionário II, conforme a Figura 11.

A utilização do vídeo 3D foi muito eficaz em envolver os alunos na situação-problema sobre gravidade e gravimetria, oportunizando inúmeros questionamentos; porém percebe-se que o vídeo 3D é animador e foi desenvolvido para abordar todo o tema em discussão, motivo pelo qual na Turma de Agronomia foi apresentado ao término das aulas e acredita-se ser responsável pela revisão contextualizada do domínio de Física (Gravidade e Gravimetria), pela inspiração e pela motivação proporcionada aos alunos no desenvolvimento do MC III.

O estudo de caso do “Aluno 06” demonstrou ter sido desenvolvido o Modelo Mental Qualitativo tipo “Física Naive”. Os demais estudos de caso, não citados neste documento, comprovaram que os Alunos 01, 05, 06, 26, 30 e 32 desenvolveram o Modelo Mental Qualitativo tipo “Física Naive”.

Assim, o artigo apresenta uma implementação da Física Qualitativa que proporcionou a possibilidade do desenvolvimento de Modelo Mental Qualitativo tipo Corpus Causal em toda turma e, nos casos mais desenvolvidos, o Modelo Mental Qualitativo tipo Física Naive aos alunos de Física não físicos. E acredita-se que, em trabalhos futuros, com a utilização do *software Cmap Tool* e com algumas horas/aula adicionais, consiga-se desenvolver o Modelo Mental Qualitativo tipo “Física Naive” na maioria dos alunos.

A investigação também revelou que, de modo geral, as estratégias de ensino foram responsáveis por melhorias significativas na predisposição dos alunos em aprender física e promover o entendimento e/ou desenvolvimento de modelos mentais, mesmo estando longe de desenvolver o Modelo Mental Qualitativo tipo Especialista nos alunos de Física que não cursam faculdade de Ciências Exatas.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Carlos. *Gravimetria*. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. 2012. Disponível em <https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fenggeoespacial.fc.ul.pt%2Fficheiros%2Fapoio_aulas%2FCursoGravimetria-IM2013.pdf>. Acesso em 25 de janeiro de 2016.

- BOMFIM, Everton Pereira; MOLINA, Eder Cassola. *Análise da Variação dos Elementos do Campo de Gravidade na Região do Aquífero Guarani a partir dos Dados GRACE. Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 1, 2009.
- CRAIK, Kenneth James Williams. *The Nature of Explanation*. Cambridge: Cambridge University Press. 1943.
- DISESSA, Andrea A. *Towardan Epistemology of Physics. Cognition and Instruction*, v. 10, n. 2-3, p. 105-225, 1993.
- ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães, *et al.* Modelos mentais e representações utilizadas por estudantes do ensino médio para explicar ondas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. v. 12, n. 3, p. 440-457, 2013.
- FORBUS, Kenneth D. *Qualitative Process Theory*. Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory, p. 98, 1984.
- FORBUS, Kenneth D. *Introducing Actions into Qualitative Simulation*. Qualitative Reasoning Group Department of Computer Science University of Illinois 1304 W. Springfield Avenue Urbana, Illinois, 61801, USA. 1988.
- FORBUS, Kenneth D.; GENTNER, Dendre. *Qualitative Mental Models: Simulations or Memories? The Eleventh International Workshop on Qualitative Reasoning Proceedings...* Cortona, Italy. 1997.
- FORBUS, Kenneth D.; GENTNER, Dedre. *Causal reasoning about quantities. Program of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society, Proceedings...* Amherst, Massachusetts, p. 196-207, 1986a.
- FORBUS, Kenneth D.; GENTNER, Dendre. *Learning Physical Domains: Towards a Theoretical Framework*. In Michalski, R., Carbonell, J. and Mitchell, T. (Eds.), *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, Volume 2. Tioga press, 1986b.
- GENTNER, Dendre; STEVENS, Albert L. *Mental Models*. Editors Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey. 1983.
- GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. *Mental models, conceptual models, and modelling*. *International Journal of Science Education*, v. 22, n. 1, 1-11, 2000.
- GONÇALVES, Leila J.; VEIT, Eliane A.; SILVEIRA, Fernando L. *Textos, Animações e Vídeos para o Ensino-Aprendizagem de Física Térmica no Ensino Médio*. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 1, p. 33-42, 2006.
- HERGA, Nataša Rizman; GRMEK, Milena Ivanuš; DINEVSKI, Dejan. *Virtual Laboratory as an Element of Visualization when Teaching Chemical Contents in Science Class*. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, v. 13, n. 4, 2014.
- JOHNSON-LAIRD, Philip N. *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1983.

- JOHNSON-LAIRD, Philip N. *Mental Models and Cognitive Change*, *Journal of Cognitive Psychology*, v. 25, n. 2, p. 131-138, 2013.
- MAROJA, Armando M.; VITURINO, Manoel F. C.; PEREIRA, Jefferson S. *Medida da Aceleração da Gravidade*. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Anais... Rio de Janeiro. 2005.
- MOREIRA, Marco Antonio. *Modelos Mentais. Investigações em Ensino de Ciências – v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.*
- MOREIRA, Marco Antonio. *Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino*. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 7, n. 2, 2014.
- NORMAN, Donal A. *Some Observations on Mental Models* (University of California, San Diego). In: GENTNER, Dendre; STEVENS, Albert L. *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates. p. 7-14, 1983.
- PESSOA JR, Osvaldo; MONTENEGRO, Roberto Luiz. *Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física*. Investigações em Ensino de Ciências, v. 7, n. 2, p. 107-126, 2002.
- POZO, J. I. *Aprendizes e mestres: a nova cultura da aprendizagem*. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- REIS, Marcos Rogério dos. *Apresentação de uma Arquitetura Pedagógica para a Formação de Modelo Mental Qualitativo e Conceitual, em Física Moderna no Ensino Médio*. XVII Reunión Nacional de Educación en la Física, Anais... Villa Giardino, Córdoba, Argentina, 2011.
- REIS, Marcos Rogério dos. *Utilização de um Modelo Pedagógico Digital para a Formação de Modelo Mental Qualitativo, em ensino de Física Moderna em Moderna Curso Técnico*. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación. Nº 43. p. 25-36, 2013.
- REIS, Marcos Rogério dos; DOS SANTOS, Renato Pires. *A Teoria dos Modelos Mentais e a Aprendizagem da Física Quântica*. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência – IX ENPEC, Anais... Águas de Lindóia, SP. 2013.
- REIS, Marcos Rogério dos; DOS SANTOS, Renato Pires. *Ensino da Física Através do Software 3ds Max, em busca de Modelos Mentais da Física Qualitativa*. VI Encontro Estadual de Ensino de Física - Atas - RS, Porto Alegre, p. 72-85, 2015. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/mpef/6eeefis/VI_EEEFis-RS/home_files/Atas_VI_EEEFis_RS.pdf. Acessado em 27 de janeiro de 2016.
- UNIVERSITY NORTHWESTERN. *Qualitative Reasoning Group*. Disponível em <<http://www.qrg.northwestern.edu/>>. Acesso em 25 de janeiro de 2016.

YIN, Robert K. Estudo de caso: *Planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 4^o ed., tradução do original de 2009, *Case Study Research: Design and Method*, Sage Publications of London. 2010.