

FRANCISCO HALYSON FERREIRA GOMES

**O USO DO MATHEMATICA® COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA A
APRENDIZAGEM EM FÍSICA: UM ESTUDO DE CASO COM GRAVITAÇÃO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Ewerton Wagner Santos
Caetano

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Régis Alves
Vieira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G614u Gomes, Francisco Halyson Ferreira.

O uso do Mathematica® como ferramenta pedagógica para o ensino de Física: um estudo de caso com Gravitação. / Francisco Halyson Ferreira Gomes. - 2017.
129 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Campus Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Ewerton Wagner Santos Caetano.

Coorientação: Prof. Dr. Francisco Régis Vieira Alves.

1. Aprendizagem significativa. 2. Mathematica®. 3. Ensino de Física. I. Título.
CDD 510.07

FRANCISCO HALYSON FERREIRA GOMES

**O USO DO MATHEMATICA® COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA
A APRENDIZAGEM DE FÍSICA: UM ESTUDO DE CASO COM
GRAVITAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Aprovada em: 14/06/2017

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ewerton Wagner Santos Caetano (orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará



Prof. Dr. Francisco Régis Vieira Alves (coorientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará



Profª. Dra. Eloísa Maria Vidal (membro externo)
Universidade Estadual do Ceará



Prof. Dr. Gilyvandenys Leite Sales (membro interno)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

A Deus

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Enfim chegou o momento de apresentar à sociedade um trabalho que durante dois anos foi pensado, criado e modificado para ser um referencial de como o ensino de Física pode se beneficiar do uso de tecnologias digitais.

Até chegar a esse momento, tive o apoio de várias pessoas às quais quero registrar meus agradecimentos.

Ao professor Ewerton Wagner, que aceitou o desafio de me orientar e com seus conhecimentos me ajudou a compilar as ideias que resultaram neste texto.

Ao professor Régis Alves pelo apoio, orientação e por acreditar no meu potencial.

Aos meus professores do PGECM: seus ensinamentos foram essenciais para minha formação. De forma especial aos professores Mairton, Nizomar, Gilvandenys e Herbert: o ensino de Física ganha muito com suas contribuições.

À professora Eloísa Vidal, sempre disposta a me tutorar e na qual me inspiro.

Aos mestres da primeira turma do PGECM: nosso esforço valeu a pena.

Em toda minha vida acadêmica recebi apoio da minha família. Agradeço aos meus pais Francisco Airton Gomes (*in memoriam*) e Conceição Ferreira Gomes, que nunca mediram esforços para me proporcionar uma educação de qualidade, e à minha irmã Rayllane Ferreira Gomes. Agradeço aos meus avós (*in memoriam*), tios e primos; nossa rede familiar é firme e gera uma sensação de conforto para continuar na batalha da vida acadêmica.

Quero agradecer aos alunos da turma de Física Geral 2: todos foram muito importantes para a realização deste trabalho.

Também presto minha gratidão a algumas pessoas especiais que, ao longo dos anos, ganharam espaço destacado em meu coração, me ajudando a enfrentar os momentos difíceis e comemorando comigo as conquistas: Adson Rodrigo Silva Pinheiro, Nathalia Dias, Renan Codeiro, Jânio Kleo, Iara Mesquita, Lilian Marinho, Lilissane Monteiro, Daniel Sales, André Pinheiro, Érica Veras, Patrícia Sena, amigos da Escola Adahil Barreto e da Escola Edmilson Pinheiro. Obrigado a todos.

São muitas pessoas e poucas linhas para registrar meus profundos e sinceros agradecimentos.

“Faz-se ciência com os fatos, como se faz uma casa com pedras; mas uma acumulação de fatos não é ciência, assim como um monte de pedras não é uma casa”.

(Henri Poincaré)

“Descubra o que o aluno sabe e baseie nisso os seus ensinamentos”.

(David Ausubel)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal conceber, descrever e examinar situações de ensino de Física, que tenham como suporte o uso das ferramentas do *software* Mathematica®, referenciando a teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel. Neste trabalho, atrelado à teoria de Ausubel, utilizamos os mapas conceituais pensados por Joseph Novak para serem instrumentos pedagógicos de avaliação dos conhecimentos prévios. Listamos as principais ferramentas do *software* Mathematica® e possibilidades de utilização dentro do campo educacional. Propomos o uso do Mathematica® em atividades com alunos matriculados na disciplina de Física Geral 2 do curso de licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação do Ceará, *campus* Fortaleza. Propomos atividades que pudessem ser facilitadoras no entendimento dos conceitos de Gravitação e que buscassem minimizar a abstração requerida para analisar fenômenos físicos dessa área do conhecimento. A metodologia empregada neste trabalho visa descrever as situações de ensino propostas pelo professor para a resolução de problemas. Utilizamos o mapa conceitual como material de coleta de informações. Para qualificar os conhecimentos prévios dos alunos participantes do grupo amostral sobre Gravitação, procedemos com a observação das situações de ensino, tendo o cuidado de descrever como se deu a gestão da sala de aula e a interação entre os participantes durante as atividades propostas e, por fim, lançamos mão de uma entrevista semiestruturada para coletar elementos que pudessem revelar o caráter potencialmente significativo do Mathematica®. As categorias de análise fundamentadas em Ausubel revelam que o Mathematica® possui elementos que facilitam a observação e o entendimento de fenômenos, estimula o protagonismo do aluno e promove a troca de experiências. Revela a dificuldade em entender a linguagem requerida pelo *software*, o que nos leva a afirmar que o uso do Mathematica® precisa estar inserido numa metodologia de ensino que contemple a minimização das limitações observadas nos alunos, para que seu uso possa ser significativo na criação de uma estrutura cognitiva eficiente.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa. Mathematica®. Ensino de Física.

ABSTRACT

The aim of this article is to conceive, to describe and to examine situations of teaching of Physics, that have as support the use of the tools of the Mathematica® software. Our embasement theoretical was the Significant Learning Theory by David Ausubel. In this paper, linked to the Ausubel theory, we used the concept maps, thought by Joseph Novak to be pedagogical instruments that facilitate a meaningful learning. We listed the main tools of Mathematica® and how we can use in educational situations. We proposed the use of Mathematica® in activities with Physics students of Federal Institute of Education of Ceará, Fortaleza campus. One of the objectives of proposed activities was to facilitate the understanding of Gravity concepts and to minimize the abstraction required to analyze physical phenomena in this area. The methodology used in this scientific research aims to describe the teaching situations proposed by the teacher to solve problems, we used conceptual maps, to qualify the previous knowledge on Gravitation, we observed the Teaching situations, which we described how the classroom management and the interaction between participants during the proposed activities were carried out and finally we used a semi-structured interview to collect elements that could reveal the potentially significant use of the Mathematica®. The categories of analysis, based on Ausubel, reveal that Mathematica® has elements that facilitate the observation and understanding of Physicals phenomenons, it does stimulates student protagonism and promotes the exchange of experiences. The data collected reveal the difficulty in understanding the language required by the software, which leads us to affirm that the use of Mathematica® must be inserted in a teaching methodology that contemplates the minimization of the observed limitations in the students, so that their use can be significant in an efficient cognitive structure.

Key words: Ausubel's learning theory. Mathematica®. Physics teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Tela de inicialização do Mathematica® com notebook aberto.	34
Figura 2. Exemplo de paleta do Mathematica®.	34
Figura 3. Exemplos de comandos do Mathematica®.	38
Figura 4. Exemplo da função <i>Plot</i> .	39
Figura 5. Exemplo de uso do comando <i>Plot3D</i> .	40
Figura 6. Gráfico obtido no Mathematica® para a função $f(x) = x^{10} - x^9 + 8x^7 - 45$.	43
Figura 7. Esquema representativo do processo de assimilação.	49
Figura 8. Esquema de relação entre aprendizagem por recepção e por descoberta.	52
Figura 9. Exemplo de mapa conceitual.	55
Figura 10. Representação para a construção de um mapa conceitual.	58
Figura 11. Apresentação de comandos.	72
Figura 12. Denominação de função no Mathematica®.	72
Figura 13. Exemplo de comando para desenho de Gráficos usando o Mathematica®.	73
Figura 14. Alunos utilizando o Mathematica®.	73
Figura 15. Exemplo de uso do comando <i>DSolve</i> .	74
Figura 16. Linhas de código do exercício proposto.	76
Figura 17. Parte do código para o problema dos três corpos.	77
Figura 18. Resultado do código escrito para o problema dos três corpos.	77
Figura 19. Ilustração do problema dos três corpos para mJ igual a 1 mJ.	80
Figura 20. Ilustração do problema dos três corpos para mJ igual a 1000 mJ.	80
Figura 21. Ilustração do problema dos três corpos para a distância entre Júpiter e Sol 0,2 rJ.	81
Figura 22. Ilustração de interação entre alunos.	83
Figura 23. Elaboração de mapa conceitual.	86
Figura 24. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A3.	87
Figura 25. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A6.	90
Figura 26. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A1.	91
Figura 27. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A2.	91
Figura 28. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A4.	92
Figura 29. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A5.	94
Figura 30. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A8.	94
Figura 31. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A7.	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Exemplos de comandos algébricos do Mathematica®.	38
Quadro 2. Comandos de Cálculo.	39
Quadro 3. Critérios de pontuação de mapas conceituais.	61
Quadro 4. Síntese das informações das entrevistas.	65
Quadro 5. Descrição exercício três corpos.	75
Quadro 6. Descrição do exercício 2 sobre o problema dos três corpos.	78
Quadro 7. Avaliação do professor dos códigos do problema dos três corpos.	79
Quadro 8. Pontuação dos mapas conceituais.	89
Quadro 9. Principais conceitos abordados nos mapas conceituais.	96
Quadro 10. Sintaxe das respostas referentes aos pontos positivos do Mathematica®.	109
Quadro 11. Sintaxe das dificuldades no uso do Mathematica®.	110
Quadro 12. Síntese dos enunciados quanto a resposta obtida no problema proposto.	112
Quadro 13. Síntese das falas dos alunos a respeito do uso do Mathematica®.	114

LISTA DE SIGLAS

Ministério da Educação	MEC
Tecnologia Digital da Informação e Comunicação	TDIC
Computer Algebra System	CAS
Teoria da Aprendizagem Significativa	TAS
Mapa Conceitual	MC
Instituto Federal de Educação do Ceará	IFCE
Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira	INEP
Parâmetro Curricular Nacional	PCN
Lei de Diretrizes e Bases	LDB
Conselho Nacional de Educação	CNE
Câmara de Educação Superior	CES
Plano de Desenvolvimento Institucional	PDI
Projeto Pedagógico Institucional	PPI
Projeto Pedagógico de Curso	PPC
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	PUCRS
Centro Federal de Educação Tecnológica	Cefet

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE SIGLAS	11
INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1. Um olhar sobre o ensino de Física	19
2.2. Tecnologia digital aplicada ao ensino de Física	25
2.2.1. Pontos positivos para o uso do computador no ensino de Física	27
2.2.2. Desafios para a inserção do computador no ensino de Física	30
2.3. O Mathematica® e suas funcionalidades	32
2.3.1 Principais comandos do Mathematica®	37
2.3.2 Aplicações do Mathematica®	40
3. REFERENCIAL TEÓRICO	46
3.1. A Teoria da Aprendizagem Significativa	47
3.2. Mapas conceituais	54
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
4.1. Caracterização da pesquisa	63
4.2. Ações investigativas	63
4.3. Contexto da pesquisa	66
4.4. Procedimentos de análise	67
4.4.1. Observação das atividades	67
4.4.2. Categorias fundamentadas em Ausubel	68
5.OBSERVAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES UTILIZANDO O MATHEMATICA®	71
5.1. Exercício 1: Atividade preparatória	71
5.2. Exercício 2: Problema dos três corpos (caso geral)	74
5.3. Exercício 3: Problema dos três corpos (caso específico)	78
5.4. Conclusões	82
6. CATEGORIAS FUNDAMENTADAS EM AUSUBEL	85
6.1. Categoria Conceitos sobre Gravitação	85
6.2. Categoria Concepções dos alunos	97

6.3. Uso do Mathematica® e seu potencial significativo	106
6.4 Conclusões	114
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
REFERÊNCIAS	126
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO	130
APÊNDICE B – GUIA PARA ENTREVISTA	131

INTRODUÇÃO

A Física, segundo o currículo proposto pelo Ministério da Educação (MEC), entra na vida escolar dos alunos no ensino fundamental, faz parte do rol de disciplinas do ensino médio e pode estar presente no ensino superior, dependendo do curso pelo qual o aluno opte. E mesmo tendo estudado essa disciplina por tantos anos, alguns alunos têm dificuldade em entender os fenômenos estudados além de não compreenderem quais as contribuições da Física para o desenvolvimento social e econômico. Áreas como as de engenharia, meio ambiente, ciências da saúde e ciências da computação são exemplos de campos de atuação da Física, os quais podem ser explorados pelos professores a fim de contextualizar os fenômenos estudados e desenvolver nos alunos uma visão da importância da Física para a sociedade contemporânea.

Então, feito o diagnóstico que o aluno possui deficiências na compreensão da Física, como o professor pode agir de forma a facilitar essa aprendizagem? Que métodos de ensino podem ser aplicados nas escolas e universidades para que o aluno possa construir um pensamento científico robusto? Que instrumentos o professor pode usar para tentar minimizar os obstáculos entre o ensino e a aprendizagem?

Essas perguntas precisam fazer parte do trabalho do docente, a fim de que ele possa melhorar sua prática pedagógica e, dessa forma, favorecer o ensino da Física. Propor uma metodologia que facilite o entendimento de fenômenos físicos pode não ser uma tarefa fácil de ser realizada. Em muitas escolas e universidades o professor enfrenta vários desafios, dentre eles a falta de material para atividades didáticas, lacunas na aprendizagem dos alunos e, por vezes, o desinteresse destes em estudar Física.

Tentar diminuir as dificuldades no ensino de Física requer uma atenção para escolha de uma teoria que embase o trabalho do professor, a definição de instrumentos pedagógicos compatíveis com a teoria adotada e um sistema de avaliação que harmonize com os itens anteriores. A partir da escolha da teoria educacional, o professor pode optar pelas ferramentas que melhor se adequem à sua rotina didática. Uma das intervenções que podem ser utilizadas pelo professor é o uso do computador.

Este equipamento é um forte aliado no ensino de Física, uma vez que permite ao aluno manipular modelos de fenômenos físicos, além de ajudar na resolução de problemas. Ao incluir sistemas tecnológicos no ensino de Física, nos parece contraditório avaliar a

aprendizagem utilizando métodos tradicionais, assim, o professor precisa cuidar para não adotar um método de avaliação que seja incoerente com as ações desenvolvidas em sala.

Numa sociedade tecnológica, uma das finalidades da educação é dotar o aluno de habilidades para reconhecer e operar ferramentas tecnológicas digitais. Para que isso aconteça o aluno precisa ser colocado em situações de ensino que contemplem a análise e a contextualização de tais ferramentas. No ensino superior, nem sempre esse dinamismo é contemplado e algumas vezes o conhecimento é tratado como um dogma e colocado de forma descontextualizada e o resultado disso é o distanciamento da teoria em relação à prática.

A Universidade não pode perder a capacidade de questionar, investigar e criar soluções para os novos desafios. Assim, é importante que se faça uma reflexão sobre o papel do processo educativo inserido no mundo tecnológico atual. Dessa forma, se torna necessário o uso de metodologias de ensino inovadoras, que venham a atuar como facilitadores ao acesso à informação e ao desenvolvimento da pesquisa, para que o aluno desenvolva suas habilidades e atue com maior eficiência no mercado de trabalho.

O egresso do curso de licenciatura em Física, conforme a legislação brasileira, deve possuir competências e habilidades ligadas ao entendimento e explicação de fenômenos. Também deve desenvolver ao longo do curso a capacidade de utilizar instrumentos matemáticos e tecnológicos e ter domínio de linguagem adequada para expressar seu pensamento. Assim, ao propor uma metodologia que utilize ferramentas computacionais, esperamos impactar e contribuir de forma positiva na formação dos futuros professores de Física que fazem parte de nosso grupo amostral.

A escolha por desenvolver um projeto de pesquisa utilizando instrumentos tecnológicos digitais partiu da percepção das mudanças pelas quais a sociedade contemporânea vem passando nos últimos anos. Dentre essas modificações podemos citar o uso do computador, cada vez mais precoce, em atividades cotidianas das pessoas. Para tentar acompanhar esse processo, o currículo dos cursos de graduação em Física precisa oportunizar ao seu aluno situações pedagógicas onde o uso de ferramentas digitais seja aplicado na resolução de problemas ou no estudo de fenômenos físicos.

O uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) não resolve todos os problemas do ensino e da aprendizagem em Física. A escolha da ferramenta deve partir das necessidades pedagógicas do curso, além de considerar fatores como estrutura física do local onde ocorrerão as aulas e o nível de conhecimento, tanto em Física quanto em informática, dos próprios alunos. Diante das opções de ferramentas computacionais que

podem ser empregadas para favorecer o ensino de Física, escolhemos discutir as potencialidades do *software* Mathematica®.

O Mathematica® é um *software* da classe dos *Computer Algebra System* (CAS), Sistema de Álgebra Computacional. Ele propicia a execução de um grande número de algoritmos, além da manipulação simbólica/representação de conceitos matemáticos e a utilização de uma linguagem própria de programação. Um CAS é um programa que busca facilitar o cálculo em matemática simbólica. Encontramos na literatura exemplos de sucesso na utilização do Mathematica®, onde destacamos a resolução de cálculos, elaboração de gráficos e simulações.

Como mencionado anteriormente, antes de escolher quais métodos e ferramentas utilizar, o professor precisa estar embasado numa teoria educacional. Para a realização deste trabalho escolhemos os fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel, consolidada por Novak.

A aprendizagem significativa se opõe à aprendizagem memorística. Nesta, o aluno recebe os conteúdos do professor de forma passiva, com o objetivo, geralmente, de realizar testes. Passado esse momento, pouco ou quase nada é usado para construir uma rede de conhecimentos. Já na aprendizagem significativa o aluno é instigado a construir uma rede sólida na qual ele agrega conceitos aos já existentes, os chamados subsunçores. Dar significado a algo é uma condição inerente ao homem, uma vez que diante de uma quantidade enorme de informações que ele recebe diariamente é preciso selecionar, classificar e reter aquilo que for de seu interesse.

A aprendizagem significativa se apoia em três pilares: (I) os conhecimentos prévios dos alunos, aquilo que o aluno carrega na sua bagagem cognitiva e que vai servir de base para a construção do novo conhecimento; (II) o desejo de aprender do aluno, ponto talvez dos mais difíceis de ser alcançado, pois decorre dos objetivos individuais do aluno; (III) a realização de atividades potencialmente significativas, isto é, o professor ao investir nessa teoria deve priorizar momentos que o aluno seja um elemento ativo, deve confrontá-lo com novas situações além de instigar o debate.

Saber se o aluno está atribuindo significado aos conceitos, ou seja, avaliar, também ganha nova conotação na aprendizagem significativa. Alunos estão acostumados a provas e testes e o sistema educacional pede que seja atribuído um valor ao conhecimento. Pensando nisso, Novak dá sua contribuição à teoria da aprendizagem significativa, criando os mapas conceituais (MC).

Os mapas conceituais são estruturas hierárquicas do conhecimento. Aqui hierarquia não tem o sentido de dizer que um conhecimento é mais importante que outro, mas é uma forma de organizar conceitos mais generalistas, que ocupam o topo do MC, e outros mais específicos, que ficam em sua base do, juntamente com exemplos concretos. Mapas conceituais são estratégias de comunicação pelas quais se atribui sentido a conceitos por meio de uma rede de caminhos.

Usando a estratégia de uma pesquisa qualitativa do tipo estudo de caso, iremos trabalhar com alunos do curso de licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE), campus Fortaleza, matriculados na disciplina Física Geral 2, focando especificamente no conteúdo de Gravitação. Com esse grupo amostral procederemos à resolução de problemas utilizando o Mathematica®.

Nosso propósito é identificar elementos da aprendizagem significativa, utilizando três instrumentos de pesquisa: mapas conceituais para verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Gravitação; a entrevista semiestruturada individual, para determinar vantagens e dificuldades do uso do Mathematica® como ferramenta auxiliar na resolução dos problemas; e a observação, para descrever as situações de ensino estruturadas durante a pesquisa.

Assim, levanta-se a questão motivadora deste trabalho: de que forma o *software* Mathematica® pode ser mais bem explorado, a fim de proporcionar a mobilização de conhecimentos dos estudantes no que concerne ao conteúdo de Gravitação, com características de uma aprendizagem significativa?

Portanto, podemos dizer que nosso principal objetivo é conceber, descrever e analisar situações de ensino do conteúdo de Gravitação, com o arrimo do CAS Mathematica®. Têm-se como objetivos específicos:

- Conceber situações de ensino adequadas ao conteúdo de Gravitação;
- Descrever o uso do CAS Mathematica®, atinentes às situações de ensino dos conteúdos de Gravitação;
- Identificar elementos de uma aprendizagem significativa no âmbito do ensino da Gravitação.

São hipóteses deste trabalho que o uso do Mathematica® possibilita a resolução de questões de Gravitação que requererem a análise gráfica e matemática do fenômeno, como também que sua aplicação em aulas na disciplina de Física Geral 2 favorece um entendimento significativo desses fenômenos físicos.

O foco deste trabalho é implementar situações didáticas que visem o uso de uma tecnologia computacional no ensino de Física. No **Capítulo 2** apresentamos a revisão da

literatura de nosso trabalho. Lançamos um olhar sobre o ensino de Física e apresentamos as principais características do Mathematica®. Nossa intenção é revelar ao leitor a forma como os cursos de licenciatura são organizados, mostrar a importância de um currículo bem estruturado, justificar o uso da tecnologia no ensino de Física e destacar pontos positivos e desafios a serem superados quanto ao uso do Mathematica®.

No **Capítulo 3** o leitor encontrará o referencial teórico que norteia esta pesquisa. Será apresentada a teoria da aprendizagem significativa, desenvolvida por David Ausubel. E em seguida as contribuições de Joseph D. Novak para a aprendizagem significativa, destacando-se os mapas conceituais. Mostraremos a definição de mapas conceituais, como construí-los e que usos o professor pode dar a esta ferramenta.

No **Capítulo 4** mostramos os procedimentos seguidos para a elaboração deste trabalho e sua caracterização, ou seja, a descrição e justificativa do tipo de pesquisa adotado para a obtenção dos seus resultados. Também faremos a caracterização do grupo amostral e pormenorizamos as etapas do processo investigativo realizado.

No **Capítulo 5** fazemos uma descrição das atividades desenvolvidas durante o estudo. Utilizando a observação das situações de ensino, pormenorizamos os passos da metodologia adotada para descrever a atividade de apresentação do Mathematica®, seguida de outra atividade de adaptação, onde os alunos uniram os comandos aprendidos no primeiro exercício aos conceitos de Gravitação e, finalmente, como os alunos se comportaram diante da resolução do problema de três corpos, lidando com a linguagem do Mathematica® e as variáveis próprias do problema apresentado.

No **Capítulo 6** é feita a discussão dos resultados baseada em três categorias fundamentadas na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel: a primeira analisa os mapas conceituais produzidos pelos alunos; a segunda investiga as concepções dos alunos acerca do curso e das ferramentas digitais no ensino; e a terceira caracteriza o potencial do Mathematica® como material potencialmente significativo para o ensino de Física.

Por fim, no **Capítulo 7**, fazemos um resgate das principais considerações desta investigação e sugerimos futuros trabalhos para melhor aprofundamento das questões levantadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresentamos algumas informações sobre os cursos de licenciatura em Física no Brasil. Buscamos embasamento na literatura, principalmente na legislação educacional brasileira e em autores que estudam problemáticas no ensino de Física e adotam metodologias que utilizam o computador. Apresentamos os objetivos para o ensino de Física, previstos pelo Ministério da Educação (MEC); tratamos sobre a organização do currículo de Física, com enfoque na inserção de tecnologias digitais, citando pontos positivos e desafios a serem enfrentados e também detalhamos um pouco da história e do funcionamento do Mathematica® e algumas experiências metodológicas que fizeram uso de tal programa, e embasaram este trabalho.

2.1. Um olhar sobre o ensino de Física

Segundo Gomes (2010), alguns alunos entendem a Física como uma disciplina de equações prontas, cujos problemas e resultados não possuem uma relação com a própria vida. Entretanto, a sociedade tecnológica em que vivemos só é possível graças ao acúmulo dos conhecimentos de Física construídos nos últimos séculos. Então surge o questionamento: o que acontece na sala de aula que impede o aluno de fazer a ponte entre o que ele aprende e o que vivencia?

Chaves e Shellard (2005) evidenciam que existe uma falta de contextualização no ensino de Física, ou seja, a ausência de uma conexão entre os conteúdos e os produtos que beneficiam as pessoas graças ao desenvolvimento da Ciência. Para os autores, faltam trabalhar no currículo de Física temas que possam servir de pano de fundo para o debate sobre desenvolvimento tecnológico e suas implicações na vida das pessoas.

Cabe-nos refletir, como professores de Física, até que ponto as situações enfrentadas no cotidiano escolar influenciam o interesse e contribuem para o envolvimento do aluno nas atividades da sala de aula. Segundo Cardoso (2003), o aluno não pode ser visto como uma folha em branco, pronto para receber informações. É nesse ponto que destacamos que a escolha correta dos conteúdos a serem discutidos em sala de aula é um dos pontos para um ensino de Física adequado.

Trabalhar um currículo que aborde questões contemporâneas pode ser considerado um desafio ante a amplitude do escopo da Física. A legislação educacional brasileira, por meio de documentos do MEC, auxilia professores, seja do ensino fundamental, médio ou superior, a tomar decisões pedagógicas. Vamos considerar aqui a definição da Física como uma ciência

que faz parte do currículo das escolas e universidades brasileiras. Buscamos nos Parâmetros Curriculares para o Ensino Médio (PCN+), documento elaborado em 2002 com base na Lei de Diretrizes e Base para a Educação (LDB/96), a definição de Física:

A Física é um conhecimento que permite elaborar modelos de evolução cósmica, investigar os mistérios do mundo submicroscópico, das partículas que compõem a matéria, ao mesmo tempo em que permite desenvolver novas fontes de energia e criar novos materiais, produtos e tecnologias. (BRASIL, 2002, p. 22)

Tal definição pode ser o ponto de partida para muitos professores que desejam implementar práticas educacionais eficientes para o ensino de Física. Uma leitura de tal definição nos faz ver que a Física pode ser considerada uma ciência investigativa. O estudante de Física precisa ser levado a conhecer um campo amplo e complexo que envolve tanto fenômenos com partículas elementares como a compreensão dos mistérios da Cosmologia.

Os PCN+ (2002) surgem, nesse contexto de escolha de assuntos a serem trabalhados em sala de aula, como fontes para a elaboração do currículo e escolha de metodologias de ensino, ajudando professores na elaboração de um plano. Os PCN+ estabelecem metas para o ensino e a aprendizagem de todas as disciplinas que compõem as três áreas do conhecimento: Ciências Humanas e suas tecnologias; Linguagens e Códigos e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Matemática e suas Tecnologias. Para cada uma dessas áreas são listadas competências e habilidades que devem ser desenvolvidas, respeitadas as particularidades de cada nível de ensino. Essas competências estão divididas em três categorias: representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização sociocultural.

Em se tratando de um trabalho que investiga o uso de um *software* aplicado ao ensino de Física, elencamos as principais competências e habilidades para esta disciplina dentro de cada uma das categorias mencionadas que julgamos serem relevantes:

- a) Na primeira categoria, Representação e Comunicação, o documento orienta que o aluno deve ser levado a compreender e a utilizar linguagem própria para o entendimento de fenômenos físicos, tais como: unidades de medida, tabelas e gráficos, além de elaborar sínteses e fazer uso correto da linguagem física e matemática;
- b) Na segunda categoria, Investigação e Compreensão, o professor precisa considerar metodologias de ensino nas quais o aluno deve articular o conhecimento científico

com o cotidiano, levando-o a elaborar hipóteses, investigar situações-problema e utilizar modelos físicos;

- c) Na terceira categoria, Contextualização sociocultural, o aluno é levado a reconhecer a Física como instrumento de desenvolvimento social. Nesse momento, o professor pode abordar temas de interesse do aluno nos quais a Física está inserida.

A ampla discussão sobre os PCN+ gerou em 2006 um documento, denominado Orientações Curriculares para o Ensino Médio, para estreitar as relações entre a escola e o aluno. Para o ensino de Física ele orienta que os professores precisam assegurar aos seus alunos o desenvolvimento da competência investigativa.

Na escola, uma das características mais importantes do processo de aprendizagem é a atitude reflexiva e autocrítica diante dos possíveis erros. Essa forma de ensino auxilia na formação das estruturas de raciocínio, necessárias para uma aprendizagem efetiva, que permita ao aluno gerenciar os conhecimentos adquiridos. (MEC, 2006, p. 45)

Assim, entramos num dos pontos importantes para que o ensino de Física cumpra com seu papel, o de possibilitar a compreensão do mundo: a formação do professor. Além das orientações da LDB/96 e dos PCN+, as instituições de ensino superior que ofertam cursos de licenciatura se valem das determinações do Conselho Nacional de Educação (CNE), por meio de resoluções e pareceres da Câmara de Educação Superior. Destacamos o Parecer CNE/CES nº 1.304/2001, que estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para o curso de licenciatura e bacharelado em Física, e a Resolução nº 2 de 1º de julho de 2015, que determina as diretrizes curriculares nacionais para os cursos de formação inicial e continuada de professores.

O primeiro documento, o parecer CNE/CES 1.304/2001, estabelece que o profissional formado em Física, seja ele um físico pesquisador, educador, tecnólogo ou com formação interdisciplinar, precisa ter como base de formação a investigação e a resolução de problemas baseados em conhecimentos sólidos e atualizados. São competências que o profissional formado em Física precisa desenvolver durante seu processo de formação profissional:

- a) Dominar princípios e fundamentos da Física clássica e moderna;
- b) Entender e explicar fenômenos físicos e equipamentos tecnológicos;

- c) Fazer uso de instrumentos laboratoriais e matemáticos para a investigação e resolução de problemas;
- d) Estar atento às atualizações científica e tecnológica;
- e) Desenvolver suas atividades dentro de princípios éticos.

O mesmo documento especifica ainda as vivências que o formando em Física precisa ter durante o curso de ensino superior para o desenvolvimento das competências acima citadas. São elas:

- a) A realização de experimentos em laboratórios;
- b) O uso de equipamentos de informática;
- c) Realização de pesquisas bibliográficas;
- d) Entrar em contato com ideias e conceitos fundamentais da Física;
- e) Fazer uso de instrumentais, por exemplo, a elaboração de artigos para expor os resultados de pesquisas científicas;
- f) Elaborar materiais e atividades de ensino de Física, no caso do curso de licenciatura.

O segundo documento, a Resolução nº 2 de 1 de julho de 2015 do CNE, possui linhas mais gerais, estabelecendo orientações para os cursos formadores de professores, dentre eles os cursos de licenciatura em Física, fazendo uma articulação entre os documentos norteadores para a educação básica e os de orientação para o ensino superior.

A Resolução nº 2 de 1º de julho de 2015 do CNE nos fala que o projeto de cursos responsáveis pela formação de professores precisa ser elaborado juntamente com a sociedade civil e deve contemplar, além de uma sólida formação teórica, a inserção do futuro professor no contexto educacional da região na qual ele irá desenvolver suas atividades. A instituição de ensino superior, responsável por oferecer à sociedade os cursos de licenciatura, precisa fazer uma articulação entre o Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI), o Projeto Pedagógico Institucional (PPI) e o Projeto Pedagógico de Curso (PPC).

Este último documento, elaborado pela coordenação do curso, apresenta de forma sistematizada todas as informações inerentes ao mesmo, dentre as quais, informações gerais, organização didático-pedagógica, organização curricular e infraestrutura.

Desenvolver o projeto de um curso de ensino superior tem como um dos eixos principais a escolha de um currículo capaz de atender tanto o que determina a legislação

brasileira (como acabamos de descrever por meio de leis, parâmetros, diretrizes e resoluções discutidos anteriormente), quanto ao que almeja a sociedade. No trabalho de Barcellos (2013) encontramos várias definições de currículo e de como devemos montar um capaz de ser a base da formação de professores eficientes na atuação docente. Seguem tais definições, tiradas das investigações do autor em questão:

- a) Tyler – para construir um currículo, devem-se conciliar tensões, provenientes de visões teóricas distintas, a respeito da escola e do conhecimento;
- b) Bruner – qualquer assunto pode ser ensinado em qualquer idade, desde que possua uma abordagem adequada;
- c) Fourquin – currículo é uma seleção que escolas e professores fazem no interior de suas culturas para escolher o que será ensinado;
- d) Chevallard – para que algo possa ser ensinado, ele deve ser extirpado de seu contexto de origem, de modo a se desvincular da época em que foi produzido, ou seja, o conhecimento precisa ser atemporal;
- e) Apple – as escolas devem se concentrar numa lógica reconstruída e não na lógica utilizada, ou seja, o conhecimento traduzido para uma linguagem apropriada e não como foi concebido.

Diante da evolução social, econômica e tecnológica que a sociedade contemporânea vem passando, nos parece razoável pensar num currículo de Física que atente para o estudo de fenômenos físicos mais próximos da realidade do aluno e que utilize os instrumentos disponíveis para a resolução de problemas.

Nosso pensamento de tornar a Física mais próxima do cotidiano do aluno e, desta forma, tentar melhorar o entendimento de fenômenos físicos, é defendido pelos PCN+ que orientam aos professores que o ensino da Física deve se afastar de um modelo engessado, no qual conceitos e equações são apresentados sem nenhuma conexão com a realidade do aluno, e se aproximar de um sistema que incorpora Ciência e Tecnologia. Numa releitura das orientações para a formação de professores, Chaves e Shellard (2005) expõem que se forma um bom professor oferecendo-lhe conteúdos sólidos e atualizados sobre a Ciência, que favoreçam durante sua formação a busca de novas formas de conhecimento e criem condições para aplicação de tecnologias modernas ao ensino de Física.

Montar uma base curricular capaz de atender às expectativas da sociedade e ajudar a formar um professor de Física mais crítico requer esforços de todas as instâncias que formam

a rede educacional brasileira, passando por orientações enfatizando o ensino superior vindas do MEC e chegando até a sala de aula, com professores universitários cientes do seu papel de formadores de professores. Chaves e Shellard (2005) identificam algumas mudanças importantes que, se implementadas de forma adequada, podem favorecer o crescimento das licenciaturas de Física no Brasil:

- a) Capacitação dos professores universitários: muitos professores que atuam nas universidades não tiveram durante sua formação contato com disciplinas preparatórias para a prática docente. Logo, faz-se necessária uma reavaliação das práticas pedagógicas desses professores, uma vez que eles podem servir de exemplo de atuação profissional para os professores em formação;
- b) Articulação de conteúdos de Física com a prática pedagógica: ensinar a ensinar. Num curso de licenciatura essa frase deveria ser prática constante, porém não é o que acontece na maioria das vezes, ou por falta de preparação do professor para atuar num curso de licenciatura ou por falta de estrutura do curso, que impede que os alunos apliquem de forma satisfatória o que aprendem em sala de aula em escolas de ensino fundamental e médio;
- c) Reformulação do currículo: é preciso dar uma atenção maior à Física do último século e proporcionar uma maior interdisciplinaridade, além de investir nas áreas de estágio e experimentação.

O currículo de cursos superiores que tem como base as disciplinas da área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias envolve, segundo Barbeto e Yamamoto (2002), na maioria das vezes, assuntos de Física básica. São assuntos que, embora já tenham sido apresentados no ensino médio, merecem ser trabalhados com atenção, devido ao seu grau de dificuldade tanto teórica quanto matemática, que transparece nos conteúdos.

Ao ingressar num curso superior cuja carga maior de conceitos esteja relacionada à área de Ciências da Natureza, como é o caso do curso de Licenciatura em Física, espera-se que o aluno tenha um mínimo de conhecimento sobre Física e Matemática. Como afirmam Barbeto e Yamamoto (2002), o ensino superior deveria ser uma continuidade dos estudos dos alunos, ou seja, aquilo que o aluno aprendeu no ensino médio seria visto novamente, contudo com uma complexidade maior à medida que o curso avança.

A resolução de problemas, segundo Costa e Moreira (2002), é algo intrínseco ao entendimento da Física, ou seja, a determinação de uma resposta a questões conceituais ou

matemáticas é uma das metodologias mais difundidas entre professores. Aprender requer uma atitude de confronto com um problema para o qual não se tem, mas busca-se a resposta.

Entretanto, conforme os autores supracitados, existe uma dificuldade para fazer com que alunos desenvolvam competências e habilidades inerentes à disciplina, adotando medidas pedagógicas contemporâneas sem que para isso deixe de lado o rigor metodológico. Santos (2005) nos fala que é preciso adotar abordagens pedagógicas capazes de motivar o interesse pela Física, mudando assim a realidade de muitas salas de aula.

2.2. Tecnologia digital aplicada ao ensino de Física

Por lidar com vários conceitos, alguns dos quais caracterizados por uma alta dose de abstração, o ensino de Física nas escolas e universidades não é uma tarefa simples (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Em muitos casos, por uma questão de organização curricular, os conceitos são desmembrados e acabam ficando fora de contexto e enfadonhos durante a aprendizagem.

O entendimento dos fenômenos da natureza, objetivo principal dessa Ciência, requer uma teia firme de conceitos e sólidas bases matemáticas, a fim de que o aluno conclua seu processo de formação no ensino médio de maneira satisfatória frente aos parâmetros adotados pelos órgãos ligados à Educação.

A instituição dos PCN+ trouxe aos professores uma nova proposta: que a Física deixasse de ser uma disciplina de memorização de equações e passasse a ser tratada como uma ciência capaz de levar o homem a compreender o meio no qual está inserido e, assim, intervir na sua modificação de forma crítica, atuando como cidadão.

A Física deve estimular competências que façam o aluno entender fenômenos naturais e tecnológicos a partir de princípios, leis e modelos bem definidos em consonância com os fatos da realidade e em articulação permanente com competências de outras áreas do conhecimento (MEC, 2002). Com isso, o ensino de Física ganha uma dimensão mais ampla e o professor precisa fazer uso de múltiplas linguagens para formar pessoas capazes de relacionar fenômenos físicos ao cotidiano.

Segundo Teixeira (2014), a presença das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) em várias atividades do cotidiano das pessoas vem modificando os espaços e as relações interpessoais, surgindo um ciberespaço e, conseqüentemente, uma cibercultura. Levy (2000) aponta que a mudança nas relações entre as pessoas pode ser creditada à introdução de uma informática cada vez mais avançada na vida delas.

Uma leitura da obra de Levy (2000) mostra que a comunicação entre as pessoas sofreu forte impacto graças ao desenvolvimento de tecnologias de transmissão de informação e a educação não poderia ficar de fora dessa revolução. Os espaços educacionais têm papel importante na formação das pessoas e, segundo Teixeira (2014), a construção do conhecimento ocorre seguindo um esquema de comunicação, ou seja, professores e alunos precisam desenvolver metodologias de comunicação a fim de construir uma rede cognitiva bem estruturada.

Os alunos levam para a sala de aula experiências e expectativas diferentes. Desta forma, é quase impossível conceber uma escola que não viabilize a troca de experiências usando ferramentas tecnológicas digitais. Não queremos com isso, porém, tornar a escola ou o professor refém de uma única metodologia de ensino. Assim como Teixeira (2014), defendemos a ideia que o professor deve ser o protagonista da ação pedagógica e que ele tem o direito de fazer uso das ferramentas computacionais no momento adequado, visando sempre um uso crítico e criativo. Quanto mais ativamente uma pessoa participar da aquisição de um conhecimento, mais ela irá integrar e reter aquilo que aprender (...). É, portanto, um instrumento bem adaptado a uma pedagogia ativa (LEVY, 2000).

A Física, por ter um caráter altamente investigativo e se preocupar com o entendimento de fenômenos cotidianos, é forte candidata a receber métodos de ensino que utilizem as ferramentas das TDIC. Para Vrankar *apud* Medeiros e Medeiros (2002), mesmo existindo dúvidas sobre as vantagens do uso do computador, o seu proveito no campo educacional do pensamento lógico da Física seria inquestionável. Parte dessa vantagem em utilizar o computador no ensino de Física, segundo Gomes (2010), está na dificuldade de alguns alunos para compreender fenômenos que requeiram um nível de abstração mais elaborado ou uma abordagem matemática difícil, se utilizados os métodos tradicionais de resolução de problemas.

E nessa inserção do computador na sala de aula, qual o verdadeiro papel da máquina? Ela pode ser considerada uma poupadora de tempo para o professor ou um recurso facilitador da aprendizagem? Partindo dessa preocupação, apresentamos nas próximas seções pontos positivos e desafios a serem enfrentados quanto à utilização da TDIC no ensino de Física, principalmente nos cursos superiores.

2.2.1. Pontos positivos para o uso do computador no ensino de Física

Segundo McCroy *apud* Teixeira (2014), existem dois importantes motivos para a utilização de tecnologias no está sendo abordado ou faz parte das práticas de estudo da área; e o outro, quando o professor recorre à tecnologia para tentar resolver uma dificuldade sua ou de seus alunos no processo de ensino e aprendizagem de determinado conteúdo.

Nesta sessão, apresenta-se o resultado da pesquisa de Teixeira (2014), que abordou o uso de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação no ensino de Física. Professores e licenciandos em Física apontaram alguns pontos fortes, que podem servir de inspiração para o uso de tecnologias digitais no ensino e na aprendizagem em Física:

a) Independência do aluno

O professor deve possibilitar ao aluno situações em que possa interagir, problematizar, refletir, questionar e participar em sala de aula, concebendo-o como agente no processo, ou seja, alguém que está ali e pode colaborar e, ainda, aprender com significado (SILVA, 2011, p. 44)

Qual o objetivo da educação? Podemos ter uma resposta do ponto de vista legal, uma vez que a Constituição Federal Brasileira de 1988 atribui à educação a função de integrar o educando à sociedade e prepará-lo para a cidadania e o mercado de trabalho. E já esse conceito nos dá uma ideia sobre a importância de formar, na escola, pessoas críticas quanto ao seu papel na sociedade.

As tecnologias digitais surgem nesse contexto como uma ferramenta que faculta ao aluno construir de forma ativa o seu conhecimento. Ao viabilizar, dentre outras coisas, a pesquisa, o uso de ferramentas computacionais oportuniza uma aprendizagem mais significativa em detrimento de uma aprendizagem mnemônica.

b) A aula vai além do limite de tempo da sala de aula

O computador e a *internet* fazem com que o aluno tenha acesso ao conhecimento além dos muros da escola. A depender da atividade proposta pelo professor, o aluno tem a oportunidade de desenvolver suas pesquisas em qualquer lugar que deseje. Segundo Moran (2013), o professor precisa adquirir a competência de gerir os tempos e a distância combinados com o presencial.

c) Aprofundamento de conteúdos

A *internet* é um vastíssimo campo de pesquisa. Inúmeros *sites* possibilitam que os alunos tenham a chance de construir o conhecimento de diversas formas, seja pesquisando em textos ou fazendo um passeio virtual em museus famosos, como o Louvre. Essa nova forma de estudar acrescenta muito aos formatos tradicionais de pesquisa como, por exemplo, o livro didático. Porém, é preciso ter cuidado com a origem e o potencial científico das pesquisas realizadas pelos alunos. É preciso que os estudantes sejam bem orientados antes de conduzirem seus estudos. Dependendo do uso que se faz do computador e dos *softwares* é preciso conhecer uma linguagem de programação própria. Cardoso (2003) nos revela que o desenvolvimento de técnicas de solução de problemas e a programação computacional são metodologias eficientes ao estímulo do raciocínio lógico.

d) Diversas plataformas

O nascimento da informática, no início dos anos 60, tinha como base a utilização de máquinas enormes, e, por isso, fora do alcance da maioria das pessoas. Com a miniaturização de componentes e avanços na tecnologia, o computador pessoal ficou mais barato e acessível.

Atualmente é possível ter acesso à *internet* em celulares e relógios e os avanços tecnológicos continuam trazendo mais inovações a cada dia. Esse fato faz com os alunos tenham mais ambientes virtuais para desenvolver suas atividades e assim construir o conhecimento. Para Moran (2013) professores e alunos estão caminhando para aprender em qualquer espaço, seja ele presencial ou digital.

e) Despertar o interesse dos alunos

No Capítulo 3, faremos uma abordagem mais profunda da teoria de aprendizagem de David Ausubel, a chamada teoria da aprendizagem significativa, mas já podemos antecipar que, de acordo com essa teoria, é preciso um tripé de princípios para haver a construção de conhecimento: formação de uma rede cognitiva bem estruturada, embasamento em atividades potencialmente significativas e o desejo do aluno.

Esse último fator é essencial e é em que o trabalho de Teixeira (2014) se apoia. Como aprender algo que não quero aprender? Esse fato faz com que muitas vezes o aluno encare a escola e o ensino como algo enfadonho, o que pode contribuir para um futuro abandono da escola.

Introduzindo o computador nas práticas pedagógicas o professor estaria incluindo ferramentas que muitos alunos já utilizam no seu cotidiano e, assim, segundo Ramos e Coppola (2016), ao aliar os novos recursos tecnológicos que estão surgindo à atividade pedagógica, produz-se um dinamismo, um estímulo à criatividade e interação não só de conhecimentos teóricos, mas também daqueles relacionados à vida dos estudantes.

f) Dar uma ideia do fenômeno

Em Física, muitos fenômenos são inobserváveis diretamente, seja por acontecerem no mundo subatômico ou por demandarem equipamentos muito específicos, difíceis de serem adquiridos por laboratórios de escolas ou universidades. Para suprir essa carência, pode-se fazer uso de simulações computacionais.

Simulações são muito mais que animações, elas têm o papel de fazer o aluno construir situações quase impossíveis de reproduzir no mundo real, ou seja, abordando fenômenos físicos por meio de ferramentas computacionais, diminui-se o nível de abstração dos conceitos relacionados aos fatos científicos.

Modelos podem funcionar como uma ponte entre a teoria científica e o mundo-como-experimentado ("realidade") de duas formas. Eles podem ser esboços simplificados da realidade-como-observada (fenômenos exemplo), produzidos como objetivos específicos aos quais as abstrações da teoria são então aplicadas. Eles também podem ser idealizações de uma realidade-como-imaginada, baseadas nas abstrações da teoria, produzidas de forma tal que possam ser feitas comparações com a realidade-como-observada, e, desta forma, usadas para tornar visíveis abstrações (GILBERT *apud* FILHO, 2010, p. 23).

Cardoso (2003) destaca que a criação de modelos físicos no computador faz com que o aluno se preocupe mais com a base física, facilitando a compreensão de problemas cuja descrição matemática é muito complicada.

g) Fornecimento de *feedback* ao testar hipóteses

Em Física, busca-se que o aluno seja capaz de imaginar um fenômeno e, com as ferramentas que lhe são oferecidas, ele possa prever ou propor uma solução. Esse procedimento pode ser desenvolvido tanto na sala de aula tradicional quanto usando as ferramentas digitais.

Ocorre que é interessante que o aluno obtenha resposta de suas investigações e manipulações de forma rápida e segura, o que algumas vezes é difícil de ocorrer numa sala de

aula tradicional, em razão, por exemplo, da grande quantidade de alunos que muitas vezes são matriculados.

Cardoso (2003) destaca que o erro pode fazer parte do processo de aprendizagem, uma vez que ao utilizar o computador o aluno pode escolher o modelo de resolução de um problema físico e pode obter as respostas desejadas de forma mais rápida, checando se a resposta faz sentido físico.

Em alguns *softwares* há a possibilidade do aluno identificar em qual ponto está o erro e a possibilidade de corrigi-lo. Nesse caso, o aluno não só recebe um *feedback* de suas ações, como esse sistema também pode ser usado como forma de avaliação.

2.2.2. Desafios para a inserção do computador no ensino de Física

Utilizar uma ferramenta computacional pode, a princípio, parecer a solução para todos os problemas da educação, em especial o ensino de Física. Quem pensar dessa forma pode cair em erro, dadas a complexidade do sistema educacional e as nuances psicológicas de cada indivíduo. Teixeira (2014), como apresentado na seção anterior, aponta uma série de benefícios para a inserção do computador e da *internet* na sala de aula. Porém é preciso tomar cuidado, principalmente na escolha do material a ser utilizado pelos alunos. Um *software* que requer linguagem computacional mais sofisticada dificilmente poderá ser utilizado por alunos das séries iniciais do ensino fundamental, por exemplo.

Dentre os desafios citados por Teixeira (2014), vamos nos deter aqui em quatro pontos:

a) Engessamento do currículo

Ao escolher um *software*, uma simulação ou qualquer outra ferramenta computacional para uso em sala de aula, o professor precisa saber que poderá encontrar situações que fogem do seu campo de estudo. Por exemplo, o *Phet*, é um site desenvolvido pela Universidade do Colorado que disponibiliza de forma gratuita diversas simulações na área de Ciências. Uma das simulações denomina-se “Efeito estufa”, que tem por objetivo fazer uma análise dos efeitos dos gases sobre a atmosfera. O ponto no qual queremos chegar é: um currículo travado, que não preveja o estudo interdisciplinar, permitirá o uso de tal ferramenta? A resposta dificilmente será positiva.

Portanto, um dos desafios para a implantação de uma rotina pedagógica que preveja o uso de tais recursos é a construção de um currículo flexível, que permita ao professor discutir

temas paralelos e dessa forma possa aproveitar ao máximo o que as ferramentas computacionais tem a oferecer.

b) Falta de estrutura

Onde desenvolver uma atividade que envolva recursos computacionais? Uma das respostas para essa pergunta seria o Laboratório de Informática ou qualquer outro ambiente que ofereça computadores e acesso à *internet*. Porém, essa não é a realidade de muitas escolas e universidades do Brasil. Segundo Cardoso (2003), são fatores que prejudicam bons resultados em Física: o número excessivo de alunos em sala de aula, a falta de instalações adequadas para a realização de aulas, sejam teóricas ou práticas, e a falta de uma formação adequada do professor.

c) Planejamento

Usar um método que envolva tecnologia digital pode parecer fácil, a princípio, pois o computador está presente em muitas tarefas do cotidiano das pessoas, além do que os alunos estão familiarizados com plataformas online e o número de aplicações digitais é muito grande. Entretanto, essa tarefa não é tão simples. Escolher uma simulação ou um *software* requer do professor profundo conhecimento da ferramenta e de sua turma. É preciso escolher, por exemplo, o momento para usar o método, quantas horas serão dedicadas para a realização das atividades e como os alunos serão avaliados. Tudo isso é importante, pois se não for realizado um planejamento bem estruturado, o método poderá não ser reconhecido pelos alunos como algo que promoverá a aprendizagem e poderá ser visto como perda de tempo.

d) Formação do professor: conhecimento específico e conhecimento pedagógico

Para fechar a lista de desafios à implementação das TDIC no ensino de Física tocaremos num ponto muitas vezes controverso: a importância da formação inicial e continuada dos professores. Em alguns casos ouvimos “Ele sabe muito, mas não sabe ensinar” ou “Esse professor é amigo dos alunos, mas não tem conteúdo”. Ambas as frases revelam uma deficiência na formação inicial dos professores e a desarticulação entre os saberes.

Para usar uma ferramenta digital, o professor tanto precisa conhecer a Ciência que alimenta o programa quanto as metodologias de ensino que endossem suas escolhas. Barcellos (2013) nos fala que, para inserir práticas de ensino reflexivas, ou seja, nas quais os

alunos tenham um papel de articuladores do conhecimento, é preciso uma junção adequada entre o saber específico e o saber pedagógico.

Na próxima seção apresenta-se o *software* utilizado para o desenvolvimento das atividades nesta pesquisa. Além de apresentar um pouco da história do Mathematica®, são mostradas suas principais funcionalidades, apontados alguns de seus comandos e indicados os resultados de algumas pesquisas que o utilizaram como ferramenta pedagógica.

2.3. O Mathematica® e suas funcionalidades

Segundo Gomes (2010), a partir da miniaturização dos componentes e investimento em *softwares*, o computador deixou de ser uma máquina usada apenas em laboratórios, grandes empresas e centros militares e passou a ser usado por pessoas comuns para diferentes finalidades.

Dotar as escolas e universidades de máquinas e *softwares* e pedir que os professores passem a incluir em suas rotinas metodológicas aulas envolvendo esses componentes, segundo Lima (2015), é promover uma alfabetização computacional. Portanto, o uso do computador nas diferentes áreas do conhecimento deixou de ter um ar de “vamos modernizar nossas aulas” para “vamos dotar nossos alunos de competências e habilidades para uma vida informatizada”.

No pensamento de Levy (2000), quanto mais ativamente uma pessoa participar da aquisição de conhecimento, mais ela irá integrar e reter aquilo que aprender. Lucena (2000) também defende a inserção do computador e da *Internet* em sala de aula, uma vez que o professor poderá propiciar ao aluno mais fontes de pesquisa num ambiente inserido na realidade dele.

Para Vrankar *apud* Medeiros e Medeiros (2002), o uso de ferramentas computacionais pode favorecer o desenvolvimento do pensamento lógico, bastante exigido em Física. Além disso, as diferentes ferramentas podem tornar mais reais, isto é, entendíveis, fenômenos físicos conhecidos somente de forma abstrata, facilitando a resolução de equações mais complexas, além de permitir a elaboração de gráficos, dentre outros aspectos.

Diante da lista de opções que as ferramentas computacionais oferecem ao ensino e à aprendizagem, vamos discutir aqui em particular as potencialidades do *software* Mathematica® e como ele pode ser usado como uma ferramenta para o entendimento da Física, mais especificamente dos conceitos envolvidos na teoria da Gravitação.

O Mathematica® é um *software* da classe dos *Computer Algebra System* (CAS), em português algo como Sistema de Álgebra Computacional. Nesse texto iremos usar a sigla

CAS por esta já ser comumente usada para descrever tal ferramenta. Um CAS tem como características ser um sistema que permite a execução de um grande número de algoritmos manipulando simbolicamente conceitos matemáticos dentro de uma linguagem própria de programação.

Um CAS é um programa que busca facilitar o cálculo em matemática simbólica, ou seja, através de um CAS, é possível calcular com a mesma formalidade do cálculo no papel, seguindo-se as mesmas regras e, nos CASs mais modernos, utilizando-se das mesmas notações (FALCETTA, 2006).

Segundo Heck (2003) o CAS pode ser dividido em duas categorias, a *special purpose systems* e a *general purpose systems*. Na primeira categoria foram desenvolvidos *softwares* capazes de resolver problemas de ramos específicos da Ciência, por exemplo, o CAMAL, usado na área de Mecânica dos corpos celestes. Já os *softwares* da segunda categoria, como o próprio nome denuncia, são usados para resolver problemas de ordem mais geral, usados nas mais diferentes aplicações. Um dos mais antigos, datado da década de 60, foi o MACSYMA.

O *software* utilizado no presente trabalho, o Mathematica®, faz parte dessa categoria mais geral. Este programa computacional começou a ser desenvolvido por Stephen Wolfram e foi lançado na década de 80. Segundo Germano e Vloger (2003), o Mathematica® combina manipulação simbólica, cálculo numérico, cálculo gráfico e uma sofisticada linguagem de programação. Mazza *apud* Lima e Lima (2015) lista uma série de usos para o Mathematica®: sistema de visualização, calculador numérico, linguagem de programação próxima à linguagem de usuário, ambiente de modelagem e análise de dados e uma ferramenta para o desenvolvimento de *softwares*.

Silveira (1998) nos ensina que o funcionamento do Mathematica® se dá por meio do acesso a um Kernel computacional, o qual possui um número muito grande de comandos básicos armazenados. Para casos mais específicos, o programa “conversa” com pacotes (packages) extras, que podem ser adquiridos ou até mesmo desenvolvidos pelo usuário. Todo esse processamento ocorre através de uma interface front/end, ou seja, um ambiente gráfico amigável ao usuário, por meio do qual este dá um comando e recebe de volta aquilo que foi pedido ao mesmo.

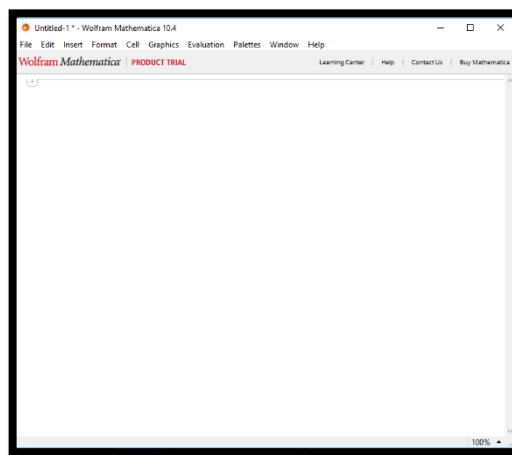
Cada sistema computacional, por exemplo, Windows, Linux, OSX, IOS, Android, dentre outros, possui suas particularidades. Entretanto, segundo Wolfram (2003), o usuário não precisa se preocupar com isso, uma vez que a linguagem para acessar o Kernel, a interface e os protocolos de comunicação são os mesmos para qualquer sistema operacional.

Algumas diferenças podem ocorrer no que diz respeito a atalhos via teclado e aparência das janelas.

Um ambiente de modelagem como o Mathematica® pode, segundo Souza (2010), favorecer o ensino de qualquer disciplina da área de Ciências da Natureza. Em um ambiente de modelagem é possível utilizar vários recursos didáticos, dentre eles, experimentação, problemas contextualizados e simulações computacionais. Kajler e Soiffer *apud* Guyer (2008) afirmam em seus estudos que o uso do Mathematica® no ensino é viável graças à aproximação das saídas do programa com os livros texto, além da possibilidade do uso de números racionais e irracionais.

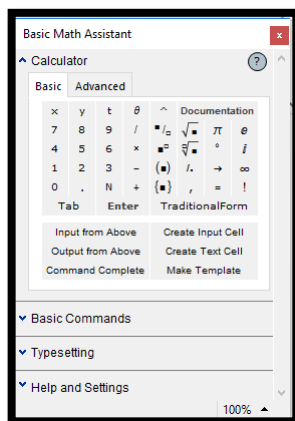
Quando o Mathematica® é inicializado, uma tela branca, chamada notebook, Figura 1, é apresentada ao usuário, para que este possa escrever os comandos e, assim, fazer uso das funcionalidades do *software*. Também é apresentada uma paleta de opções para o usuário, como mostra a Figura 2. Essa paleta tem como função facilitar a escrita de certos comandos, ou seja, no lugar de escrever no notebook, o usuário pode simplesmente teclar em um dos botões da paleta e a função é escrita automaticamente, economizando tempo.

Figura 1. Tela de inicialização do Mathematica® com notebook aberto.



Fonte: próprio autor

Figura 2. Exemplo de paleta do Mathematica®.



Fonte: próprio autor

Segundo Wolfran (2003), além do *notebook*, o Mathematica® possui outras duas formas de interagir com o usuário que são a interface *text-based* e o *Mathlink*. A primeira reconhece comandos via teclado e a segunda permite que o programa se comunique de forma eficaz com outros programas, sendo possível a importação e exportação de informações.

Quando se fala em linguagem de programação, algumas pessoas têm como referência os códigos da linguagem C e podem pensar que o uso do Mathematica® passa por intermináveis linhas de códigos, que não possuem sentido algum para quem não trabalha com desenvolvimento e programação. Porém a linguagem do Mathematica® se aproxima bastante da linguagem humana, isto é, as palavras usadas para que o Mathematica® execute uma operação são, na maioria das vezes, palavras do cotidiano, lembrando que os comandos precisam ser escritos em inglês.

Caso o usuário tenha dúvidas sobre a escrita ou funcionamento de algum comando, o Mathematica® possui o menu *Ajuda*, com uma quantidade considerável de informações e exemplos. Ao escrever um programa, caso o usuário não encontre a funcionalidade que deseja, ele pode, segundo Wolfran (2003), procurá-la nos assim chamados “pacotes do Mathematica®”. Pacotes são bibliotecas de funções presentes na instalação padrão do programa ou que podem ser criados pelo usuário conforme sua necessidade. Um exemplo de pacote do Mathematica® é o *Miscellaneous'Units*'. Ao acessá-lo no início do programa, o usuário poderá atribuir unidades de grandeza aos números em suas operações matemáticas, o que pode ser bastante útil em simulações de Física.

Segundo Lima e Lima (2015), o Mathematica® pode ser empregado para resolver problemas matemáticos, visualizar e manipular informações de forma mais rápida, produzir e editar textos, apresentar os resultados das manipulações e controlar outros *softwares*

localmente ou em qualquer computador ligado à *internet* e, portanto, gerenciar equipamentos e processos industriais e de automação. Neste trabalho vamos nos deter a analisar as possibilidades de uso de três funcionalidades do Mathematica®: resolução de equações, plotagem de gráficos e elaboração de simulações computacionais.

Conforme Wolfran (2003), é possível realizar operações de cálculos tanto numéricos quanto simbólicos no Mathematica®. Dessa forma, a pessoa que fizer uso do programa terá a oportunidade de operar tanto expressões algébricas quanto numéricas. A título de conhecimento, no Mathematica® é possível trabalhar desde operações mais simples, tais como soma e produto, até operações mais complexas, como transformadas de Fourier. Isto confere ao Mathematica® uma grande versatilidade em modelagens matemáticas.

Um exemplo que chama a atenção do estudante é a operação de desenhar um gráfico a partir de uma função. Conhecendo a sintaxe do programa, basta que o usuário saiba que a palavra para ‘traçar’ uma curva é ‘plot’. Basta escrever o comando ‘Plot [f, {x, xmin, xmax}]’ e um gráfico em duas dimensões da função ‘f(x)’ será apresentado na tela do computador com x no intervalo entre xmin e xmax.

O Mathematica®, por padrão, escolhe as principais características do gráfico, tais como a escala, a espessura da linha, a cor e até como os eixos serão desenhados. Mas, segundo Wolfran (2003), nada impede que o programador customize o gráfico de suas funções, conhecendo os comandos corretos o usuário pode ter o desenho com o estilo que preferir. A opção de redesenhar dá ao usuário um certo poder nas decisões e, quando usado em contextos educacionais, o aluno se torna um agente ativo na busca e construção do conhecimento.

Ainda mencionando as ferramentas gráficas do Mathematica, Wolfran (2003) apresenta mais duas possibilidades de trabalho: os gráficos em três dimensões e os gráficos animados. Na primeira opção, usando os mesmos comandos que os gráficos em duas dimensões, o usuário pode ter uma visualização plena de gráficos de funções que possuem duas variáveis. O Mathematica® permite, portanto, que os alunos, especialmente, tenham uma visão do comportamento da função, diminuindo assim a necessidade de abstração no entendimento de algumas situações. Já os gráficos animados, funcionam como um filme: o programa “fotografa” a forma de uma curva dependente de um parâmetro e apresenta aos usuários cada “foto” de forma bastante rápida, dando a impressão que o gráfico está se movimentando.

Assim como na resolução de expressões algébricas o usuário pode fazer uso de pacotes para trabalhar com gráficos de formato específico, como pizza e barra. Para essa tarefa basta, segundo Wolfran (2003), fazer uso do pacote Graphics.

Em Física, modelos podem ser extremamente úteis, uma vez que, segundo Souza (2010), são representações de alguma coisa que deve ser funcional, facilitando a interpretação de um fato. Essa característica pode ser bastante útil no entendimento de conteúdos que exijam do aluno certo grau de pensamento abstrato.

Para tentar diminuir as dificuldades no entendimento de certos fenômenos físicos é possível utilizar, dentre outros recursos, experimentos no Laboratório de Ciências. Porém, segundo Germano e Vloger (2003), o uso de experimentos pode não atingir o objetivo educacional previsto devido a dois fatores principais: deficiências na aparelhagem e no local de realização do experimento e a possibilidade restrita de alterar parâmetros.

Germano e Vloger (2003) relatam a experiência do uso do Mathematica® no Instituto de Tecnologia da Aeronáutica (ITA). Na situação descrita, o *software* foi utilizado na resolução de problemas mais complexos. Além da resolução de equações cujas soluções não são triviais, o Mathematica® foi utilizado para a construção de gráficos em duas ou três dimensões.

Na próxima seção iremos detalhar algumas experiências em situações distintas. A primeira situação envolve a aplicação do *software* na percepção de fenômenos acústicos. Na segunda situação de aplicação do Mathematica®, teremos a apresentação dos resultados de uma metodologia de trabalho envolvendo a resolução de problemas e a elaboração de gráficos.

2.3.1. Principais comandos do Mathematica®

Não queremos transformar este trabalho numa espécie de manual ou tutorial do Mathematica®, entretanto consideramos importante apresentar ao leitor algumas das principais funcionalidades desse programa. Apresentaremos nos próximos parágrafos algumas ferramentas que possibilitam a realização de tarefas mais triviais, por exemplo, realização de operações matemáticas básicas e atividades mais complexas, como resolução de integrais e desenho de gráficos. Para cumprir tal finalidade utilizaremos como referencial o trabalho de Hassani (2003):

a) Comandos de entrada e saída

Como mostramos anteriormente, a tela inicial do Mathematica®, chamada de *notebook*, é a forma como usuário e máquina se comunicam. Sempre que o usuário quiser entrar com uma função a ser executada, este deve apertar as teclas *Shift* e *Enter* juntas.

Fazendo isso, o programa entende que precisa oferecer uma resposta. Sempre que o usuário der um comando, este ganhará a sua frente o símbolo *In []:=* e sempre que o programa retornar uma resposta será exibido o símbolo *Out []=*.

Por se tratar de um programa computacional com linguagem própria, algumas regras de escrita precisam ser observadas, caso contrário o Mathematica® não executará o comando. A Figura 3 ilustra alguns dos comandos básicos do Mathematica®.

Figura 3. Exemplos de comandos do Mathematica®.

Sqrt[x]	$\sqrt{x}$	Sin[x], ArcSin[x]	sine, its inverse
Exp[x]	e^x	Cos[x], ArcCos[x]	cosine, its inverse
Abs[x]	absolute value	Tan[x], ArcTan[x]	tangent, its inverse
n!	the factorial	Cot[x], ArcCot[x]	cotangent, its inverse
Log[x]	natural log	Log[b,x]	log to base b

Fonte: Hassini (2003)

b) Comandos algébricos

Uma das características mais importantes do Mathematica® segundo Hassini (2003) é sua habilidade de trabalhar a matemática de forma simbólica e não somente de forma numérica. O Quadro 1 mostra alguns dos comandos empregados para tal fim.

Quadro 1. Exemplos de comandos algébricos do Mathematica®.

Comando	Função
Factor[expr]	Escrever a expressão algébrica <i>expr</i> como produto de fatores algébricos mais simples (fatoração)
Simplify[expr]	Simplificar algebricamente <i>expr</i>
Together[expr]	Reunir todos os termos de uma expressão <i>expr</i> envolvendo frações sobre um único denominador comum
Apart[expr]	Separar algebricamente os termos de <i>expr</i> numa soma de frações

Fonte: Hassini (2003)

c) Comandos de Cálculo

O Mathematica® pode executar funções do cálculo diferencial e do cálculo integral que, se resolvidas manualmente, podem ser bastante trabalhosas. Apresentamos no Quadro 2 alguns dos comandos que podem ser utilizados para a resolução de limites, derivadas, integrais, dentre outros.

Quadro 2. Comandos de Cálculo.

Comando	Função
Limit[f[t], t->a]	Limite da função f(t) quando “t” tende a “a”
D [f, x]	Derivada parcial $\frac{\partial f}{\partial x}$
D [f, {x, n}]	Derivada parcial em n fatores
Integrate [f, x]	Integral indefinida $\int f \, dx$
Integrate [f, {x, a, b}]	Integral definida $\int_a^b f \, dx$
Sum [g, {i, m, n}]	Somatório $\sum_{i=m}^n g$

Fonte: Hassini (2003)

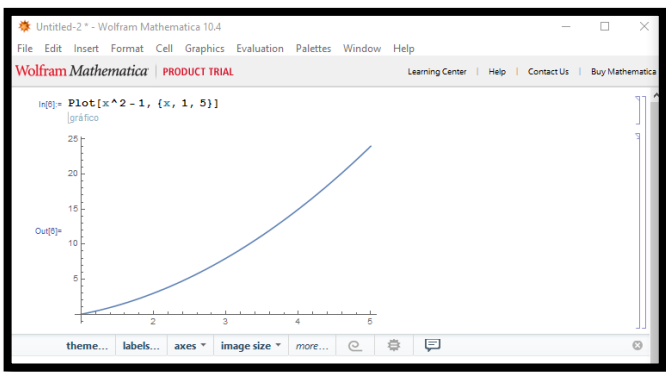
d) Gráficos

Segundo Hassini (2003), muitos dos resultados, tanto de cálculos numéricos quanto de matemática simbólica, podem ser representados por gráficos. O Mathematica® oferece ao usuário ferramentas para a construção de gráficos em duas e três dimensões. Veremos a seguir algumas das formas de desenhar gráficos utilizando o Mathematica®.

e) Gráficos em duas dimensões

Para desenhar um gráfico em duas dimensões da função f(x) num sistema de coordenadas cartesiano, podemos utilizar o comando: Plot[f[x], {x, a, b}]. Apresentamos um exemplo de utilização: Pedimos ao Mathematica® a execução do comando Plot para função f (x) = x²-1, onde x varia de 1 até 5:

Figura 4. Exemplo da função Plot.



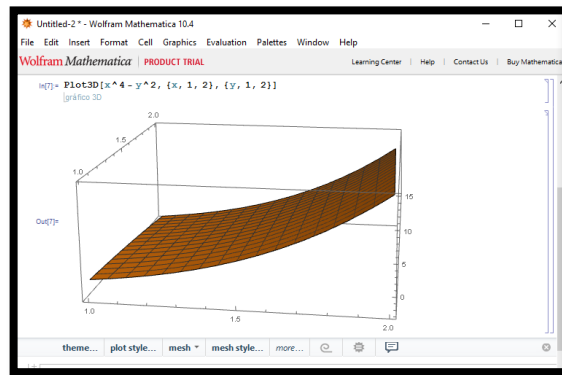
Fonte: próprio autor

a) Gráficos em três dimensões

Para desenhar um gráfico em três dimensões (superfície) no caso de uma função de duas variáveis f utilizando o Mathematica®, é necessário o comando: Plot3D [f [x, y], {x, a,

b}, {y, c, d}]. Apresentamos na figura abaixo um exemplo de aplicação deste comando para a função $f(x) = x^4 - y^2$.

Figura 5. Exemplo de uso do comando *Plot3D*.



Fonte: próprio autor

2.3.2. Aplicações do Mathematica®

Por que utilizar o Mathematica® em Física? Segundo Hassini (2003), uma das respostas para esta pergunta é que a Física é uma ciência que lida essencialmente com a resolução de problemas matemáticos. O Mathematica® não tem como meta substituir os métodos tradicionais de solucionar equações ou desenhar gráficos, mas surge como ferramenta auxiliar, capaz de oferecer ao usuário uma resposta mais rápida.

E as aplicações podem acontecer em diferentes áreas da Física. Tam (2008) nos apresenta uma série de problemas que podem ser resolvidos se forem aplicadas as ferramentas do Mathematica®. São problemas na área de Mecânica envolvendo movimento de projéteis, queda livre e movimento de pêndulos. Também encontramos problemas na área de Eletricidade, Magnetismo e Física Quântica.

Apresentamos os resultados obtidos por Bleicher *et al.* (2002) quanto à utilização do Mathematica® para simular efeitos de um fenômeno físico chamado batimento sonoro. Segundo os autores, umas das importantes características desse CAS é a possibilidade de trabalhar com manipulação simbólica de dados. Este recurso permite ao usuário visualizar resultados de uma forma bem mais exata, se comparada ao uso de métodos de tratamento de dados puramente numéricos. Esse fato permite o desenvolvimento de aplicações multimídias usando dados, o que se torna bastante útil no estudo das ondas sonoras, objetivo principal do seu trabalho.

O som, segundo Halliday *et al.* (1996), é uma onda mecânica gerada pela perturbação do ar causada por um instrumento. Dessa forma, a voz de uma pessoa só será ouvida por outra pessoa caso a primeira produza perturbações no ar e entre elas também exista algum meio para que essa onda se propague.

A onda sonora pode ser representada por meio de uma função senoidal (1):

$$y(t) = A \cdot \sin(2\pi f t + \varphi) \quad (1)$$

É nesse ponto que Bleicher *et al* (2002) começam a fazer uso das ferramentas do Mathematica®. Partindo da equação acima e dos conhecimentos prévios sobre fenômenos sonoros e utilizando a linguagem computacional do programa, os alunos puderam ouvir o som produzido por tais ondas matemáticas.

Não fica claro como eles desenvolveram as atividades que culminaram no uso do Mathematica® para simular o batimento de uma onda sonora, ou seja, os autores não mencionam como foi o planejamento da situação didática, como foi o manuseio do programa pelos alunos e suas dificuldades. Porém, a partir da leitura e interpretação de seu trabalho apresentamos alguns exemplos.

De início, usando a ferramenta Play e os comandos apresentados na expressão (2), o software ofereceu como saída o som audível de uma onda sonora para a nota Lá.

$$\text{Play}[\sin[440 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t], \{t, 0, 1\}] \quad (2)$$

Na expressão (3) são apresentados os comandos necessários para se ter o resultado da sobreposição de duas ondas com frequências de 278 Hz e 275 Hz.

$$\text{Play}[\{\sin[(278 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t)] + \sin[(275 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t)]\}, \{t, 0, 5\}] \quad (3)$$

Após a aplicação de técnicas matemáticas e utilização de um osciloscópio, os autores chegaram a uma equação de uma onda mais rica que uma onda senoidal simples. A equação dessa onda foi escrita no Mathematica® por meio de comandos próprios da linguagem computacional, para que os usuários do programa pudessem receber como saída o seu som:

$$\text{Play}\{[0.42 \cdot \sin[107.4 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t - 25] + 0.81 \cdot \sin[214.8 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t - 125] + \sin[322.3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t - 220] + 0.83 \cdot \sin[429.7 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t - 300] + 0.5 \cdot \sin[537.1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t - 376] + 0.17 \cdot \sin[644.5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t - 450]\}, \{t, 0, 5\}]$$

$$457] + 0.1 * \sin [751.9 * 2 * \pi * t - 272] + 0.19 * \sin [859.4 * 2 * \pi * t - 332] + 0.2 * \sin [966.8 * 2 * \pi * t - 702] + 0.1 * \sin [1074.2 * 2 * \pi * t - 678] \}, \{t, 0, 2\}] \quad (4)$$

Pedir que um aluno imagine o som de uma nota Lá ou montar e utilizar equipamentos que produzam sons em diferentes frequências e efeitos sonoros pode exigir do professor e do aluno um esforço muito grande. Por isso, Bleicher *et al.* (2002) destacam a possibilidade de se trabalhar conceitos de Física de uma forma mais concreta e simplificada, utilizando o Mathematica®. Outra vantagem em relação ao uso do *software* em sala de aula está na autonomia atribuída ao aluno, uma vez que ele pode modelar e interpretar efeitos acústicos e a possibilidade do professor trabalhar temas transversais em sala de aula, tais como aspectos artísticos da música.

Esse aspecto de promoção da autonomia do aluno também é defendido por Denardi *et al.* (2015):

Os *softwares* de computação algébrica, como o Maple e o Mathematica®, por exemplo, auxiliam as aplicações em Matemática, facilitando cálculos e manipulações algébricas complicadas. Isto possibilita que novas práticas de interpretação e de aprendizagem autônoma possam ser experimentadas, auxiliando no desenvolvimento da capacidade do indivíduo raciocinar diante de situações que envolvam a resolução de problemas expressos matematicamente (algoritmos, fórmulas, soluções estranhas, gráficos, etc.) (DENARDI *et al.*, 2015, p. 2)

Embora não tenham trabalhado diretamente com o Mathematica® e sim com o *software* Maple, é possível tecer algumas considerações sobre o trabalho de Denardi *et al.* (2015), uma vez que ambos os programas computacionais se assemelham quanto ao objetivo didático. Denardi *et al.* (2015) produziram um livro eletrônico denominado Laboratório de Física, no qual os alunos podiam criar um ambiente que integrasse a Física e o Cálculo numérico e disponibilizasse conteúdos, exemplos, exercícios e aplicações.

De forma mais específica, os alunos do grupo amostral de Denardi *et al.* (2015) trabalharam com conteúdos de Cinemática envolvendo movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). Após procedimentos para cálculo de variáveis e elaboração de gráficos de movimento, os autores concluíram que é possível promover uma integração entre a Matemática e a Física na cooperação dos alunos para elaboração de material didático. Denardi *et al.* (2015) consideram que os currículos dos cursos de ensino superior devem ser orientados para reforçar atividades nas quais o aluno pode se inserir num contexto de autonomia e

pesquisa, criando dessa forma um senso de responsabilidade na formação do futuro profissional.

Lima e Lima (2015) citam como objetivos do Mathematica®, quando aplicado em situações de ensino e aprendizagem, o estímulo que pode despertar nos alunos o interesse pelo desenvolvimento de projetos de pesquisa e a descoberta de novas alternativas para a resolução de problemas que são normalmente apresentados de forma estática e sem nenhum atrativo.

Lembramos também o trabalho conduzido por Silveira (1998), na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Embora em seu trabalho o autor não tenha se envolvido com problemas de Física, ele nos ajuda a entender como se deu o uso do programa, qual a receptividade dos alunos e quais os pontos positivos e negativos da utilização de tal ferramenta pedagógica.

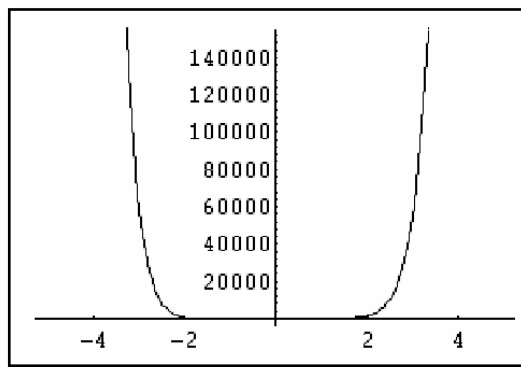
Silveira (1998) divide a pesquisa em quatro grupos; A, B, C e D. Os grupos A e D eram formados por alunos do curso de Licenciatura em Matemática da PUCRS, o grupo B por alunos do ensino médio e o grupo C por professores de Matemática do ensino médio. Aqui nos concentraremos nos resultados obtidos com os grupos A e D, por estarem mais próximos da realidade de nossa pesquisa.

Os encontros para o desenvolvimento das atividades aconteceram durante um semestre letivo e tiveram como objetivo ambientar os alunos com o Laboratório de Informática, apresentar o Mathematica® e introduzir as funcionalidades do programa por meio de atividades dirigidas. Como o trabalho foi desenvolvido com alunos do curso superior em Matemática, as atividades tiveram como base problemas envolvendo a resolução de expressões algébricas e elaboração de gráficos, de forma que os alunos começaram a resolver problemas mais simples e, à medida que os encontros iam acontecendo, a complexidade das questões aumentava.

Uma das atividades aplicadas por Silveira (1998) pedia que os alunos construíssem o gráfico da função $f(x) = x^{10} - x^9 + 8x^7 - 45$. Utilizando o comando Plot os alunos obtiveram do programa o gráfico apresentado na Figura 6. Os mesmos também teriam que fazer uma análise do comportamento do gráfico.

$$\text{Plot}[x^{10}-x^9+8x^7-45, \{x,-4,4\}] \quad (5)$$

Figura 6. Gráfico obtido no Mathematica® para a função $f(x) = x^{10} - x^9 + 8x^7 - 45$.



Fonte (Silveira, 1998)

Após uma leitura do texto de Silveira (1998), é possível tecer as seguintes considerações a respeito dos resultados obtidos durante a pesquisa com os grupos A e D:

a) Domínio das funções do computador

Percebeu-se por meio de questionário que a maioria dos alunos envolvidos na pesquisa dominava o uso do computador e fazia uso da máquina em atividades do cotidiano. Tal conclusão é importante para o andamento das atividades, uma vez que o uso do Mathematica® requer do usuário certa habilidade em ferramentas computacionais, por envolver a utilização de uma linguagem própria de programação e caminhos não triviais para a operação da máquina, ou seja, utilizar o Mathematica® não é algo tão intuitivo quanto o uso da *internet*.

b) Falta de conhecimento em Matemática

O computador é uma ferramenta. Embora os *softwares* existam para ajudar o usuário na resolução de problemas, inclusive o Mathematica®, é preciso alimentá-los com informações corretas, ou seja, a entrada de informações precisa ser coerente, tanto conceitualmente quanto na linguagem requerida pelo programa, para que a saída da informação fique correta.

Esse fato demonstra que o computador e o Mathematica® podem auxiliar na resolução e entendimento de problemas. Entretanto, é preciso ter uma base de conhecimentos prévios consolidados para que os resultados sejam obtidos e interpretados da forma correta. Para que isso aconteça de forma satisfatória, um bom planejamento das atividades didáticas e a

presença do professor em todas as práticas foram essenciais para promover a discussão e assim construir o conhecimento de forma satisfatória.

c) Uso da linguagem de programação

O uso do Mathematica® requer, além de habilidades do uso da máquina, o conhecimento da linguagem própria do *software*. Por exemplo, para desenhar o gráfico de uma função $f(x)$ qualquer é preciso usar o comando Plot. Sem essa instrução, o Mathematica® nada fará. E, por ser algo novo, alguns alunos demonstraram dificuldade em certas operações que a envolviam. Os erros podem acontecer por dois motivos principais: ou o aluno utiliza uma sintaxe errada e o programa não reconhece o comando e, desta forma, não o executa, ou o usuário utiliza a sintaxe correta, mas comete erros na escrita da função, por exemplo, utiliza os parênteses, que tem a função de atribuir hierarquia nos termos, de forma incorreta.

Nesse caso, o Mathematica® irá gerar o que o comando requer, mas em desacordo com a formulação matemática, exigindo do aluno conhecimento prévio sobre o que está sendo trabalhado, para que detecte o erro e o corrija.

d) Resultados positivos na aprendizagem

Após a utilização do Mathematica®, Silveira (1998) fez um levantamento do sucesso dos alunos numa disciplina do curso de Licenciatura em Matemática, no qual os assuntos trabalhados durante a pesquisa eram utilizados. Foi constatado que a maioria dos alunos aprovados tinha participado dos encontros. Levando a conclusão de que a utilização do computador e do Mathematica® foi importante na promoção da aprendizagem desses alunos.

O trabalho de Santos *et al.* (2016) também nos traz revelações importantes sobre o uso do Mathematica®. Reafirmando o grande esforço para abstrair certos fenômenos físicos, os autores citam como estratégias para diminuir essa dificuldade o uso de animações e simulações. Utilizando o Mathematica® eles simularam ondas eletromagnéticas se propagando, atravessando polarizadores e meios opticamente ativos. De início, os autores relatam a dificuldade em retratar ondas eletromagnéticas; em livros didáticos, estas são representadas por figuras estáticas que pouco simbolizam a realidade. Utilizando os comandos *Graphics3D*, *Tube*, *Arrow*, *Arrowheads* e *Export* foram criadas quatro animações: para a propagação da luz não polarizada, para a propagação da luz não polarizada passando por um

polarizador, para a propagação da luz não polarizada através de dois polarizadores e para propagação da luz não polarizada através de dois polarizadores e meio com atividade óptica.

Após a elaboração das imagens, elas foram utilizadas em aulas com alunos do terceiro ano do ensino médio. Santos *et al* (2016) concluíram que após o uso desses recursos o tema propagação da luz foi mais bem compreendido. Os autores citam ainda que os alunos se mostraram motivados quando comparado em situações de ensino tradicional, que utilizam somente a lousa e o livro didático.

Nos trabalhos apresentados nesta seção percebemos que o Mathematica® foi utilizado na resolução de problemas e observação de fenômenos físicos. Saber fazer uso de suas funcionalidades é parte essencial do sucesso de seu uso. É um *software* que requer uma linguagem de programação própria, conhecimento que muitos alunos podem não possuir, então se faz necessário que o professor domine as ferramentas e os comandos do programa e os repasse para os alunos com a finalidade de diminuir as adversidades durante as práticas.

A seguir passamos para a apresentação da teoria de aprendizagem que fundamenta este trabalho. O Mathematica® é uma ferramenta, um instrumental pedagógico que pode perder sentido se mal utilizado, se não tiver o suporte de metodologias de ensino que auxiliem o professor a promover uma aprendizagem significativa e um sistema avaliativo condizente com os métodos adotados durante as aulas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O ensino de Física, pelas orientações do Ministério da Educação (MEC), deve passar longe de um ensino memorístico. Equações e teorias fazem parte do currículo, mas de que adianta entender todas as variáveis de uma equação se ao fim da aula o aluno se pergunta: “Onde vou usar isso?” Por esse motivo é importante que o professor esteja atento à sua prática pedagógica, evitando que os alunos sintam repulsa pela Física.

Neste capítulo iremos apresentar as considerações sobre a teoria do aprendizado que fundamenta este trabalho: a teoria da aprendizagem significativa (TAS) de David Ausubel. Também será apresentado o conceito de mapa conceitual e como ele pode ser uma ferramenta

tanto de construção de uma aprendizagem significativa, quanto um instrumento de avaliação dessa mesma aprendizagem.

3.1. A Teoria da Aprendizagem Significativa

A ação na aprendizagem ou a aprendizagem em ação? Qual a importância de termos alunos com atitudes ativas em sala de aula? Que situações didáticas pedem condutas ativas dos alunos? Ensinar e aprender são essenciais em qualquer ambiente educacional. Para que isso ocorra de forma satisfatória, vários fatores precisam ser gerenciados tanto pelo professor quanto pelo aluno ou qualquer outra pessoa que faça parte da comunidade escolar. As pesquisas em educação mostram que muito se tem feito para tentar maximizar a aprendizagem do aluno. Diversas teorias foram elaboradas e testadas ao longo dos anos e cada uma possui seus pontos fortes e dificuldades de implementação.

Determinar a teoria de aprendizagem que melhor se adequa à rotina de sala de aula deveria ser uma das tarefas do professor. Somente ele, com todo o conhecimento das particularidades de seus alunos, pode decidir qual caminho pedagógico irá trilhar. Neste trabalho iremos explorar a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David Ausubel.

Segundo Queiroz (2016), a TAS faz parte do grupo de teorias denominadas teorias cognitivistas, as quais se preocupam em entender como se dá a organização e integração de novos conhecimentos na mente do aluno. Essa ideia também é defendida por Cardoso (2003), que destaca como pontos importantes da TAS:

- a) Caráter cognitivo: uma vez que a aprendizagem significativa só ocorrerá se houver uma ligação entre o novo conhecimento e o que o aluno já possui de informação sobre o que está sendo aprendido;
- b) Caráter aplicado: a sala de aula é um centro social de aprendizagem, e é nesse ambiente, utilizando linguagem própria, por exemplo, fala, escrita e matemática, que o aluno irá criar e desenvolver sua rede cognitiva.

De Lima (2008) nos fala que o professor e o aluno assumem papéis diferentes na aprendizagem cognitiva desenvolvida por Ausubel, em comparação com teorias de ensino tradicionais. O professor tem o papel de orquestrar o ensino, é ele que traça metas, que seleciona e organiza conteúdos, aplica exercícios e promove a avaliação. O aluno participa

como agente ativo na construção do conhecimento, ou seja, há um protagonismo do aluno, procura-se a valorização de suas ideias, enquanto o professor passa a ter o papel de elevá-las a patamares superiores para que o aluno, à medida que avança no ciclo escolar, construa uma rede de conhecimentos mais sólida e com significado.

Mas, como ocorre a aprendizagem? Ausubel é um representante do cognitivismo e, segundo Moreira e Masini (2001), ele defende a ideia que a aprendizagem ocorre a partir da organização e integração de material à estrutura cognitiva. Assim, para o aluno sair da condição de receptor, aquele que somente concebe como verdade o que o professor repassa e não tem a capacidade de arguir sobre o que é certo e errado, é preciso que o novo material interaja com claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Conforme os autores, essa interação se dá a partir do momento que o sujeito se confronta com o objeto pela primeira vez. Ao se colocar diante do novo, o aluno buscará sua identificação. Dar significado a algo é uma condição inerente ao homem, uma vez que diante de uma quantidade enorme de informações que ele recebe diariamente é preciso selecionar, classificar e reter aquilo que for de seu interesse.

Os cognitivistas sustentam que aprendizagem de material significativo é, por excelência, um mecanismo humano para adquirir e reter a vasta quantidade de ideias e informações de um corpo de conhecimentos. A posse de habilidades que tornam possível a aquisição, retenção e aparecimento de conceitos na estrutura cognitiva, é que capacitará o indivíduo a adquirir significados. (Moreira e Masini, 2001, p. 5).

Quando um professor escolhe desenvolver seu trabalho tendo como base os preceitos da TAS, uma pergunta deve fazer parte de seu planejamento: o que o meu aluno já sabe? Essa pergunta de poucas palavras e resposta complexa é, segundo Moreira e Masini (2001), a base para a teoria, uma vez que, como disse Ausubel (1968), a aprendizagem é um processo pelo qual o novo se relaciona com uma estrutura já existente. Fazendo uma analogia, o conhecimento seria uma corrente, e cada conceito ou nova informação formaria um elo a ser acrescentado a ela. A esses elementos, ou seja, a esses conhecimentos prévios que o aluno possui e que ajudam a ancorar novos conceitos, Ausubel chamou de subsunçores.

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso seus ensinamentos (AUSUBEL *apud* de LIMA, 2008, p. 12).

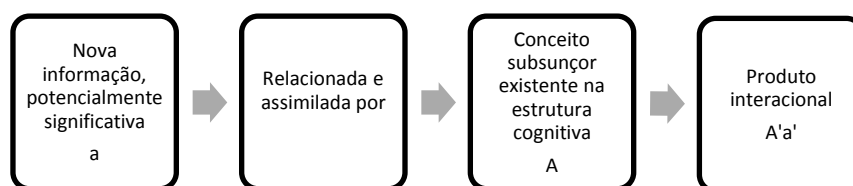
Alunos que desenvolvem conhecimentos de forma significativa terão as ideias alocadas por mais tempo na rede cognitiva e de maneira mais estável, enquanto que na

aprendizagem mecânica os conceitos não se relacionam com nenhum conceito anteriormente existente, ou seja, as informações são memorizadas e logo perdem espaço para outras informações. A partir do que propõe Lima (2008), podemos pensar que a TAS e a aprendizagem mecânica são dicotômicas e que nunca se relacionam. Mas, segundo Moreira e Masini (2001), é a partir da aprendizagem mecânica que podem surgir os subsunçores da aprendizagem significativa. Ora, se o indivíduo se depara com uma área totalmente nova, ele irá construir elementos de conhecimento a partir de lições mecânicas, tais como a repetição, até que estas estruturas fiquem mais elaboradas e possam servir de âncoras para novas estruturas.

A partir da formação dessa estrutura primária, a aprendizagem significativa passa a acontecer, desde que, segundo Ausubel (1968), o novo conhecimento se relacione com a estrutura já existente e que o aluno esteja disposto a fazer essa relação. Um material, para ser ancorado, deve ser logicamente significativo, suficientemente não arbitrário e não aleatório (MOREIRA; MASINI, 2001, p. 23). Lima (2008) afirma que materiais que apresentam um grau de abstração e de inclusividade, por exemplo, um texto introdutório ou um filme, podem funcionar como elementos de ligação entre os conceitos.

Após a formação da ideia inicial de subsunçor, surgem duas hipóteses para a aquisição de conceitos: a assimilação e a formação. Na hipótese da assimilação o aluno adquire e organiza significados na sua estrutura cognitiva. Moreira e Masini (2001) mostram, por meio da estrutura desenhada na Figura 7, como é possível entender o processo de assimilação.

Figura 7. Esquema representativo do processo de assimilação.



Fonte: adaptado de Moreira e Masini (2001).

No processo de assimilação, o novo conceito “a” se relaciona ao conceito já existente na estrutura cognitiva do aluno, “A”. Após essa relação, os dois conceitos passam a ser um produto de informações modificadas, isto é, nem o conceito original nem o subsunçor terão a mesma configuração na estrutura cognitiva e permanecerão relacionados.

Esse processo de assimilação de novos conceitos pode, segundo Ausubel (1968), ser facilitado pelo princípio da diferenciação. A ideia de Ausubel é explicar como organizar a forma como os conceitos podem ser propostos com a finalidade de aumentar o grau de significância da aprendizagem. Para isso, os conceitos mais gerais devem ser apresentados primeiro, para só então serem detalhados ou especificados.

Ausubel baseou sua ideia do princípio da diferenciação segundo duas hipóteses: a) é mais fácil para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir de suas partes diferenciadas; b) a organização do conteúdo de uma certa disciplina, na mente de um indivíduo, é uma estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados. (MOREIRA; MASINI, 2001, p.29-30).

Já na hipótese da formação de conceitos, estes são adquiridos por meio de experiências empírico-concretas. Segundo Ausubel *apud* Moreira e Masini (2001), a aprendizagem por descoberta envolve uma série de processos, quais sejam:

- a) Análise das diferentes formas de estímulo;
- b) Proposição de hipóteses a partir de elementos que se relacionam;
- c) Teste dessas hipóteses em diferentes situações;
- d) Seleção das hipóteses que melhor se enquadram num conjunto de atributos;
- e) Relação desses atributos com a estrutura já existente na rede cognitiva;
- f) Diferenciação do novo conceito em relação a conceitos previamente aprendidos;
- g) Representação do novo conteúdo por meio de um símbolo.

Essa aquisição de conhecimentos, seja por assimilação ou por formação, pode ser facilitada de duas formas: substantivamente ou programaticamente. No primeiro caso, os conteúdos são organizados de forma a oferecer uma estrutura organizacional e interativa dos conceitos. As ideias são selecionadas a fim de não sobrecarregar o aluno com informações desnecessárias. Na forma programática, os conceitos são ordenados seguindo uma sequência. Para fazer esse sequenciamento de conteúdos, Ausubel *apud* Moreira e Masini (2001) mencionam a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Na diferenciação progressiva os conteúdos mais gerais são apresentados primeiro e à medida que os assuntos vão sendo incorporados, os mais específicos serão apresentados. Segundo Moreira e Masini (2001), a diferenciação progressiva é a forma natural do ser humano aprender.

Na reconciliação integrativa há, de acordo com Moreira e Masini (2001), uma tentativa de fazer relação entre os conceitos. O professor trabalha com as similaridades e diferenças entre as proposições.

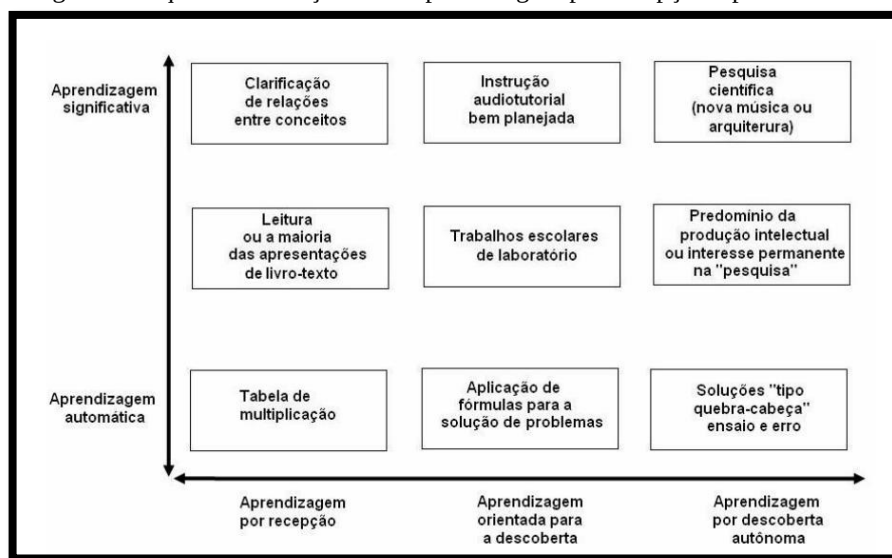
A organização dos conteúdos está relacionada ao entendimento do que está sendo ensinado, ou seja, o entendimento de assunto se dará de forma efetiva se o tema anterior tiver sido consolidado na rede cognitiva. Moreira e Masini (2001) nos orientam sobre como preparar uma aula potencialmente significativa. Conforme estes autores, após a escolha da matéria a ser ensinada, o professor separa os conceitos gerais dos específicos, ou seja, promove uma identificação e uma consequente hierarquização conceitual. De Lima (2008) corrobora as ideias de Moreira e Masini (2001) no tocante ao ensino, nos mostrando que:

- a) O ensino é um meio pelo qual a aprendizagem é favorecida;
- b) Ensinar envolve planejamento, a situação do ensino e a avaliação;
- c) É preciso conhecer a natureza do conhecimento prévio;
- d) O material utilizado nas aulas precisa ser potencialmente significativo;
- e) As ideias centrais devem ser selecionadas e ser o ponto de partida para ideias mais específicas;
- f) É preciso conhecer a interação do aluno com o conhecimento em diferentes momentos educativos;
- g) O professor precisa criar situações em que o aluno se sinta à vontade para expor suas ideias;
- h) A avaliação precisa ocorrer em todo o ensino;
- i) O aluno precisa estar ciente das suas funções a fim de agir como construtor do conhecimento.

Logo após a escolha e organização da metodologia mais adequada, o professor promove o ensino dos conteúdos selecionados. Nesta etapa é importante destacar que a promoção da aprendizagem pode ocorrer por recepção ou por descoberta. Em ambos os casos ela pode ser significativa ou não. Logo em seguida o professor avalia o crescimento cognitivo do aluno, utilizando métodos também significativos.

Ainda focando na aprendizagem do aluno, de Lima (2008) nos fala que, na aprendizagem por recepção, o aluno já recebe as informações prontas, enquanto na aprendizagem por descoberta o aluno identifica e seleciona as informações de que necessita. Acabamos de ver um esquema proposto por Moreira e Masini (2001) para favorecer uma aprendizagem significativa nos moldes de Ausubel. Apresentamos agora, na Figura 8, um esquema de relação entre atividades e uma possível criação de rede cognitiva significativa.

Figura 8. Esquema de relação entre aprendizagem por recepção e por descoberta.



Fonte: de Lima, 2008.

De Lima (2008) nos mostra que um mesmo tipo de aprendizagem pode desempenhar papéis diferentes, podendo ser significativa ou mecânica (esta última também chamada pelo autor de automática). Por exemplo, o esclarecimento de um conceito, quando o professor se utiliza de uma aula teórica para fazer definições de teorias, e a utilização de uma tabela de multiplicação, ambos são atividades receptivas onde o aluno recebe a informação de forma pronta. Elas podem, contudo, produzir efeitos diferentes: a primeira podendo levar, segundo a figura, a efeitos significativos, enquanto a segunda atividade causa aprendizagem mecânica.

Podemos resumir a visão de Ausubel por meio dessa figura com o seguinte pensamento: nem toda aprendizagem por recepção é mecânica e nem toda aprendizagem por descoberta é significativa. Tal fator depende do material utilizado nas aulas.

A aprendizagem receptiva se apresenta de três formas: representacional, proposicional ou receptiva significativa. Segundo de Lima (2008), a aprendizagem representacional é aquela na qual o aluno faz associação simbólica primária, isto é, o aprendiz relaciona um objeto a um

determinado símbolo. Em Física, esse fato estaria mais próximo do reconhecimento de uma linguagem matemática própria para representar uma lei ou teoria.

Na aprendizagem receptiva proposicional, o aluno precisa de conhecimentos prévios para ir além do reconhecimento e utilização de símbolos. Ela pode ser subordinativa, quando as novas ideias são mais específicas do que as que o aluno já possui; superordenada, quando a nova ideia é mais geral que a ideia presente na rede cognitiva do aluno; combinatória, quando o novo conteúdo nem é exemplo daquilo que já existe e nem é generalização, mas sim um conjunto de conteúdos presente na rede cognitiva. E, por fim, a aprendizagem receptiva significativa que, segundo De Lima (2008), permite que o aluno retenha um grande acervo de conhecimento como, por exemplo, a aprendizagem de uma nova língua estrangeira.

De que maneira podemos saber se o aluno está realmente dando ao novo material um significado? Fazer testes, provas e ser arguido são coisas que fazem parte da rotina de muitos estudantes. Todos esses instrumentais servem, dentre outras coisas, para averiguar o nível de aprendizagem do estudante. Ocorre que, de tanto praticar, os alunos, segundo Ausubel (1968), passam a memorizar exemplos, explicações e criam métodos de resolução de problemas. Diante desse cenário, Ausubel propõe que os alunos sejam levados a um novo universo de avaliação. Nesse novo campo o aluno é colocado diante de questões novas, exigindo que eles busquem em suas estruturas cognitivas a transformação do conhecimento.

É nesse ponto que fazemos uma ligação com o ensino de Física. Os organizadores prévios, como visto anteriormente, são pontes entre aquilo que o aluno já sabe e o que está aprendendo. Segundo De Lima (2008), uma das atividades-chave da Física é a resolução de problemas que dependem de forma direta dos conceitos aprendidos e dispostos na memória do aluno. Desta forma, ao se deparar com uma situação nova e desafiadora, o aluno de Física terá que resgatar elementos relevantes que o ajudem na tarefa de solucionar problemas envolvendo fenômenos físicos, tal fato se adequa ao pensamento de Ausubel sobre a importância de desenvolver uma rede cognitiva não arbitrária, quando o conhecimento se relaciona com ideias relevantes na rede cognitiva do aluno e não literal, isto é, o que é incorporado à estrutura cognitiva do aluno é a ideia e não a palavra que a representa.

Moreira e Masini (2001) nos apresentam dois exemplos de atividades avaliativas para uma aprendizagem significativa. O primeiro é a reformulação da escrita de problemas. Ao elaborar as sentenças dos problemas o professor pode utilizar construções gramaticais não habituais e também apresentar os problemas de forma não direta, ou seja, eliminar de suas avaliações questões do tipo “calcule”, “resolva” ou “elabore”. A segunda é pedir ao estudante que resolva uma questão de conhecimentos sequenciados, ou seja, para obter uma resposta, o

aluno deve percorrer um caminho cognitivo, no qual uma tarefa só pode ser executada com o domínio perfeito da precedente.

Segundo Novak (1984), Ausubel, mesmo tendo se dedicado de forma intensa a aprendizagem significativa, não ofereceu aos professores um instrumento que pudesse avaliar a aprendizagem do aluno. É nesse cenário que Novak sugere o uso dos mapas conceituais, como uma forma do aluno exteriorizar o que já sabe, estabelecendo assim uma comunicação com sua rede cognitiva e favorecendo o diagnóstico do professor.

3.2. Mapas conceituais

Outra explicação para a formação de subsunçores vem das ideias de Novak, contemporâneo de Ausubel. Ele nos fala que a aprendizagem, isto é, a formação de novos conceitos, se dá através de processos de assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação de conceitos.

Novak (1984) defende a ideia de que o conhecimento é construído e que a descoberta é apenas uma das ações envolvidas na criação e desenvolvimento de um novo conhecimento. Entender como ocorre o processo de aprendizagem é algo bem complexo. Segundo Schwab *apud* Novak (1984), uma experiência educacional envolve quatro elementos: o professor, o aluno, o currículo e o meio. Cada um desses sujeitos possui um papel e todos possuem o mesmo nível de importância para a construção do conhecimento.

O professor é responsável pela tomada de decisões quanto às atividades que serão conduzidas, a escolha da metodologia que melhor se enquadra nas ações pedagógicas e a ordem que esses conteúdos serão trabalhados, para que ocorra o desenvolvimento satisfatório da aprendizagem. Como afirma Ausubel (1968) sobre sua teoria da aprendizagem significativa, um dos pontos essenciais para que o aluno possa criar e desenvolver uma rede cognitiva é sua escolha pela aprendizagem, ou seja, o aluno precisa querer aprender. O currículo compreende toda a parte dos conhecimentos que serão desenvolvidos, preconizando atividades potencialmente desenvolvedoras. O professor fará suas escolhas pedagógicas e assim ambos, professor e currículo, cumprirão seu papel na educação. O meio é o ambiente no qual se dá a troca de experiências entre professor e aluno.

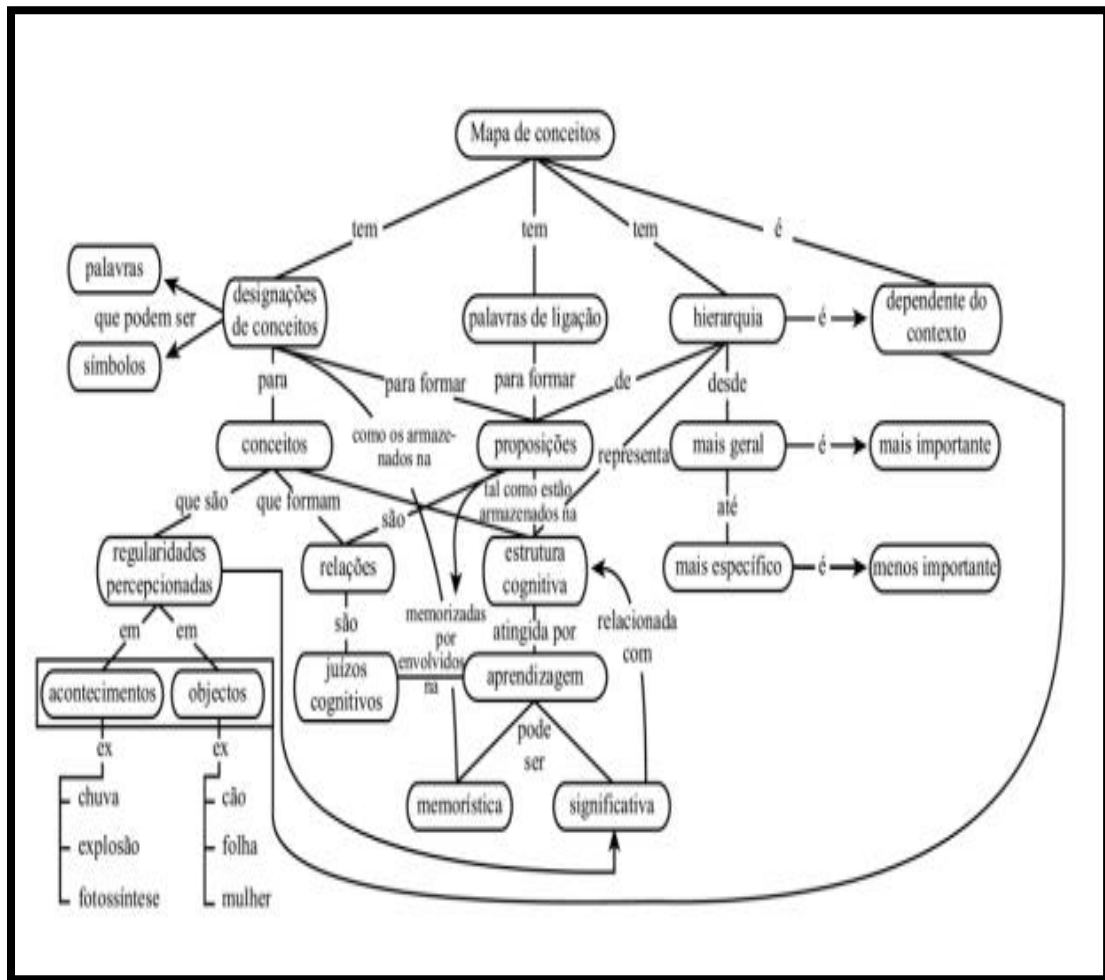
Novak (1984) destaca que suas pesquisas têm como foco a sala de aula e que, diferentemente dos psicólogos que estudam a aprendizagem em laboratórios com todas as condições controladas, ele prefere se basear na rotina em sala de aula. Embora seja algo mais

complexo, dadas as particularidades que o ambiente escolar possui, a preferência se dá pela maior proximidade da realidade. Os mapas conceituais surgiram como resultado desses estudos acerca da aprendizagem.

Os mapas conceituais têm por objetivo representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Proposições são, segundo Novak (1984), dois ou mais termos ligados por palavras de modo a formar um sentido semântico. Portanto, mapas conceituais são estratégias de comunicação, onde se atribuem sentidos a conceitos por meio de uma rede de caminhos.

Novak (1984) nos diz que, para um mapa ser usado como ferramenta de uma aprendizagem significativa, ele deve ser organizado de forma hierárquica, uma vez que esse tipo de aprendizagem ocorre de forma satisfatória quando os novos conceitos são englobados por outros mais amplos. Esta hierarquia que Novak nos fala não implica em afirmar que alguns conceitos são mais importantes do que outros. Ele afirma que num mapa conceitual os conceitos mais gerais devem estar situados no topo e os conceitos mais específicos devem ser colocados mais abaixo. Ele também aconselha que na base do mapa estejam presentes exemplos que ilustrem os conceitos anteriores. Na Figura 9 é mostrado um exemplo de mapa conceitual:

Figura 9. Exemplo de mapa conceitual.



Fonte: Novak, 1984.

Segundo Novak (1984), mapas conceituais possuem importância dentro do processo de aprendizagem por serem fontes de manifestação de conceitos, ou seja, por permitirem que a pessoa que os usa, professor ou aluno, tenha a oportunidade de expressar por meio de ligações preposicionais pontos de vista sobre um determinado assunto, podendo inclusive criar novas combinações, isto é, novas relações entre conceitos que até então passariam despercebidos.

Outra função prevista por Novak (1984) para os mapas conceituais é a troca de experiências entre as pessoas. Diferente da educação tradicional, em que o professor ou o livro didático estão sempre corretos e possuem todo o conhecimento que é preciso inferir, mapas conceituais seguem uma linha mais progressista, no sentido de que uma ideia pode ser compartilhada, discutida, negociada e, por vezes, capaz de conduzir a práticas sociais.

Mapas conceituais (MC) são ferramentas pedagógicas e, como tais, precisam ser apresentadas aos alunos, para que estes se familiarizem e possam tirar maior proveito quanto ao seu uso. Novak (1984) nos fala em estratégias de introdução de MC, ou seja, um roteiro de

sugestões que o professor pode seguir. Ele divide essas instruções em três faixas: crianças entre o 1º e 3º anos do ensino básico, crianças entre o 3º e 7º anos do ensino básico e pessoas acima do 7º ano do ensino básico até o ensino universitário. É nessa última fase que iremos nos concentrar, dadas as particularidades desta pesquisa.

A estratégia para introdução de MC no ensino é dividida em atividades preparatórias, que têm como objetivo fazer o aluno reconhecer o conceito e aprender a associá-lo, e a fase da aplicação propriamente dita do mapa. São sugestões de atividades introdutórias:

- a) Criar atividades associativas. Neste exercício o aluno precisa associar o nome de um objeto ou fenômeno à sua descrição;
- b) Desenvolver atividades mentais. O aluno deve ser indagado sobre um determinado tema e lhe deve ser pedido que escreva tudo o que conhece sobre o que foi perguntado. Assim o professor estará resgatando os conhecimentos prévios e introduzindo o significado de conceito;
- c) Atribuir sentido às palavras de ligação. Essas palavras podem ser verbos de ligação, preposições, advérbios, e farão o elo entre os conceitos, fazendo com o que o aluno consiga utilizar o MC de forma satisfatória. O professor precisa explicar a sua importância e qual a melhor forma de utilizá-las;
- d) Dar exemplos. Construir exemplos de proposições, ou seja, utilizar conceitos e palavras de ligação, como forma do aluno perceber como se dá significado aos conceitos. Também nesse exercício pode ser pedido ao aluno que construa frases diferentes utilizando os mesmos conceitos. Revelando dessa forma o professor estará mostrando que não há uma rigidez na construção de significado;
- e) Realizar exercícios. Esses exercícios podem ter diferentes níveis de complexidade, desde que orientem o aluno a descobrir conceitos e dar significado a eles.

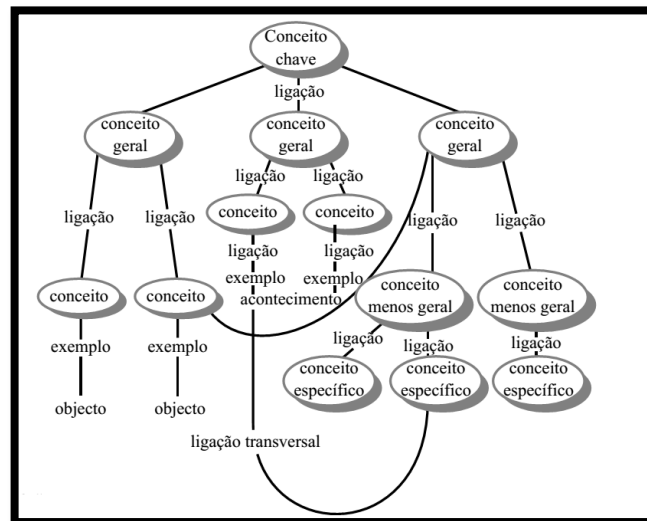
Após os exercícios introdutórios o aluno é levado a conhecer, ler e construir MCs. Seguem algumas instruções de Novak (1984):

- a) Com o auxílio de textos, o professor pode pedir que os alunos identifiquem todos os conceitos e selecionem o principal;
- b) A partir dessa escolha, o conceito é colocado no topo de uma lista e os demais vão sendo acrescentados respeitando o nível de generalidade, ou seja, conceitos mais gerais ocupam o topo;

- c) Com o auxílio das palavras de ligação, os conceitos da lista podem ser interligados, formando o MC;
- d) Após a elaboração do mapa, o aluno deve revisar o que produziu, a fim de verificar possíveis inconsistências, melhorar a simetria ou qualquer outra tarefa que torne o mapa um instrumento útil na aprendizagem. Nessa etapa, Novak (1984) nos sugere fazer algumas perguntas: a relação de significado dos conceitos é válida e está unida por meio de uma linha? Os critérios de hierarquia foram respeitados, ou seja, acima de um conceito mais inclusivo há um mais geral? Há exemplos válidos?

Todo esse cuidado na elaboração de um MC visa aumentar seu caráter significativo. Segundo Tavares (2005), o desdobramento de um conceito central em conceitos menos abrangentes faz com que as ideias sejam mais bem elucidadas e assim possa ocorrer uma diferenciação progressiva. Na Figura 10 é ilustrado um exemplo de como um MC pode ser construído.

Figura 10. Representação para a construção de um mapa conceitual.



Fonte: Novak, 1984, p.53

Tomando como referência a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, Novak (1984) relata algumas vantagens da utilização de MC como instrumento de ensino e aprendizagem, dentre elas:

- a) Exploração do que os alunos já sabem: Ausubel (1968) destaca a importância dos conhecimentos prévios para uma aprendizagem significativa. É a partir desses conceitos que o aluno irá criar sua rede cognitiva, uma vez que os novos conhecimentos precisam de ancoradouro para se firmar. Nesse contexto, o MC funciona como uma ferramenta de avaliação diagnóstica, proporcionando ao professor conhecer o que o aluno detém de conhecimento sobre um determinado assunto e, assim, direcionar suas atenções de uma forma mais incisiva. Novak nos informa que para utilizar MCs como forma de investigação inicial acerca do conhecimento é necessário: selecionar com cuidado os conceitos, auxiliar o aluno na busca dos conceitos afins à sua rede cognitiva, na elaboração das proposições e quanto ao entendimento do que seria um conceito mais geral e um outro mais específico;
- b) O traçado de um roteiro de aprendizagem: MCs ajudam o aluno a atribuir significado aos conceitos. Para isso é suficiente que ele siga uma das rotas traçadas pelo mapa. Essa estratégia pode ser utilizada para ler artigos (tarefa que exige do aluno a seleção das principais informações do texto, para depois dar-lhes significado), e também na elaboração de textos e apresentações, nos quais o aluno irá construir uma linha de raciocínio que faça sentido;
- c) Extração de significados dos livros-texto: ler é uma das habilidades fundamentais a serem desenvolvidas pelo estudante e os MCs podem ajudar a abordar determinados assuntos do curso, facilitando a leitura e o entendimento dos conceitos;
- d) Extração de significado de trabalhos em laboratório: muitas das vezes o aluno, ao realizar uma atividade no laboratório, não encontra sentido no que está fazendo. Segundo Herrigel *apud* Novak (1984), haveria mais sucesso se os conceitos fossem entendidos e utilizados para compreender os objetos. Assim, o MC surge como uma ferramenta de organização do pensamento. Roteiros de laboratório muitas vezes são receitas com indicações do tipo “faça isso”, “meça isso” ou “misture aquilo”, fazendo com que se esqueça de orientar o aluno sobre o que ele irá observar. Então, como sugere Novak (1984), antes de iniciar uma atividade investigativa, o aluno deve ter uma quantidade suficiente de conhecimentos para interpretar aquilo que irá observar e o MC pode ser um instrumento eficaz para auxiliar nessa tarefa.

Tomando como base as vantagens relatadas, os MCs podem ter múltiplas funções no contexto de construção da aprendizagem, dentre elas a avaliação. Segundo Gonçalves e Larchert (2011), avaliar significa atribuir valor ou mérito a alguma coisa. Infelizmente, em muitos casos o ato de avaliar vem se resumindo a atribuir uma nota a algo que o aluno construiu.

Na aprendizagem significativa, o conceito de avaliar ganha a conotação de analisar o produto do processo de ensino. Lemos (2011) nos relembra que a aprendizagem significativa é o processo no qual o indivíduo relaciona uma nova informação à outra já existente na sua rede cognitiva. Então o processo de avaliação de uma aprendizagem significativa tem como objetivo verificar se o aluno consegue atribuir significado aos conceitos.

Novak (1984) fala que não existe mapa certo e errado, existe o mapa que o aluno desenhou. Na sua concepção, MCs são instrumentos de análise qualitativa, nos quais o professor analisa as ligações conceituais que o aluno realiza. Mas, dado que vivemos numa sociedade orientada pelos números, grande parte dos alunos e professores deseja pontuar os mapas conceituais (NOVAK, 1984, p.113).

O sistema de pontuação sugerido por Novak se baseia nas concepções da aprendizagem significativa de Ausubel: estrutura hierarquizada, diferenciação progressiva e reconciliação integradora. E é a partir desses princípios que um MC pode ser analisado e pontuado.

Segundo Novak (1984), a estrutura hierárquica tem como base o conceito de subsunção. Como discutido anteriormente, para que ocorra a aprendizagem significativa, os novos conceitos se ligam a outros pré-existentes na rede cognitiva do aluno. Portanto, numa estrutura hierárquica bem sedimentada, a ordem deve ser iniciada por conceitos mais gerais, que abordam de forma mais abrangente o assunto estudado, sendo seguido por uma abordagem mais específica. Portanto, na hierarquia de um MC deve-se observar como os conceitos são organizados e se seguem uma linha clara de conexão. Essa estratégia se mostra relevante por tornar o aluno mais ativo, ou seja, o aluno precisa decidir quais os conceitos mais relevantes e colocá-los em ordem de significância.

A diferenciação progressiva é, segundo Novak (1984), o princípio no qual os conceitos adquirem maior significado à medida que vão sendo trabalhados. Os conceitos vão ganhando significados mais robustos à medida que novas ligações se estabelecem na rede cognitiva do aluno. Como exemplo, apresenta o conceito de clima: uma criança entende o clima de forma diferente de um adulto, pois este, com o passar do tempo, foi incorporando novos significados para este conceito. Ainda segundo o autor, uma forma de avaliar o estágio de diferenciação

progressiva do aluno é pedir que ele construa um MC a partir de um conjunto de conceitos, as ligações que o aluno realizar ajudarão o professor a traçar estratégias de ensino.

A reconciliação integradora determina que a aprendizagem significativa é melhorada quando o aluno reconhece novas relações conceituais entre conjuntos de conceitos ou proposições (NOVAK, 1984, p. 119). A reconciliação integradora está relacionada de forma direta à diferenciação progressiva e está ligada à nova abordagem que o aluno dá àquele conceito.

Baseando-se nesses princípios, Novak criou um sistema de pontuação (Quadro 3), que visa verificar se os conceitos estão hierarquicamente organizados, se as palavras conceituais e de ligação estão sendo usadas corretamente e se todas as interligações foram feitas. Como destaca Novak (1984), a pontuação atribuída a cada categoria a ser investigada foi feita de forma aleatória, entretanto os critérios utilizados são resultado dos esforços e trabalhos realizados ao longo das últimas décadas no uso de MC no ensino e na aprendizagem.

Quadro 3. Critérios de pontuação de mapas conceituais.

Critério	Pontos avaliados	Pontuação
Proposições	O significado dos conceitos está demonstrado pela linha que os une?	1 ponto para cada proposição válida
	A relação entre os conceitos é válida?	
Hierarquia	O mapa revela hierarquia?	5 pontos para cada nível hierárquico válido
Ligações cruzadas	O MC revela ligações entre dois conceitos?	10 pontos para cada ligação significativa e válida
	Essa ligação é significativa e válida?	2 pontos para cada ligação válida, mas que não traduza qualquer síntese entre grupos de proposições
Exemplos	Objetos concretos que exemplifiquem os conceitos	1 ponto para cada exemplo

Adaptado de Novak (1984).

Os critérios do quadro de pontuação proposto por Novak foram desenvolvidos com base na Teoria da Aprendizagem Significativa. As proposições válidas do mapa mostram ao professor como o aluno relaciona diferentes conceitos por meio de palavras de ligação. A

estrutura hierárquica revela como o aluno percebe e organiza a generalidade dos conceitos, uma vez que conceitos mais gerais antecedem conceitos mais específicos, além de que as ligações entre os conceitos, seja num mesmo ramo ou em ramos diferentes, representam o grau de compreensão do aluno sobre o tema do mapa, fazendo esse a diferenciação progressiva ou a reconciliação integradora dos conceitos. E, por fim, os exemplos representam a aplicabilidade dos conceitos, seja por meio de objetos concretos ou acontecimentos.

Mapas conceituais são estruturas idiossincráticas, mostram como o indivíduo organiza os conceitos sobre um determinado assunto e dessa forma pode ser utilizado pelo professor como guia, isto é, o mapa conceitual mostra ao professor os conhecimentos prévios dos alunos, facilitando assim o direcionamento das aulas.

Na próxima sessão é mostrada a metodologia utilizada neste trabalho. Apresentam-se as características da pesquisa desenvolvida, os instrumentos de coleta e como se deu a análise dos dados adquiridos.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo faremos uma abordagem sobre o método de pesquisa empregado e os referenciais metodológicos que fundamentam nossa análise a respeito do uso do Mathematica®. São apresentadas as categorias de análise, as ações investigativas, o contexto no qual a pesquisa foi realizada, bem como as principais características dos participantes.

4.1. Caracterização da pesquisa

Neste trabalho, foi feita a opção por uma pesquisa tipo estudo de caso, envolvendo a coleta de informações sobre uma ou mais situações particulares. Segundo Yin (2001), estudo de caso é um estudo de eventos dentro de seus contextos da vida real e, portanto, os dados devem ser coletados de pessoas e instituições existentes e não dentro dos limites controlados de um laboratório ou por meio de questionários com uma estrutura rígida.

Ainda segundo esse autor, ao escolher o estudo de caso como estratégia de pesquisa, o pesquisador terá à disposição cinco questões indagadoras, que precisam ser formuladas com cuidado, pois são elas que nortearão o trabalho. São elas: “o quê?”, “como?”, “quem?”, “onde?” e “por quê?”.

Relembrando os objetivos principais deste trabalho, procuraremos, por meio dos instrumentos próprios de investigação, responder às seguintes questões:

- a) Como o Mathematica® auxilia na concepção de situações para o ensino de Gravitação?
- b) Como o Mathematica® pode impactar no ensino de Física?
- c) Por que o uso da tecnologia digital favorece uma aprendizagem significativa?

4.2. Ações investigativas

Com a finalidade de investigar o uso do Mathematica® como ferramenta pedagógica para o ensino de Física por graduandos do curso de licenciatura em Física foram realizadas as seguintes ações mediadoras:

- **Observação da sala de aula:** A observação das aulas da disciplina de Física Geral 2, teve como objetivo a identificação e descrição das situações didáticas do professor. Ao adotar uma postura de observador, estamos nos inserindo no contexto educativo, ou seja, estaremos imersos nas situações que promovem a aprendizagem do aluno.

Os momentos didáticos foram observados tendo como referência as ideias de Reis (2011). Ele defende que a observação e a discussão de aulas favorecem o desenvolvimento profissional e, conseqüentemente, a melhoria das ações pedagógicas e propõe alguns aspectos para auxiliar nesse processo de observação:

- a) Organização da sala de aula;
- b) Gestão da sala de aula;
- c) Interação na sala de aula;
- d) Discurso do professor;
- e) Discurso do aluno;
- f) Relação entre os alunos e o sentimento de comunidade;
- g) Clima de sala de aula;
- h) Atividades educativas.

- **Proposição e posterior análise de problemas utilizando o Mathematica®:** nesta pesquisa estamos trabalhando com a resolução de problemas envolvendo o assunto Gravitação, componente curricular da disciplina Física Geral 2, sendo o aluno estimulado a utilizar o *software* Mathematica® como ferramenta para solucionar tais questões.

Nessa etapa verificamos os conhecimentos prévios dos alunos utilizando mapas conceituais, ferramenta desenvolvida por Novak para uma aprendizagem significativa. A partir dos dados levantados pela análise dos mapas criados pelos alunos, propomos problemas que seriam resolvidos utilizando o Mathematica®.

O levantamento dos conhecimentos prévios foi feito por meio de um mapa conceitual. Espera-se que os alunos, após as aulas teóricas, deem significado aos conceitos relacionados à situação proposta neste trabalho, a saber, o estudo da Gravitação. É importante fazer esse levantamento, pois, como vimos em Ausubel (1968), são esses conceitos que darão sustentação aos novos conhecimentos.

A apresentação do Mathematica® foi dividida em dois momentos. No primeiro foi feita a apresentação e demonstração das ferramentas e comandos imprescindíveis para o aluno realizar as atividades propostas.

Após a ambientação dos alunos com as ferramentas do Mathematica® o professor da disciplina propôs um problema de Gravitação. Na questão, os alunos deveriam plotar uma simulação na qual três corpos celestes interagem, um problema conhecido como o problema dos três corpos de Poincaré. A resolução dessa questão se deu em duas fases: na primeira o

professor montou a base da programação, declarando funções, nomeando variáveis e demonstrando os principais comandos usados, por exemplo, na resolução de equações diferenciais. Com essa base de programação, os alunos foram apresentados a um problema detalhado mais adiante. A consulta era livre entre os alunos e não havia clima de competição ou avaliação durante a resolução da questão proposta.

- **Entrevista semiestruturada:** durante a realização das atividades utilizando o Mathematica® foi aplicada uma entrevista semiestruturada, gravada em áudio, com roteiro de perguntas formulado a partir da questão desse trabalho. A coleta de dados foi feita com 8 alunos, regularmente matriculados na disciplina Física Geral 2 do curso de Licenciatura em Física do IFCE campus Fortaleza. As entrevistas foram realizadas no próprio campus do IFCE, respeitando o horário de cada entrevistado. O sigilo do entrevistado foi garantido a partir de um termo de consentimento informado e assinado por ambas as partes, entrevistador e entrevistado, Apêndice A. A fim de resguardar a identidade do aluno participante, estes foram identificados seguindo o código composto pela letra A e por um número, por exemplo, A1.

A entrevista foi dividida em dois momentos por uma questão de organização do tempo deste trabalho, o guia para a realização dessa entrevista se encontra no Apêndice B. No primeiro momento, antes do uso do Mathematica®, foram investigadas questões acerca das percepções do aluno enquanto licenciando em Física. No segundo momento, após a resolução das questões propostas utilizando o Mathematica®, o licenciando foi indagado sobre o uso do programa e como ele pode ter contribuído para o ensino de Gravitação. A síntese das informações sobre a entrevista é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4. Síntese das informações das entrevistas.

ALUNO	Tempo de entrevista (minutos)	Local
A1	32:04	IFCE
A2	23:06	IFCE
A3	47:12	IFCE
A4	37:12	IFCE
A5	44:22	IFCE
A6	21:45	IFCE
A7	34:26	IFCE
A8	26:12	IFCE
	Total: 4h25min39s	

Fonte: próprio autor

4.3.Contexto da pesquisa

O curso de licenciatura em Física do Instituto Federal do Ceará, campus Fortaleza, conforme o Projeto Pedagógico foi criado no ano de 2002 após o Decreto nº 3.462/2000 do Ministério da Educação, que permitiu que os Centros Federais de Educação Tecnológica (CEFET) pudessem implantar cursos de licenciatura. A justificativa para a criação do curso de Licenciatura em Física se dá diante da necessidade de oferecer à sociedade um profissional capaz de vincular os saberes curriculares, os saberes das ciências e os saberes das ações pedagógicas.

Na proposta pedagógica do curso é citada a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB/96) como base para a integralização de um currículo capaz de desenvolver valores éticos e competências nos alunos, para que, ao egressarem do curso tornem-se agentes transformadores na sociedade. Para atender a esse objetivo se pensa que a formação docente deve estar pautada no aprender a aprender e a pensar. Assim, o modelo de acumulação de conteúdos passa a ser removido, tornando os professores que fazem parte do corpo docente responsáveis por potencializar o conhecimento dos alunos por meio de ações metodológicas que trabalhem o valor da descoberta.

O objetivo do curso de licenciatura em Física do IFCE *campus* Fortaleza é formar profissionais para o ensino da Física, preparando-o para o exercício crítico e competente da docência no ensino fundamental e médio, com embasamento teórico e prático de modo a contribuir para a melhoria do desenvolvimento da Educação Básica.

No rol das competências do curso de licenciatura em Física podemos enumerar:

- a) Compreender os princípios da sociedade democrática;
- b) Organizar trocas de experiências;
- c) Utilizar as tecnologias da informação e comunicação como meios de aprendizagem;
- d) Elaborar e executar projetos;
- e) Possibilitar o desenvolvimento da capacidade de raciocínio;
- f) Manejar diferentes estratégias de comunicação dos conteúdos;
- g) Identificar, analisar e produzir materiais e recursos para a utilização didática, diversificando as possíveis atividades e potencializando o uso em diferentes situações.

O curso de Licenciatura em Física do IFCE, campus Fortaleza, está construído em três núcleos de formação. O núcleo de disciplinas específicas, o núcleo de componentes curriculares de natureza comum e o núcleo de natureza didático-pedagógica.

No primeiro grupo estão disciplinas que tem como objetivo a ampliação de conhecimentos e aprofundamento de conteúdos em Física. O texto do PPC orienta que os conteúdos serão trabalhados com metodologias e avaliações diversificadas compatíveis com as competências que se querem desenvolver em cada disciplina.

4.4. Procedimentos de análise

Foi feito um tratamento qualitativo dos dados obtidos a partir da análise das entrevistas e das respostas dadas aos problemas propostos. Também foi realizada uma análise de dimensão quantitativa ao adotar o guia de pontuação de Novak para mapas conceituais, já discutidos anteriormente.

Os resultados das análises são apresentados em dois capítulos. No capítulo 5 será descrito o resultado das observações das atividades dirigidas durante a pesquisa. A primeira observação foi feita durante as aulas teóricas sobre Gravitação. A segunda atividade de observação descreve qual o ritmo adotado pelo professor para a resolução da questão sobre Gravitação utilizando o Mathematica®. No capítulo 6 são apresentados os resultados das categorias de análise fundamentadas em Ausubel.

A análise dos dados foi feita seguindo o caminho metodológico da observação das atividades propostas, seguindo as recomendações de Reis (2011). Além disso, foram criadas três categorias baseadas nos preceitos da TAS de Ausubel (1968), para discutir sobre os dados obtidos a partir dos mapas conceituais – primeira categoria, desenhados pelos alunos e apresentar a análise do discurso das entrevistas realizadas – segunda e terceira categorias, respectivamente. Nas subseções seguintes apresenta-se o caminho metodológico seguido para a obtenção dos resultados deste trabalho.

4.4.1. Observação das atividades

Segundo Reis (2011), a observação da sala de aula é um dos pontos-chave para as mudanças na escola, tanto nos níveis estruturais como nos pedagógicos. Ao observar a rotina da sala, todos os participantes do processo tem a chance de fazer uma avaliação de seus desempenhos no ambiente escolar.

Nesse sentido, Reis (2011) trabalha a observação em diferentes contextos: para avaliar o desempenho de professores e da escola, além de discutir a qualidade e desempenho das práticas. Para cumprir esse papel a observação pode ser informal, caracterizada por visitas de curta duração e que tem como principais objetivos a monitoração, a motivação e o apoio às práticas pedagógicas e também pode ser formal, quando se pressupõe uma sequência de etapas:

- a) Uma sessão pré-observação;
- b) A observação da aula;
- c) A análise dos dados;
- d) Sessão pós-observação;
- e) Avaliação do processo.

4.4.2. *Categorias fundamentadas em Ausubel*

O estudo proposto neste trabalho se caracteriza por uma pesquisa do tipo estudo de caso, no qual se pretende analisar o uso do *software* Mathematica® por licenciandos em Física. Tal pesquisa é acompanhada pelo aprofundamento teórico da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que permitiu a elaboração de categorias de análise associadas aos conhecimentos prévios dos alunos, motivação para a aprendizagem e uso de material potencialmente significativo defendidos pelo autor como bases para uma aprendizagem significativa.

Os dados obtidos a partir da análise dos mapas conceituais desenhados pelos alunos alimentaram a categoria denominada Conceitos sobre Gravitação. Os dados obtidos a partir da entrevista semiestruturada construíram a segunda categoria, denominada Concepções dos alunos e a terceira categoria, chamada Uso do Mathematica® e seu potencial significativo.

- a) Análise dos mapas conceituais

Os mapas conceituais (MC) desenhados pelos alunos participantes do grupo amostral deste trabalho foram analisados seguindo o quadro de pontuação proposto por Novak, que propõe a análise de quatro pontos: elaboração de proposições válidas, hierarquia dos conceitos, ligações cruzadas e exemplos. A análise dos mapas conceituais foi realizada com base no princípio da TAS, que estabelece que o professor precisa se apropriar dos

conhecimentos prévios dos alunos para, por exemplo, propor atividades que ajudem os alunos a construir sua estrutura cognitiva.

Na categoria Conceitos sobre Gravitação é apresentada a análise quantitativa de todos os MCs, seguindo o quadro de pontuação de Novak, bem como é feita uma pormenorização desses quatro aspectos avaliados.

b) Análise do discurso

Segundo Schafer (2013), a entrevista semiestruturada é um importante instrumento para coleta de informações, pois permite a captação imediata e corrente de dados. Uma das características dessa ferramenta de pesquisa é a possibilidade do entrevistador fazer adaptações durante o percurso de coleta de dados, uma vez que a entrevista semiestruturada não exige a aplicação rígida de um roteiro.

Segundo Wertsch *apud* Schafer (2013), cada enunciado deve ser considerado como resposta a um enunciado anterior, refletindo não somente a voz de quem a produziu, mas também a quem ela se dirige. E foi a análise dos enunciados tomados a partir da entrevista semiestruturada que alimentou duas das três categorias fundamentadas em Ausubel deste trabalho.

A segunda categoria, denominada Concepções do aluno, visa investigar quais as concepções do aluno frente ao curso de Licenciatura em Física do IFCE, na busca de entender o que o motivou a ser um futuro professor e como ele vê o uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC).

A terceira e última categoria, Uso do Mathematica® e seu potencial significativo, trata de analisar o uso do *software* Mathematica® para a resolução dos problemas propostos. Por meio da fala dos alunos durante as entrevistas e dos resultados alcançados por eles durante a utilização do programa computacional, queremos identificar elementos que o classifiquem como instrumento para um ensino de Gravitação mais significativo.

Para Bakhtin *apud* Schafer (2013), a enunciação é um sistema de signos dinâmico e complexo, que está diretamente ligado à situação histórica concreta e, portanto, adapta-se aos processos evolutivos.

Neste trabalho é proposta a análise dos enunciados resultantes do processo investigativo, inspirada em Schafer (2013). O objetivo é buscar o entendimento do sentido dos enunciados.

Dessa forma, propõem-se as seguintes etapas para a análise:

- a) Fazer uma leitura inicial do texto obtido a partir das transcrições das falas dos entrevistados;
- b) Identificação dos enunciados;
- c) Leitura dos enunciados;
- d) Busca das respostas em relação às perguntas realizadas em relação ao enunciado.

O critério de seleção dos enunciados (transcritos de forma literal e integral) está relacionado à representatividade frente aos demais enunciados, ou seja, apresenta maior complexidade e detalhamento. São apresentados extratos dos enunciados, que correspondem aos trechos que mostram os achados da categoria analisada. Os termos ou expressões correspondem aos achados fundamentais para a análise em cada enunciado.

Busca-se entender em cada enunciado os diferentes pontos de vista a respeito dos aspectos investigados neste trabalho. A análise do discurso visa facilitar e organizar a interpretação do que é dito e o seu contexto durante a relação dialógica entre entrevistador e entrevistado.

5. OBSERVAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES UTILIZANDO O MATHEMATICA®

Nesta seção iremos detalhar as características das três atividades propostas pelo professor da disciplina Física Geral 2, as quais foram resolvidas utilizando o Mathematica®. Como já mencionado, esse *software*, requer, dentre outras coisas, o uso de uma linguagem de programação própria para compilar e apresentar os resultados ao usuário. Por se tratar de uma ferramenta nova para os alunos dessa disciplina, as atividades foram divididas em dois momentos.

No primeiro momento os alunos foram apresentados ao *software* e aos principais comandos e ferramentas, que seriam úteis para as demais etapas do processo de resolução dos problemas propostos. No segundo, o professor escreveu um programa-base para resolver um problema de três corpos de Poincaré de forma mais genérica. Na terceira atividade, os alunos utilizariam o texto-base da primeira atividade para simular uma situação mais específica para o problema de Poincaré.

5.1. Exercício 1: Atividade preparatória

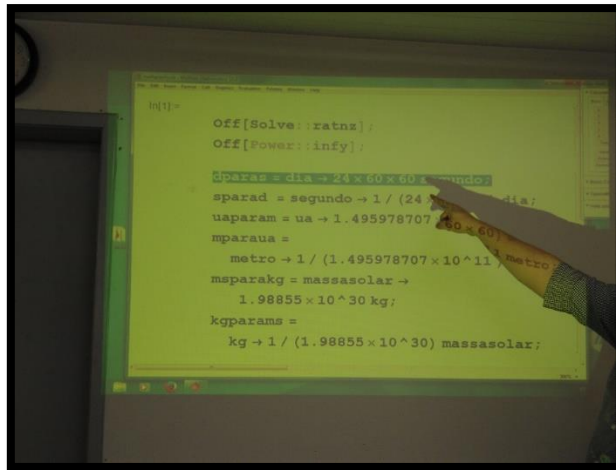
Após aulas teóricas sobre os temas de Gravitação, foi proposta aos alunos da disciplina Física Geral 2 do curso de Licenciatura em Física do IFCE, campus Fortaleza, a resolução de problemas com o auxílio do Mathematica®. As aulas aconteceram no Laboratório de Informática, com a presença dos 8 alunos matriculados na disciplina.

Por se tratar de uma ferramenta pouco conhecida pelos alunos participantes desta pesquisa, a primeira atividade, chamada de **atividade preparatória**, teve como objetivo ambientar o aluno ao *software*. Foram apresentadas as regras de sintaxe e os principais comandos do Mathematica®, principalmente os que seriam utilizados nas atividades futuras para a resolução do problema dos três corpos. Nesse primeiro momento, o professor mostrou comandos e exemplos utilizando o programa e os alunos escreviam as linhas de código individualmente em seus computadores. A cada comando, os alunos rodavam o *software* e recebiam a resposta. Se positiva, o aluno via o que aquele comando era capaz de produzir. Se negativa, o aluno poderia localizar o erro e fazer a correção. Apresentamos a seguir os principais comandos trabalhados durante esse encontro:

a) Denominação de variáveis e conversão de valores

Na Figura 11 temos a apresentação dos principais comandos para que o usuário possa nomear constantes e lhes atribuir valor, bem como fazer conversão de unidades.

Figura 11. Apresentação de comandos.



Fonte: próprio autor

b) Determinação de função

Segundo Pinto (2011), função é uma relação de dependência entre duas grandezas de tal forma que, para cada valor x de uma, está associado um único valor y da outra. No caso do Mathematica® as funções possuem uma sintaxe para serem representadas. A Figura 12 representa uma das funções que foram definidas nessa primeira atividade.

Figura 12. Denominação de função no Mathematica®.



Fonte: próprio autor

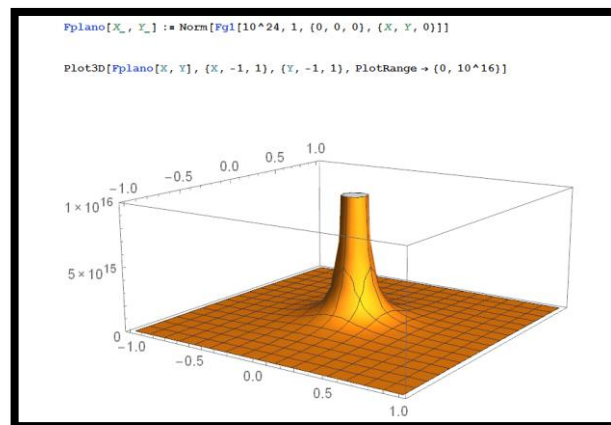
Nesse trecho é possível ver a atribuição de valor à constante da Gravitação Universal GSI e à constante G, a qual guarda um valor de acordo com as mudanças do sistema de unidades de medida determinado em linhas de código anteriores. Em seguida é definida uma função Fg, cujo resultado é apresentado após o usuário atribuir-lhe valores numéricos.

c) Comandos para plotagem de gráficos

A visualização do fenômeno físico é um dos objetivos dos exercícios propostos neste trabalho. Para que o aluno possa criar essas simulações, o Mathematica® oferece dentre outras, a ferramenta Plot, que possui diferentes variações: Plot3D, para gráficos em três dimensões e ParametricPlot, quando a função possui uma das variáveis dependente do tempo.

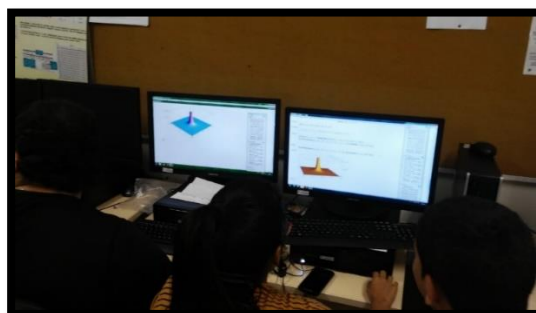
Na Figura 13, temos o exemplo do uso para desenhar gráficos utilizando o Mathematica® e na Figura 14 vemos os alunos participantes desta pesquisa realizando os exercícios da atividade preparatória.

Figura 13. Exemplo de comando para desenho de Gráficos usando o Mathematica®.



Fonte: próprio autor

Figura 14. Alunos utilizando o Mathematica®.



Fonte: próprio autor

d) Resolução de equações diferenciais

No tópico final dessa atividade preparatória os alunos exercitaram o comando DSolve, que permite a resolução analítica de equações diferenciais. Na figura 15 temos um exemplo do uso de tal função do Mathematica® para o problema do oscilador harmônico simples.

Figura 15. Exemplo de uso do comando DSolve.

```
eqdif = x''[t] == - w^2 x[t];
eqdif
x''[t] == -w^2 x[t]

DSolve[eqdif, x[t], t]
{{x[t] -> C[1] Cos[t w] + C[2] Sin[t w]}}
```

```
eqdif = x''[t] == a;
DSolve[{eqdif, x'[0] == v0, x[0] == x0}, x[t], t]
{{x[t] -> (w x0 Cos[t w] + v0 Sin[t w]) / w}}}
```

Fonte: próprio autor

5.2. Exercício 2: Problema dos três corpos (caso geral)

O campo de estudo da Física é muito amplo. Seja na escola ou na universidade, a Física é dividida em matérias ou disciplinas que muitas vezes não interagem. Outras vezes assuntos físicos são arrancados de seu contexto histórico e social e são apresentados ao aluno como algo acabado. Por exemplo, a mecânica de Newton muitas vezes é apresentada como um desenvolvimento teórico que se deu de modo rápido e fácil e não como um processo que durou cerca de dois séculos. Porto e Porto (2008) defendem a ideia de que a Física deve ser a ponte de aproximação do aluno com o mundo moderno. É papel do professor levar o aluno a fazer relações com outras ciências e utilizar diferentes caminhos para se expressar.

Florczak e Freitas (2011) colocam a gravitação como um dos assuntos chave para fazer essa ponte entre o mundo real e o científico. Segundo os autores, a astronomia desperta o interesse do aluno para outras áreas do conhecimento, além de ser um estímulo para reflexões críticas. Contudo, eles também destacam que, por ser uma área que exige a resolução de uma grande quantidade de exercícios abstratos, cabe ao professor selecionar de forma adequada os métodos de ensino que facilitem o entendimento desses conceitos.

Nesse processo de entendimento de fenômenos abstratos envolvendo os assuntos da Gravitação, Amaral (2015) cita que a inclusão de atividades supervisionadas torna o processo de abstração mais efetivo, de forma que os alunos adquiriram competências para resolver problemas lógicos e melhorar o pensamento científico.

Como justificativa para se abordar os conteúdos de Gravitação em sala de aula, Amaral (2015) cita: a diversidade de problemas com os quais eles oferecem contato em todos os ramos do saber e do cotidiano da ciência; a visão global sobre o desenvolvimento do pensamento humano que proporcionam; a possibilidade dada ao aluno de observar o surgimento e modificação de modelos; o baixo custo dos materiais e a possibilidade de realizar atividades ao ar livre.

Uma das estratégias que podem ser utilizadas para ajudar na construção de conhecimentos em gravitação é o uso de tecnologias digitais. Pires e Veit (2006) nos falam que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) visam ampliar a interação entre aluno e professor, aumentando o tempo de aula e estimulando a discussão e a tomada de decisões do aluno.

Percebendo a necessidade de ensinar os comandos básicos do Mathematica® e de introduzir os conceitos do problema dos três corpos, o professor lançou mão do problema descrito no Quadro 5:

Quadro 5. Descrição exercício três corpos.

Descrição do problema: determinar numericamente a trajetória de um planeta no campo gravitacional criado por duas estrelas fixas. Usar o Mathematica® para visualizar a órbita do planeta na forma de animação gráfica. A posição do planeta em função do tempo é governada pela equação diferencial: $\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -G \left(M_1 \frac{\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}}{ \mathbf{r}_1 - \mathbf{r} ^3} + M_2 \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}}{ \mathbf{r}_2 - \mathbf{r} ^3} \right)$ Onde M_1 e M_2 são as massas das estrelas, $\mathbf{r}_1$ e $\mathbf{r}_2$ são as posições fixas das estrelas e G é a constante da gravitação universal. Construir uma resolução numérica do problema usando a função <code>NDSolve</code> e determinar a órbita visualmente usando a função <code>ParametricPlot3D</code>. Empregar técnicas de animação para produzir um filme do movimento planetário e estudar como as condições iniciais de posição, velocidade e massas estelares modificam o movimento em relação às trajetórias cônicas do problema de dois corpos (um planeta e uma estrela).

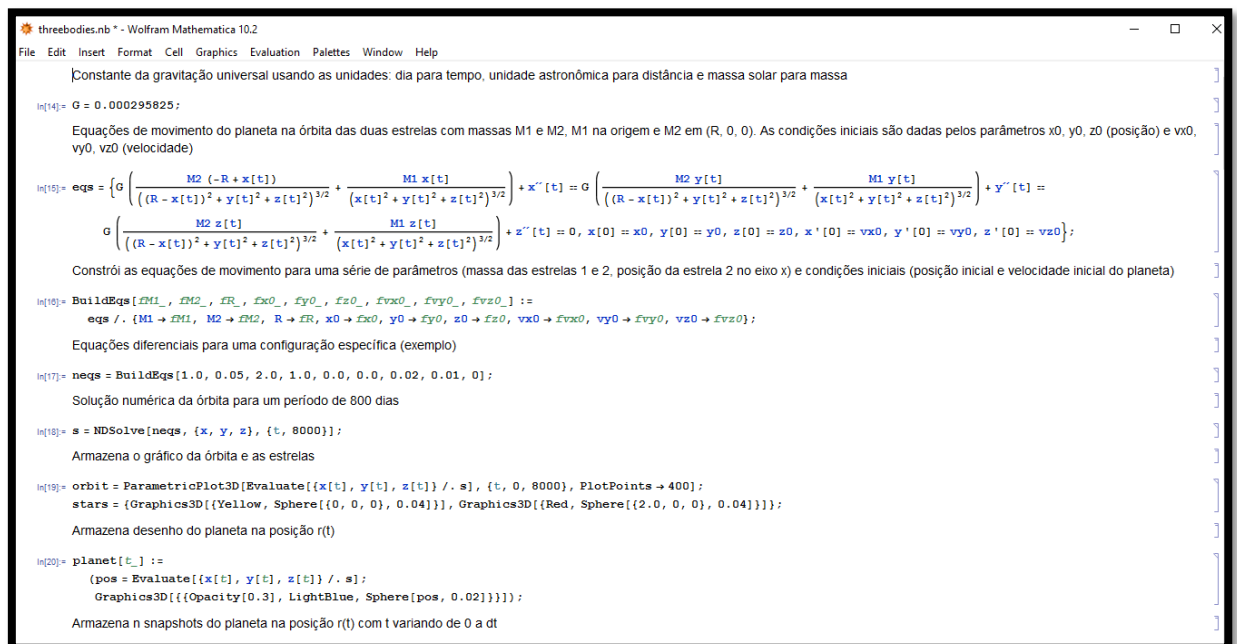
Fonte: próprio autor

Durante a resolução deste exercício, o professor apresentava os comandos já vistos anteriormente de forma aplicada. O código escrito no exercício serviu de base para a resolução do exercício avaliativo. Como já descrito anteriormente o objetivo dessa atividade é simular o movimento de três corpos.

Para conquistar esse propósito, o professor utilizou uma sequência metodológica que começou com a determinação das variáveis das equações diferenciais próprias do movimento de corpos celestes, passando pela definição das funções para o armazenamento de informações quanto ao desenho das órbitas e, por fim, a escrita do programa que exibe a órbita dos corpos.

Na Figura 16 temos a representação de parte do código escrito no exercício do problema de três corpos. Nele vemos a atribuição de valor para a constante universal da gravitação **G**, a variável **eqs** que recebe a equação diferencial para o movimento estudado e as variáveis **orbit** e **stars**, que armazenam o gráfico da órbita e das estrelas. Por fim, o comando **NDSolve** do Mathematica® é usado para resolução do problema e armazenamento dos resultados que serão posteriormente empregados na plotagem do desenho e na simulação do fenômeno físico estudado.

Figura 16. Linhas de código do exercício proposto.



Fonte: próprio autor

Na Figura 17 temos a parte do programa responsável por exibir a órbita dos elementos envolvidos no problema. Essa parte do código recolhe dados do usuário para que o Mathematica® possa processar essas informações e assim desenhar a órbita que apresentamos na Figura 18.

Figura 17. Parte do código para o problema dos três corpos.

```

Programa para exibir a órbita, o planeta na posição inicial e as estrelas

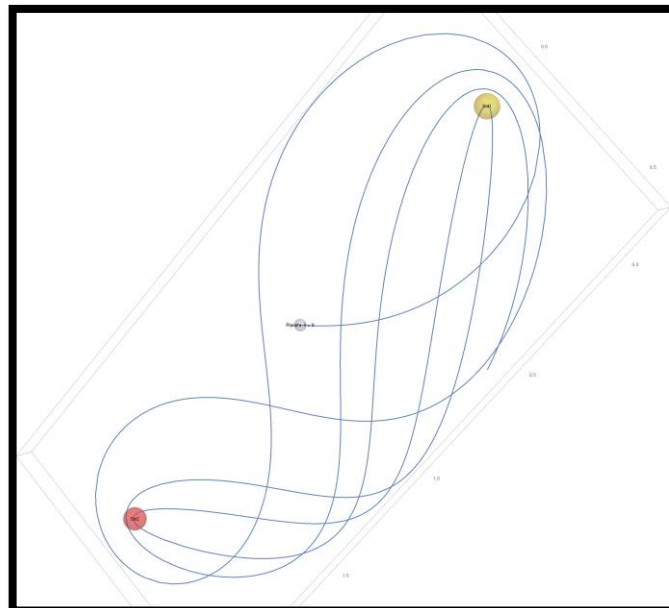
OrbitalSimulator := (
  m1 = Input["Por favor, informe a massa da primeira estrela em massas solares"];
  m2 = Input["Indique a massa da segunda estrela em massas solares"];
  r = Input["Agora forneça a distância entre as duas estrelas em unidades astronômicas"];
  r0 = Input["Escreva as coordenadas iniciais do planeta no formato {x,y,z}"];
  v0 = Input["Escreva as componentes iniciais de velocidade do planeta no formato {vx,vy,vz}"];
  dt = Input["Informe a duração da simulação orbital em dias"];
  np = Input["Indique o número de pontos para desenhar a órbita"];
  neqs = BuildEqs[m1, m2, r, r0[[1]], r0[[2]], r0[[3]], v0[[1]], v0[[2]], v0[[3]]];
  s = NDSolve[neqs, {x, y, z}, {t, dt}];
  orbit = ParametricPlot3D[Evaluate[{x[t], y[t], z[t]} /. s], {t, 0, dt}, PlotPoints -> np];
  stars = {Graphics3D[{{Opacity[0.3], Yellow, Sphere[0, 0, 0], 0.04}}, Text[Sol1, {0, 0, 0}]],
    Graphics3D[{{Opacity[0.3], Red, Sphere[r, 0, 0], 0.04}}, Text[Sol2, {r, 0, 0}]]};
  planet0 = Graphics3D[{{Opacity[0.3], LightBlue, Sphere[r0, 0.02]}, Text["Planeta, t = 0", r0]}];
  Show[orbit, stars, planet0, PlotRange -> All]
)

OrbitalSimulator

```

Fonte: próprio autor

Figura 18. Resultado do código escrito para o problema dos três corpos.



Fonte: próprio autor

5.3. Exercício 3: O problema dos três corpos (caso específico)

No terceiro exercício, os alunos teriam que utilizar os conhecimentos construídos nos dois primeiros exercícios para resolver o problema descrito no Quadro 6:

Quadro 6. Descrição do exercício 2 sobre o problema dos três corpos.

Considerar o seguinte sistema de três corpos Estrela: Sol; Planetas: Terra e Júpiter. Definir constantes e vetores para armazenar: • A massa de Júpiter (m_J) em massas solares; • A distância entre o Sol e Júpiter (r_J) em unidades astronômicas; • O vetor velocidade inicial da Terra na forma $\{x, y, z\}$, com a Terra inicialmente sobre o eixo x, em unidades astronômicas; • O vetor velocidade inicial da Terra na forma $\{v_x, v_y, v_z\}$, com a velocidade inicial da Terra inicialmente apontando ao longo do eixo y, em unidades astronômicas/dia. Usar essas constantes e vetores na hora de rodar o programa OrbitalSimulator. Usando o programa OrbitalSimulator no Mathematica®, plotar as órbitas para as seguintes situações: a) Massa de Júpiter variando: 1m_J, 10 m_J, 100 m_J, 1000m_J, 10000m_J, 100000m_J b) Distância entre Júpiter e o Sol variando: 1 r_J, 0.8 r_J, 0.6 r_J, 0.4 r_J, 0.2 r_J No caso (a) e no caso (b), determinar a partir de que valores de m_J e r_J, entre os valores testados, a órbita da Terra passa a ser dominada por Júpiter (informar como comentário no notebook).
--

Fonte: próprio autor

Nessa atividade, os alunos utilizaram como base o código do exercício número 2 e seriam avaliados quanto ao seu desempenho. Mesmo se tratando de uma prática que receberia um conceito avaliativo, utilizado como parâmetro para compor a nota final da disciplina Física Geral 2, o professor deixou os alunos à vontade para tirar dúvidas, mesmo entre eles.

A análise dos gráficos desenhados pelo Mathematica® baseados nos códigos escritos pelos alunos mostra que os resultados foram parecidos, diferindo um pouco na explicação do que estava sendo representado em cada desenho. A avaliação do professor para cada código apresentado é mostrada no Quadro 7.

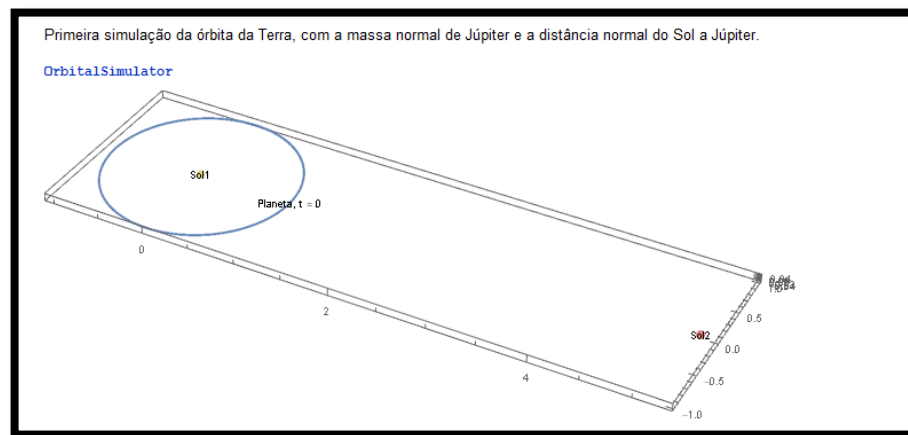
Quadro 7. Avaliação do professor dos códigos do problema dos três corpos.

Aluno	Avaliação do professor
A1	O aluno rodou as simulações com sucesso, variando os parâmetros orbitais de acordo com o esperado. Ele conseguiu plotar o movimento do planeta em cada caso. Separar o trabalho em vários notebooks ajudou na organização. Quase todas as observações são pertinentes, mas é preciso tomar cuidado ao declarar que a órbita da Terra continua elíptica quando, na verdade, é perceptível que a elipse não é mais perfeita e exibe um efeito - pequeno - de precessão.
A2	O aluno usou o programa corretamente e manteve todos os casos num único notebook. Ele não plotou o movimento do planeta. Fez muito breves observações sobre os efeitos gravitacionais de Júpiter sobre o movimento da Terra.
A3	O aluno usou o programa corretamente e manteve todos os casos num único notebook. Ele não plotou o movimento do planeta. Fez boas observações a respeito dos efeitos gravitacionais de Júpiter sobre o movimento da Terra, com descrições detalhadas que revelam um domínio do jargão astronômico.
A4	O aluno soube utilizar o programa, fornecendo os parâmetros corretos e fazendo observações pertinentes sobre os efeitos da variação da massa e da distância de Júpiter. Além disso, ele também plotou o movimento do planeta em cada caso. Separar em vários notebooks facilitou a organização e a correção.
A5	O aluno utilizou corretamente o programa, plotando não só a órbita, mas também executando uma animação do movimento do planeta em cada caso. Vários notebooks foram usados, um para cada configuração de massa e raio orbital. Observações pertinentes foram feitas, parte nos notebooks, e uma análise mais completa num documento em separado.
A6	A aluna soube utilizar o programa, fornecendo os parâmetros corretos. Ela não conseguiu plotar o movimento do planeta em cada caso. Separar em vários notebooks facilitou a organização e a correção. Quase todas as observações são pertinentes, mas há um erro ao afirmar que, para Júpiter muito próximo da Terra, os dois planetas orbitam o Sol (na simulação, Júpiter é fixo).
A7	As simulações foram feitas corretamente, num único notebook. Poucos e breves comentários descrevem os efeitos da variação da massa e da distância de Júpiter. Não foram realizadas animações de movimento planetário.
A8	O aluno fez a simulação com os parâmetros orbitais corretos num único notebook e seu interesse em obter uma função capaz de animar o movimento do planeta sem que uma nova parametrização apagasse o resultado anterior levou à construção de uma função, com o auxílio do professor, para resolver esse problema. São feitas algumas observações sobre a órbita do planeta que mencionam órbitas elípticas de modo incorreto.

Fonte: próprio autor

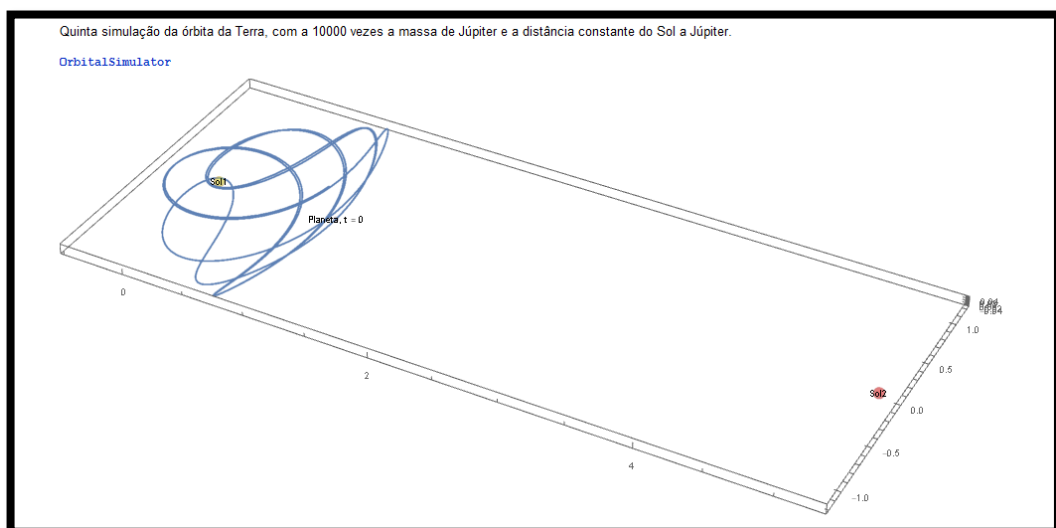
Os alunos teriam que apresentar dois tipos de simulação. Na primeira, os alunos deveriam variar a massa de Júpiter e, na segunda, a distância entre Júpiter e o Sol. Nas Figuras 19 e 20 apresentamos as respostas do aluno A8 para a mudança de massa. Nessa sequência de imagens temos o desenho e a descrição, por parte do aluno, do que está sendo apresentado.

Figura 19. Ilustração do problema dos três corpos para m_J igual a 1 mJ.



Fonte: aluno A8

Figura 20. Ilustração do problema dos três corpos para m_J igual a 1000 mJ.



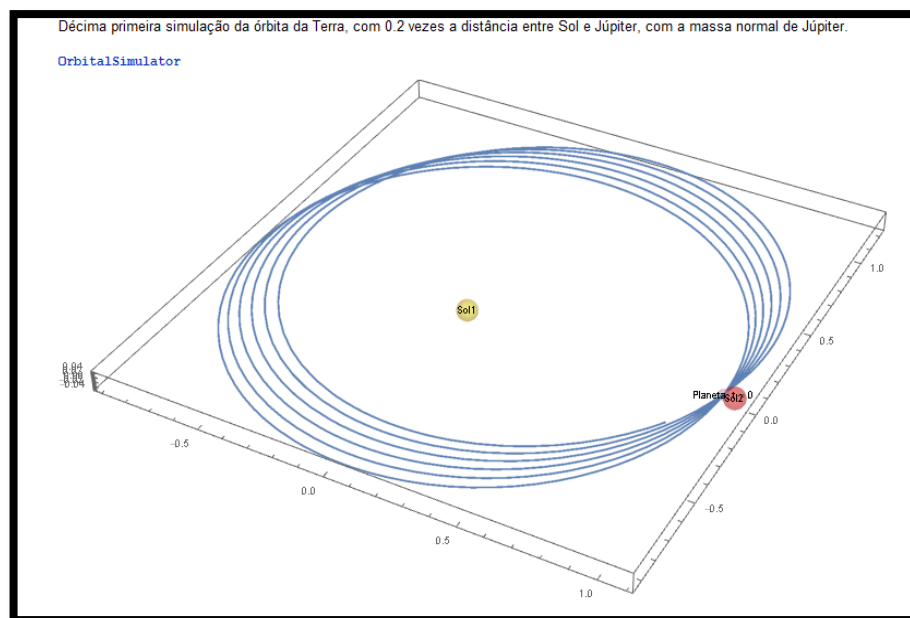
Fonte: Aluno A8

O Aluno A8 produziu um total de seis simulações e chegou à seguinte conclusão:

Quando ocorre a simulação com 10 vezes a massa de Júpiter, já se percebe uma pequena perturbação na órbita da Terra, no entanto, ela ainda não se mostra como uma elipse. Mas a partir do momento em que é feita a simulação com 100 vezes a massa de Júpiter, surge uma órbita elíptica. Então, a partir da simulação com 1.000 vezes a massa de Júpiter, já se percebe uma órbita caótica e elíptica da Terra, mas ainda em torno do Sol. Sendo ainda mais caótica quando a simulação de 10.000 vezes a massa de Júpiter é feita, com a Terra ainda dominada pelo Sol. Assim, somente quando se simula com 100.000 vezes a massa de Júpiter, é que vemos a órbita da Terra dominada completamente por Júpiter, sendo a mesma uma elipse de enorme excentricidade. (Aluno A8).

Na segunda parte, quando a massa do planeta é mantida constante e a distância é variada, o problema do aluno A8 produziu cinco gráficos representados pela Figura 21. Vale lembrar que todos os gráficos foram acompanhados das respectivas animações, ou seja, o aluno pode ver o movimento dos planetas em torno da estrela.

Figura 21. Ilustração do problema dos três corpos para a distância entre Júpiter e Sol 0,2 rJ.



Fonte: aluno A8

Ao fim das simulações, A8 chegou à conclusão descrita a seguir:

As simulações nas quais se mantém a massa de Júpiter normal e varia apenas a distância entre o Sol e Júpiter, só é perceptível (*sic*) uma perturbação na órbita da Terra a partir do momento em que se multiplica essa distância por 0,2, com a Terra passando bem próximo de Júpiter, deixando sua órbita quase circular, para uma mais próxima a uma elipse, ainda sendo dominada pelo Sol (Aluno A8).

5.4. Conclusões

As observações das atividades propostas nesse trabalho foram feitas com base em Reis (2011). Estabelecemos três pontos de análise: Organização de sala de aula; Gestão de sala de aula; e Interação, para cumprir um dos objetivos desse trabalho, qual seja a descrição do uso do Mathematica® com vistas ao ensino de Gravitação. Tais pontos são apresentados a seguir.

I. Organização da sala de aula

Nessa categoria Reis (2011) nos orienta a observar o ambiente da sala de aula quanto à organização, o conforto do ambiente e se o material disponível na sala é suficiente para ajudar professor e alunos no perfeito andamento das atividades que serão desenvolvidas naquele ambiente.

Os encontros para o uso do Mathematica® aconteceram num dos laboratórios de informática do Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE), *campus* Fortaleza, no horário entre as 20h e 22h. No laboratório estavam disponíveis aos alunos 08 computadores, todos com a versão 10 do Mathematica®. Os computadores estavam dispostos lado a lado, o que facilitou a troca de experiências entre os alunos e um maior acompanhamento das atividades por parte do professor da disciplina Física Geral 2.

Após a primeira aula, quando os alunos foram apresentados às principais funções do Mathematica®, alguns trouxeram seus computadores pessoais para uso. Como nos fala Ausubel (1968), o interesse do aluno em aprender é um dos fatores primordiais para uma aprendizagem significativa e em nossas observações percebemos nessa ação o interesse dos alunos em buscar a instalação do *software* para aprimorar, em espaços fora da sala de aula, o conhecimento a respeito do programa computacional.

Entre os alunos que instalaram o Mathematica® nos computadores pessoais, observamos uma maior habilidade em escrever as linhas de código necessárias para que o Mathematica® devolvesse o resultado do exercício proposto.

II. Gestão de sala de aula

Nessa segunda categoria estamos analisando, conforme as orientações de Reis (2011), a rotina do ambiente de ensino, como o plano metodológico é conduzido pelo professor e quais as estratégias que este utiliza para satisfazer os objetivos da aula.

Observamos durante a aplicação dos exercícios utilizando o Mathematica® que o professor demonstrou ter um plano de aula flexível. Ao perceber que os alunos teriam dificuldade em escrever os programas requeridos para a resolução dos exercícios propostos, ele adotou a estratégia de apresentar as principais funções do Mathematica® aplicadas a um exercício que serviria de base para o exercício posterior. Durante a entrevista, que detalharemos no capítulo 6, os alunos relataram que a estratégia de ensino foi fundamental para o sucesso da atividade.

O tempo de aula foi dividido de forma a apresentar o objetivo do exercício, mostrar os principais comandos necessários à execução da atividade, ouvir os alunos quanto a dúvidas e sugestões e fazer a avaliação das atividades do dia.

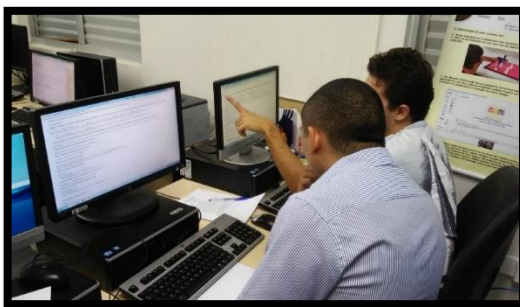
Observamos que as atividades foram organizadas de modo a apresentar primeiramente aspectos mais gerais do Mathematica®, por exemplo, exposição da linguagem e suas regras de sintaxe, para depois trabalhar com conteúdos mais específicos, citando, os comandos para plotagem de gráficos, animações e resolução de equações diferenciais.

Nesse ponto, podemos fazer um paralelo com a aprendizagem significativa. Novak cita que na aprendizagem significativa os conceitos mais gerais devem ser apresentados primeiro e, à medida que o aluno constrói subsunçores para a ancoragem de novos conhecimentos, os conceitos vão ficando mais específicos. A isto ele dá o nome de diferenciação progressiva.

III. Interação na sala de aula

A interação perpassa o diálogo. Reis (2011) chama a atenção para um dos pontos a serem observados na forma com que as pessoas que estão em sala de aula trocam informações. Temos o propósito de descrever como o professor desenvolveu as atividades e como os alunos usaram a interação entre eles para facilitar a aprendizagem. Na Figura 22 temos a representação de um desses momentos de interação, onde percebemos o diálogo entre os alunos como uma tentativa de entender o problema e resolvê-lo num esforço para construir uma teia cognitiva, tanto a respeito dos comandos do Mathematica® quanto de Gravitação.

Figura 22. Ilustração de interação entre alunos.



Fonte: próprio autor

No primeiro e segundo exercícios o tempo de fala do professor foi bem maior que o tempo de fala dos alunos. Sempre que surgiam dúvidas a respeito de alguma ferramenta, os alunos externavam suas dificuldades e buscavam entendimento seja com o professor seja com algum dos colegas presentes em sala.

A disposição dos computadores, lado a lado, facilitou a troca de experiências, aumentou a bagagem de conhecimento a respeito não só da linguagem necessária para o uso do Mathematica®, mas também sobre como entender a Física presente nos problemas apresentados. O próprio programa oferece ao usuário uma resposta ao código escrito, porém o enriquecimento cognitivo que provém da interação entre as pessoas não pode ser desprezado – Tassoni (2017) enfatiza que a aprendizagem deve focar nas interações.

No terceiro exercício proposto, mesmo sendo atribuída a ele uma nota, observamos que o professor se manteve à disposição dos alunos para elucidar dúvidas. O mesmo foi percebido na interação entre os alunos, sempre presente em todas as etapas das atividades.

A interação observada durante as aulas nos coloca frente ao que diz Ramos *apud* Madke *et al.* (2017), quando este autor afirma que a mediação entre professor e aluno deve ser feita de forma que se perceba que o conhecimento está sendo construído em comum.

6. CATEGORIAS FUNDAMENTADAS EM AUSUBEL

Ausubel apoia a teoria da aprendizagem significativa em três pontos: conhecimentos prévios; interesse do aluno em aprender e materiais potencialmente significativos. Nesta seção apresentamos os dados obtidos a partir dos mapas conceituais e dos enunciados retirados das falas dos alunos que participaram da entrevista. Estes enunciados foram divididos, conforme os pontos mencionados, em três categorias.

A primeira categoria, chamada **Conceitos de Gravitação**, apresenta os conhecimentos prévios dos alunos referentes aos assuntos de Gravitação, com base nos mapas conceituais por eles desenhados. Fazemos uma análise quantitativa ao pontuar os MCs conforme a tabela de pontuação proposta por Novak.

Na segunda categoria, **Concepções dos alunos**, investigamos como o aluno vê o curso de licenciatura em Física, o uso de TDIC e o papel do professor, da Física e da Gravitação para o desenvolvimento da sociedade. Com isso buscamos classificar o interesse do aluno em estudar e querer aprender de forma significativa.

Na terceira, **O potencial significativo do Mathematica®**, procuramos evidências de que o programa pode ser utilizado como instrumento de uma aprendizagem significativa, evidenciando os pontos positivos e desafios enfrentados durante o uso pelos alunos.

6.1. Categoria Conceitos sobre Gravitação

Nesta categoria, buscamos evidências que permitem compreender o processo da construção de conhecimentos em Gravitação pelos alunos participantes do grupo amostral. Para tanto, usamos uma das ferramentas de identificação de conhecimentos prévios propostas por Novak, o Mapa Conceitual (MC).

Os mapas conceituais possuem, segundo Tavares e Gil Luna (2003), importantes vantagens na avaliação e desenvolvimento de aprendizagens mais significativas: eles facilitam a organização dos conteúdos sugerindo ao aluno uma sequência lógica, ajudam na estruturação da rede cognitiva, propiciam a difusão ordenada do conhecimento por meio da hierarquia de conceitos, que guia o aluno a partir de um ponto mais geral para chegar a um mais específico, e fazem com que o aluno, ao construir seu próprio mapa, tenha a oportunidade de externar seu conhecimento.

Os resultados apresentados a seguir procuram identificar, portanto, o que cada aluno sabe sobre o assunto Gravitação a ser trabalhado no *software* Mathematica®, antes desse

software ser utilizado pelo professor. Como preconiza Ausubel, o conhecimento por parte do professor da bagagem cognitiva do aluno é um dos passos para o sucesso da aprendizagem.

O exercício de elaboração dos mapas conceituais se deu após a apresentação do conteúdo por parte do professor, como explicitado na sessão anterior. Na ocasião foram discutidos os principais conceitos sobre o tema Gravitação, dentre eles Lei da Gravitação Universal e Leis de Kepler.

Após a etapa de estudos sobre esses conceitos, foi pedido aos alunos que desenhasssem um mapa conceitual, sem utilizar material de consulta. Os mapas foram analisados seguindo a classificação quantitativa proposta por Novak (1984) e também foram classificados utilizando as recomendações de Tavares (2007). Na Figura 23 temos a representação do momento de elaboração dos mapas conceituais.

Figura 23. Elaboração de mapa conceitual.



Fonte: próprio autor

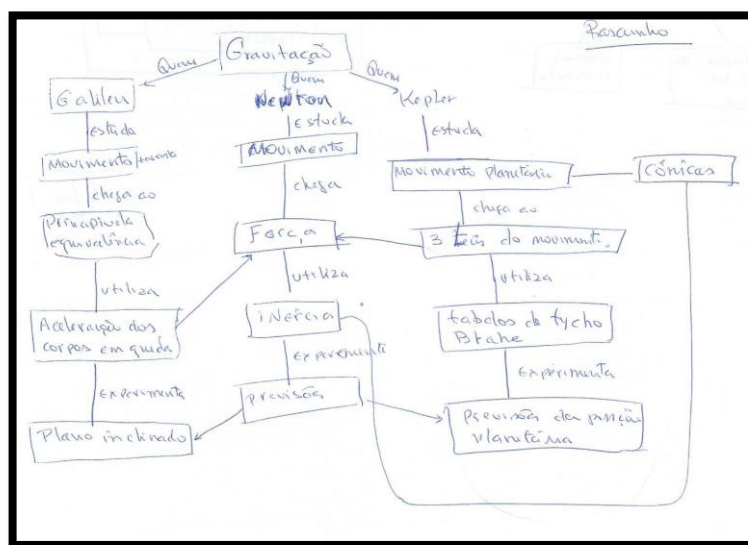
Tavares (2007) desenvolveu um trabalho de classificação quanto ao formato dos mapas conceituais. Ele elencou quatro tipos principais de MC: Aranha, Fluxograma, Entrada e Saída e Hierárquico.

No modelo tipo Aranha, o conceito inclusivo, ou seja, o conceito mais geral é colocado no centro do mapa e a partir dele fluem os ramos de forma radial. O mapa do tipo Fluxograma organiza a informação de forma linear. Embora facilite a leitura dos dados, esse tipo de mapa dificulta a expansão do tema, uma vez que limita o pensamento crítico. O tipo Entrada-Saída é bem parecido com o fluxograma, mas enfatiza a relação entre um ponto de partida e um ponto de chegada, isto é, os conceitos estão rigidamente conectados um ao outro. Dificilmente esse tipo de mapa ganha ramos além do central.

O último tipo de mapa conceitual proposto por Tavares (2007) é o Hierárquico. Nele, a informação é apresentada de forma que o conceito mais geral é colocado no topo do mapa e dele partem os conceitos mais específicos sem, com isto, implicar qualquer julgamento sobre a importância de cada conceito, explicitando apenas que o conhecimento é externalizado de forma diferenciada, o que pode atrapalhar sua construção ao exigir do autor do mapa um entendimento mais aprofundado sobre o tema discutido.

Neste trabalho identificamos que a maioria dos alunos envolvidos construiu mapas do tipo Hierárquico, com destaque para o mapa construído pelo **Aluno A4**, que não apresentou uma estrutura hierárquica entre os conceitos. Na Figura 24 apresentamos o mapa desenhado pelo **Aluno A3**. Nele percebemos a presença do conceito central, Gravitação, ou seja, o conceito a partir do qual irá se desenvolver todo o processo de construção das proposições. A partir dele originam-se três nomes que fizeram parte do desenvolvimento dessa Ciência: GALILEU, NEWTON e KEPLER. Logo em seguida, um conceito comum à investigação desses três físicos se destaca: MOVIMENTO. O autor poderia ter feito uma única ligação, mas como esses pesquisadores deram contribuições diferentes para a explicação do movimento, o **Aluno A3** preferiu criar ramos diferentes. Essa especificidade para a produção de conhecimento sobre o MOVIMENTO aparece de forma clara nos conceitos subsequentes.

Figura 24. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A3.



Fonte: próprio autor

Na aprendizagem significativa a avaliação ganha a conotação de análise do processo de ensino. Lemos (2011) nos relembra que a aprendizagem significativa é o processo no qual

o indivíduo relaciona uma nova informação com outra já existente na sua rede cognitiva. Então o processo de avaliação de uma aprendizagem significativa tem como objetivo verificar se o aluno consegue atribuir significado aos conceitos.

Novak (1984) fala que não existe mapa certo e errado, existe o mapa que o aluno desenhou. Na sua concepção, MCs são instrumentos de análise qualitativa, nos quais o professor analisa as ligações conceituais que o aluno realiza. Mas, dado que vivemos numa sociedade orientada pelos números, grande parte dos alunos e professores manifestou o desejo de pontuar os mapas conceituais (NOVAK, 1984, p.113).

O sistema de pontuação sugerido por Novak se baseia nas concepções da aprendizagem significativa de Ausubel: estrutura hierarquizada, diferenciação progressiva e reconciliação integradora. E é a partir desses princípios que um MC pode ser analisado e pontuado.

Segundo Novak (1984), a estrutura hierárquica tem como base o conceito de subsunção. Como discutido anteriormente, para que ocorra a aprendizagem significativa, os novos conceitos se ligam a conceitos já existentes na rede cognitiva do aluno. Portanto, numa estrutura hierárquica bem sedimentada, a ordem deve ser iniciada por conceitos mais gerais, que abordam de forma abrangente o assunto estudado para logo ser seguida por uma abordagem mais específica. Portanto, na hierarquia de um MC, deve-se observar como os conceitos são organizados e se seguem uma linha clara de conexão. Essa estratégia se mostra relevante por tornar o aluno mais ativo, ou seja, o aluno precisa decidir quais os conceitos mais relevantes e colocá-los em ordem de significância.

A diferenciação progressiva é, segundo Novak (1984), o princípio no qual os conceitos adquirem maior significado à medida que vão sendo trabalhados. Os conceitos vão ganhando significados mais robustos conforme novas ligações se estabelecem na rede cognitiva do aluno. Como exemplo, Novak (1984) nos fala do conceito de clima: uma criança entende o clima de forma diferente de um adulto, pois este, com o passar do tempo, foi incorporando novos significados ao conceito. Ainda segundo o autor, uma forma de avaliar o estágio de diferenciação progressiva do aluno é pedir que ele construa um MC a partir de um conjunto de conceitos. As ligações que o aluno realizar ajudarão o professor a traçar estratégias de ensino.

A reconciliação integradora determina que a aprendizagem significativa é melhorada quando o aluno reconhece novas relações conceituais entre conjuntos de conceitos ou proposições (NOVAK, 1984, p. 119). A reconciliação integradora está relacionada de forma direta à diferenciação progressiva e está ligada à nova abordagem que o aluno dá ao conceito.

Apresenta-se no Quadro 8 a pontuação obtida pelos alunos:

Quadro 8. Pontuação dos mapas conceituais.

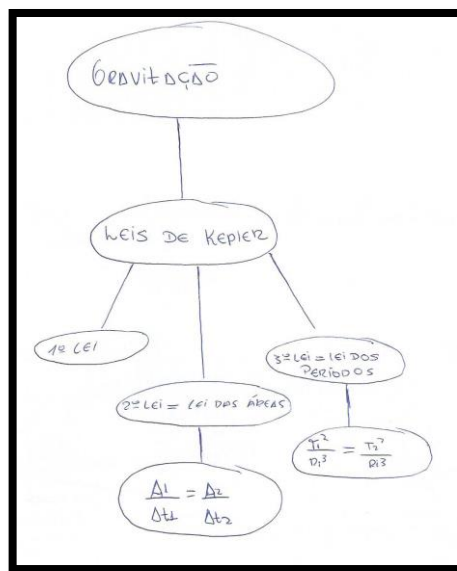
<i>Aluno</i>	CrITÉrios de avaliaÇão	Quantidade	Pontuação
A1	Proposições válidas	0	0
	Hierarquia	1	5
	Ligação cruzada	0	0
	Exemplos	0	0
			Total 5 pontos
A2	Proposições válidas	0	0
	Hierarquia	2	10
	Ligação cruzada	0	0
	Exemplos	0	0
			Total 10 pontos
A3	Proposições válidas	17	17
	Hierarquia	5	25
	Ligação cruzada	1	10
	Ligação cruzada	2	4
	Exemplo	0	0
			Total 56 pontos
A4	Proposições válidas	0	0
	Hierarquia	0	0
	Ligação cruzada	0	0
	Exemplos	0	0
			Total 0 pontos
A5	Proposições válidas	0	0
	Hierarquia	3	15
	Ligação cruzada	0	0
	Exemplos	0	0
			Total 15 pontos
A6	Proposições válidas	0	0
	Hierarquia	3	15
	Ligação cruzada	0	0
	Exemplos	2	2
			Total 17 pontos
A7	Proposições válidas	7	7
	Hierarquia	2	10
	Ligação cruzada	0	0
	Exemplos	0	0
			Total 17 pontos
A8	Proposições válidas	13	13
	Hierarquia	4	20
	Ligação cruzada	0	0
	Exemplos	0	0
			Total 33 pontos

Fonte: próprio autor

Destacamos o fato de alguns alunos não terem pontuado no critério Proposições Válidas, pois a tabela de classificação de mapas conceituais de Joseph D. Novak utiliza o modelo ausubeliano. Nesse modelo, conforme Novak (1984), dois conceitos precisam ser ligados por palavras, podendo ser preposições, verbos ou até mesmo frases curtas, que ajudem o leitor a dar significado às proposições.

Na Figura 25, temos um exemplo de um mapa conceitual que não obedece a esse princípio. Observamos que os conceitos não estão conectados por palavras de ligação.

Figura 25. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A6.

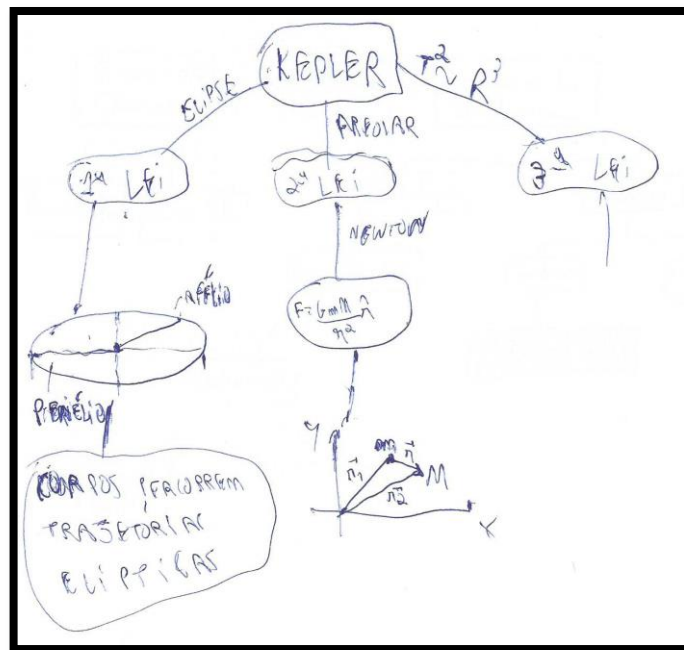


Fonte: próprio autor

A falta de conectores entre os conceitos gera no leitor uma dificuldade de perceber as proposições. Desta forma, o mapa conceitual perde sentido, passando a ser um instrumento desconexo dos objetivos pedagógicos para o tema trabalhado em sala de aula.

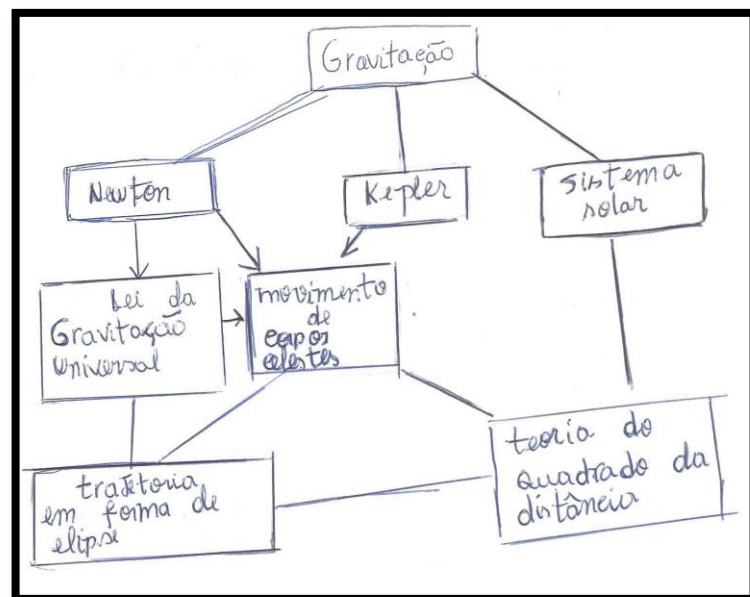
Esse fato foi percebido no MC desenhado pelo Aluno A1 e apresentado na Figura 26, no MC desenhado pelo Aluno A2, apresentado na Figura 27 e no MC desenhado pelo Aluno A4, como visto na Figura 28. Neste último MC faremos a análise do mapa do Aluno A4, analisado pelo Aluno A5 e a análise do mapa criado pelo Aluno A8, analisado pelo Aluno A7.

Figura 26. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A1.



Fonte: próprio autor

Figura 27. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A2.

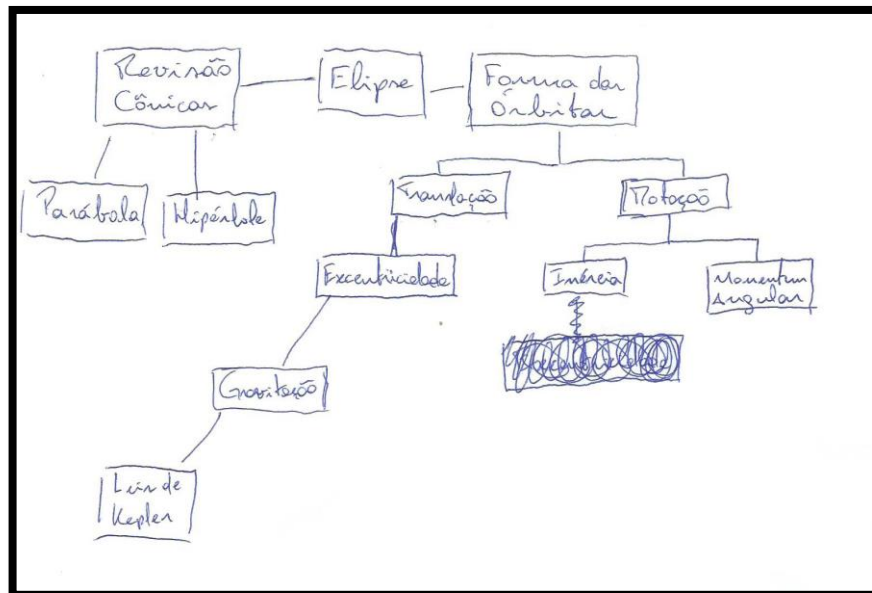


Fonte: próprio autor

Uma observação importante é o fato de o Aluno A4 não ter obtido nenhuma pontuação no mapa desenhado por ele, como é possível observar na Figura 28. O aluno em

questão não organizou as ideias de forma hierárquica, ou seja, não fez uma diferenciação progressiva dos conceitos, colocando o conceito gravitação como sendo mais específico do que o conceito excentricidade. Além disso, A4 também não fez uso de palavras de ligação.

Figura 28. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A4.



Fonte: próprio autor

A análise qualitativa de um mapa conceitual passa pelo exame da validade das proposições. Para Oliveira e Silva *et al* (2014) mapas conceituais representam a idiosincrasia de conceitos, isto é, indicam as relações lógicas construídas pelo indivíduo que fez o mapa. Dessa forma, não podemos dizer, ao avaliar um MC, que existe mapa certo ou errado. Vale o mapa que a pessoa constrói. Um bom mapa conceitual, segundo Tavares (2007), é aquele que possui uma boa seleção de conceitos, além de um grande número de ligações, revelando a familiaridade com o tema.

Nesse trabalho houve o compartilhamento dos mapas produzidos pelos alunos, isto é, após a elaboração dos mapas de forma individual, os mapas foram compartilhados com os outros alunos do grupo amostral e estes puderam elaborar a partir deles proposições tidas como válidas. Façamos agora a análise das proposições que foram extraídas dos mapas desenhados durante este trabalho.

O mapa do Aluno A4, apresentado na Figura 28, possui alguns problemas de execução, dentre eles a falta de hierarquia e palavras de ligação. Entretanto, achamos que não

seria interessante excluí-lo da análise das proposições, uma vez que um dos objetivos deste trabalho é verificar o potencial pedagógico dos mapas conceituais e, como já falamos, não existe mapa conceitual certo ou errado. Seguem as proposições percebidas pelo Aluno A5 sobre o mapa do Aluno A4:

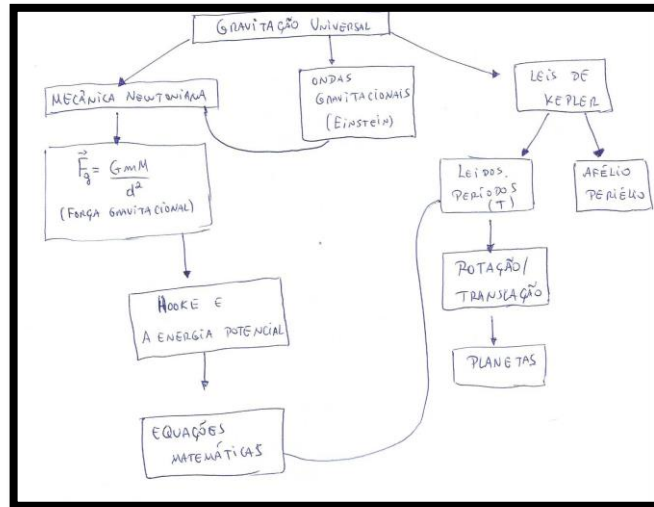
- a) Por meio do estudo das cônicas (geometria analítica) chegamos ao conceito de parábola e hipérbole e também elipse.
- b) A elipse nos fornece o formato da órbita;
- c) Subdividindo temos rotação e translação. Na primeira, destaque para excentricidade, que na gravitação é fundamental para as leis de Kepler;
- d) Na rotação podemos ver os movimentos de inércia e os momentos angulares do objeto de estudo.

Chama a atenção, nas proposições elaboradas pelo Aluno A5, o modo como este complementa os conceitos abordados no mapa do Aluno A4. Na primeira proposição, o Aluno A5 destaca que o estudo das cônicas é um dos assuntos da Geometria Analítica, fazendo-nos perceber que esse aluno já possui em sua rede cognitiva elementos de ancoragem para o tópico.

A falta de Hierarquia é percebida nas proposições 1 e 2. Na primeira proposição o conceito ELIPSE é mais específico que o conceito REVISÃO CÔNICA. Entretanto, esse mesmo conceito ELIPSE passa a ter um novo papel na proposição 2. É necessário que, na elaboração de uma proposição, o aluno perceba todos os conceitos de um mesmo grupo que dela faz parte.

Contudo, o fato de esse mapa não ter os elementos propostos por Novak (1984), não tira dele o mérito de ter servido como instrumento de ensino para o tema Gravitação. Outra questão que levantamos é se o Aluno A5 não estaria resgatando proposições de seu próprio mapa conceitual. Na Figura 29 apresentamos o mapa desenhado por ele:

Figura 29. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A5.

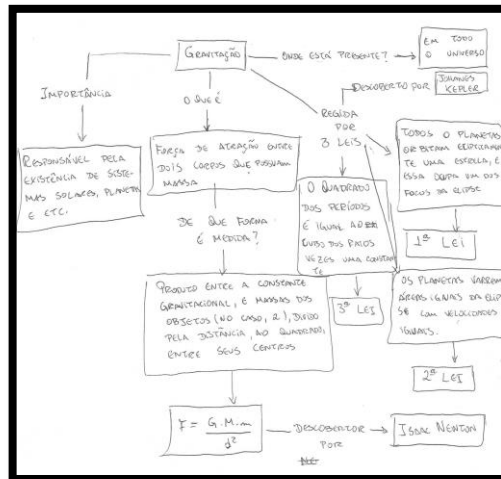


Fonte: próprio autor

O mapa do Aluno A5 também não possui elementos de ligação entre os conceitos, o que dificulta também a elaboração de proposições. Percebemos que a interseção entre os mapas é pequena, já que os dois mapas só possuem dois conceitos em comum, ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO.

Encontramos em Silveira e Miltão (2011) a explicação para o sucesso alcançado pelo Aluno A8 na concepção de seu mapa conceitual (ver Figura 30): os autores nos falam que mapas conceituais não precisam necessariamente seguir o modelo Ausubeliano, bem como não há uma obrigatoriedade de seguir regras rígidas para sua elaboração. Para esses autores, mais vale a finalidade de um mapa de MC do que os meios que foram usados para sua construção.

Figura 30. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A8.



Fonte: próprio autor

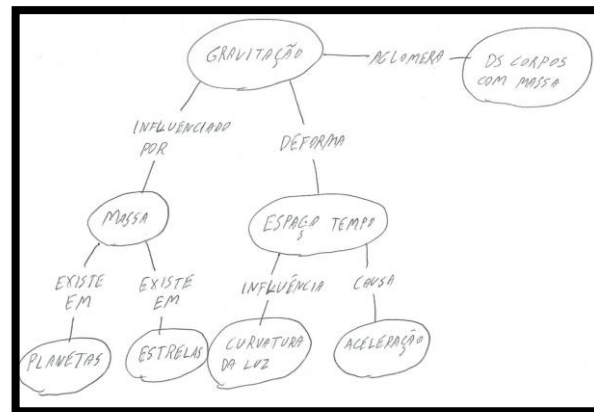
Agora apresentamos as proposições que o Aluno A7 percebeu e considerou válidas, a partir do mapa desenhado pelo Aluno A8:

- a) Gravitação responsável pela existência de sistemas solares, planetas etc.;
- b) Gravitação – força de atração entre dois corpos que possuem massa;
- c) Força gravitacional é $F = \frac{G \cdot m \cdot M}{d^2}$, força gravitacional é igual à constante gravitacional pelo produto das massas dos objetos, diretamente proporcional ao quadrado da distância dos corpos;
- d) A primeira Lei de Kepler para gravitação: todos os planetas orbitam elipticamente uma estrela;
- e) A segunda lei de Kepler: planetas varrem áreas iguais à da elipse;
- f) A terceira lei de Kepler: o quadrado dos períodos é igual ao cubo dos raios.

Podemos destacar no mapa do Aluno A8 a presença das palavras de ligação, o que segundo Moreira (1986), diminui a necessidade do autor explicar o MC, o seja, a presença de conectores entre os conceitos aumenta a autossuficiência do MC. Outro fato a ser observado nesse mapa é o excesso de palavras no campo destinado ao conceito.

Na Figura 31 é apresentado o MC desenhado pelo Aluno A7. Embora seja um mapa simples, com poucos conceitos, percebe-se a presença de palavras de conexão e alguns exemplos na parte final do mapa. Ter feito um mapa dentro do modelo ausubeliano pode ter favorecido a leitura e posterior apresentação das proposições do MC analisadas pelo aluno, neste caso, o mapa do Aluno A8.

Figura 31. Mapa conceitual desenhado pelo Aluno A7.



Fonte: próprio autor

Oliveira e Silva *et al.* (2014) nos falam de três pontos que precisam ser avaliados pelo professor ao trabalhar mapas conceituais em sala:

- As experiências vividas pelo aluno se refletem na construção do mapa;
- As ligações entre as ideias e as experiências dos alunos são externalizadas no mapa;
- Embora o mapa conceitual seja um instrumento individual, ele deve carregar traços em comum.

É esse último ponto que iremos destacar agora. No Quadro 9 apresentamos os principais conceitos abordados pelos alunos deste grupo.

Quadro 9. Principais conceitos abordados nos mapas conceituais.

Identificação do Aluno	Conceitos
A1	Leis de Kepler; Lei da Gravitação universal.
A2	Gravitação; Newton; Kepler; Sistema solar; Movimento dos corpos; Lei da gravitação Universal;
A3	Gravitação; Galileu; Newton; Kepler; Leis de Kepler; Força; Princípio da equivalência.
A4	Kepler; Elipse; Cônicas; Movimento planetário.
A5	Gravitação; Mecânica Newtoniana;

	Ondas gravitacionais; Leis de Kepler.
A6	Gravitação; Kepler; Leis de Kepler.
A7	Gravitação; Massa; Planetas; Curvatura da luz; Espaço tempo; Aceleração.
A8	Gravitação; Kepler; Leis de Kepler; Lei da Gravitação Universal; Newton.

Fonte: próprio autor

Com a ajuda do Quadro 9 verificamos que, para os alunos, o conceito de Gravitação está fortemente ligado a Kepler, Newton e as suas leis para o movimento dos corpos celestes. Embora o programa curricular proposto para a disciplina Física Geral 2 envolvesse vários temas relacionados à Gravitação, estes foram os conceitos com os quais os alunos mostraram mais familiaridade ou que enriqueceram a sua teia cognitiva de forma significativa, servindo de subsunçor para outros conhecimentos a serem construídos posteriormente.

Em resumo, o mapa conceitual é um instrumento de ensino e aprendizagem individual. Cada aluno desenvolve e desenha seu próprio mapa, baseado nas associações cognitivas que desenvolve sobre um determinado assunto.

Nesse trabalho de pesquisa de campo identificamos somente um tipo de mapa conceitual, aquele no qual os conceitos são apresentados de forma hierárquica. A tabela de pontuação de mapas conceituais é um instrumento que pode ser utilizado pelo professor para quantificar o mapa, isto é, o aluno recebe uma nota por aquilo que produziu, item tão desejado na educação tradicional.

Numa abordagem de aprendizagem significativa, o mapa conceitual se mostra uma ferramenta útil para que o aluno possa externalizar o que aprendeu. De forma mais específica, ficou claro, pela análise dos mapas conceituais produzidos pelos alunos do nosso grupo amostral, que o conceito Leis de Kepler e Lei da Gravitação Universal foi recorrente em quase todos os MCs.

6.2. Categoria Concepções dos alunos

Ausubel (1968) defende a ideia de que só é possível que o aluno aprenda de forma significativa caso se sinta motivado para o ensino. Em outras palavras, o professor sozinho não consegue fazer com que o aluno aprenda, mas este precisa querer por si mesmo o conhecimento. Portanto, nesta categoria procuramos entender qual a visão do aluno frente ao curso de licenciatura em Física, suas percepções sobre currículo, as dificuldades enfrentadas, quais as motivações que levaram o aluno a ingressar e permanecer no Curso e como ele percebe a Física e as ferramentas tecnológicas como instrumentos pedagógicos para o ensino de Física.

Apresentamos a partir de agora os dados coletados durante a entrevista realizada com os alunos participantes. Expomos as perguntas feitas aos alunos, algumas repostas que consideramos representar o questionamento e nossa análise dos enunciados.

1. Na sua visão o que é Física?

É a ideia de você criar um modelo da realidade que seja o menos ambíguo possível, criar recorte da realidade onde você pode ao mesmo tempo simplificá-la e generalizar, a Física seria um modo de modernizar a natureza (Aluno A3).

A Física para mim é a Ciência que vê situações do cotidiano, que parecem óbvias, e fornece uma explicação. É uma ciência gostosa de se estudar, fenômenos que nós vemos e não sabemos o que está acontecendo ali e a Física dá uma explicação plausível para o que está acontecendo ali (Aluno A5).

A Física é umas das coisas mais importantes para o ser humano, ela tem uma importância para mostrar a capacidade do ser humano de onde ele consegue chegar. Daqui a alguns anos a gente pode subir um patamar já que as pesquisas estão ficando restritas. (Aluno A4).

Mais que dar significado a um termo ou à definição de uma Ciência vivenciada por muitos desde o ensino fundamental, nosso questionamento aos alunos participantes da pesquisa sobre o que é a Física visa entender qual visão que os futuros professores possuem a respeito do seu campo de atuação profissional e como se enquadram como futuros agentes transformadores dessa Ciência.

As falas do **Aluno A3** e do **Aluno A5** nos fazem perceber que eles possuem uma visão de que a Física é uma ciência capaz de moldar a natureza, como se a função da Física fosse enquadrar os fenômenos naturais em teorias e equações matemáticas, encaixotá-los e fazer uso conforme a necessidade do ser humano. Bem, a natureza está posta e é a ciência que se desenvolve e não o contrário; a queda das folhas de uma árvore sempre aconteceu pelos efeitos da gravidade, entretanto a forma como o homem explicava esse fenômeno sofreu mudanças ao longo do tempo. Gleiser (2000) afirma que as ciências naturais, onde encontramos a Física, se preocupam com a descoberta do mundo e suas propriedades e delas

nos apropriamos através de uma linguagem que possamos compreender. Portanto, segundo Gleiser (2000), o ensino de Física, em qualquer nível, deve estar atrelado:

- a) Ao questionamento metafísico, no qual perguntas do tipo “Será que existe vida fora da Terra?”, embora sem resposta, sejam fontes para a busca pelo conhecimento;
- b) À integração com a natureza, pois o professor precisa mostrar aos seus alunos que a ciência não afasta e sim aproxima o homem da natureza;
- c) À formação do cidadão do mundo, onde o computador e a *internet* devem fazer parte da rotina da escola, a fim de integrar os diferentes conhecimentos produzidos no mundo;
- d) À paixão pela descoberta, lá que o aluno precisa participar das descobertas e não receber a informação pronta.

Os enunciados coletados durante a entrevista semiestruturada nos mostram que os alunos colocam a Física como uma Ciência universal, capaz de explicar todos os fenômenos da natureza e responsável pelo desenvolvimento tecnológico do mundo. Precisamos lembrar que o desenvolvimento da ciência, na maioria das vezes, não se dá por meio de fatos ou pessoas isoladas.

A interdisciplinaridade é algo que precisa ser trabalhado em sala de aula, para que os alunos não criem uma visão elitista da Física. Pérez *et al.* (2001) alertam que uma das distorções sobre ciência que mais se propaga entre professores é o individualismo e o elitismo na ciência, onde o cooperativismo e o intercâmbio entre equipes de trabalho são renegados a segundo plano, com isso os alunos podem pensar que a Física é uma ciência superior às demais.

Os autores defendem uma maior acessibilidade à ciência, em que a complexidade entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) seja considerada e trabalhada em sala de aula. Dessa forma esperamos que o aluno tenha uma concepção ampla da Física e que não desenvolva uma visão ingênua sobre a ciência.

2. Qual o papel do professor de Física frente ao contexto social atual?

A importância maior do professor é divulgar a ciência e divulgar como as coisas funcionam para evitar que as pessoas façam muita besteira, evitar acidentes (Aluno A7).

O professor de Física, pegando a sociedade de hoje, nós temos uma sociedade que tende a menos pensar, o aluno não sabe o que está fazendo, então o professor que deve estar engajado socialmente, deve ter o compromisso que os alunos entendam o conteúdo e façam a análise do que estão estudando (Aluno A5).

As respostas a esta questão se complementam na pergunta anterior. Perceber o papel do professor na visão desses alunos, nos fez ter ideia de como eles imaginam que será sua atuação na sociedade. Segundo Silva e Schirlo (2014), importantes mudanças atribuídas aos avanços tecnológicos estão acontecendo no cenário mundial. Isto, por si só, desencadeia transformações em todas as áreas do conhecimento. Então, pensar na formação do professor é, dentre outros fatores, considerar que ele irá trabalhar numa sala de aula com alunos tecnológicos, que dificilmente aceitarão metodologias embasadas no ensino mecânico.

Entre os entrevistados, todos identificaram como sendo muito importante a figura do professor para o desenvolvimento da Física, ao passo que para os alunos arguidos é do professor a responsabilidade de desmistificar o ensino de Física, mostrando que essa é uma ciência importante.

Alarcão (2001) *apud* Silva e Schirlo (2014) defende que os professores devem estar aptos a atuar na escola do século XXI e para isso devem se preparar internalizando diferentes conhecimentos para aprimorar suas habilidades. Segundo o autor, devemos estar atentos à formação continuada do professor, que precisa estar articulada com as inovações, para assim adequar suas metodologias de ensino à sociedade na qual está inserido.

Outro lado identificado na fala dos entrevistados é o papel social que o professor desempenha junto aos seus alunos. Segundo o aluno A5, houve uma mudança de comportamento na sociedade – o aluno possui muita informação sem, contudo, gerar conhecimento – onde a figura do professor surge como um facilitador, um mediador na construção do conhecimento.

Porém, no enunciado da fala do aluno A2, identificamos outra visão do professor:

O professor é a principal entidade, é ele quem tira as dúvidas, se o aluno tá enganado ele mostra o erro, e ele tem mais experiência, por isso é professor. Eu acho que o professor deve procurar não só mostrar o conteúdo, mas uma lógica entre o assunto e o que o aluno vê no cotidiano (Aluno A2).

Para o aluno A2, o professor é o centro do conhecimento; é dele a responsabilidade do aprendizado do aluno. Seabra *apud* Rosa e Rosa (2007) afirma que não há mais espaço na sociedade contemporânea para a simples absorção de conteúdo. Segundo o autor, o professor deve assumir uma postura de aprendiz com a finalidade de desenvolver competências ligadas à criatividade e inovação. Percebemos na fala do autor que não há mais espaço nas escolas e

universidades para professores detentores do conhecimento e alunos tratados como folhas em branco, ou seja, sem informação. Para Rosa e Rosa (2007), o professor tem o papel de facilitar a compreensão dos conceitos e fenômenos da Física.

3. O Curso de licenciatura em Física era sua primeira opção como curso de ensino superior? Quais foram suas motivações para ingressar no curso de licenciatura em Física do IFCE?

Não a princípio, ainda quero Engenharia Civil, mas, como não consegui, era a que ficava mais próxima [sic]. Licenciatura em Física até eu conseguir engenharia, eu posso continuar na área acadêmica quanto ensinar outras pessoas. O IFCE é mais acolhedor, o clima é de colégio e por ser mais cômodo (Aluno A6).

Foi minha primeira opção. Primeiramente eu sempre gostei de dar aula e com eu gosto muito de matemática e de coisas experimentais e no ensino médio eu conheci a Física, eu me apaixonei (Aluno A2).

Eu já cheguei a cursar Física antes, Bacharelado na UECE, mas tive uns problemas com greve e me desestimulei e passei em Engenharia Elétrica na UFC. Mas eu sempre gostei de Física, eu queria fazer bacharelado, mas como não é possível eu estou na Licenciatura. Infelizmente eu não tenho motivação para licenciatura, as cadeiras pedagógicas. O que me motivou foi dar umas aulas, talvez o que me motivou foi querer aprender a dar aula, essas coisas de aluno, quero me encontrar como professor. Estou aprendendo a me comunicar, eu tenho muita dificuldade em me comunicar (Aluno A1).

Ser ou não ser professor de Física? Cinco dos oito alunos que participam dessa pesquisa relataram que o curso de Licenciatura em Física não foi a primeira opção para cursar o ensino superior. Desses cinco alunos, um respondeu que pretende terminar o curso, mas que vai utilizar os conhecimentos construídos para alçar outra carreira profissional. Três alunos disseram não se identificar com a parte pedagógica do curso, ou seja, as disciplinas que caracterizam o curso de Física como sendo de licenciatura.

O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) divulgou no relatório do Censo da educação superior do Brasil uma tendência de diminuição do número de formandos nos cursos de licenciatura. Os dados do Censo 2014 mostram que a matrícula nos cursos de formação de professores de Física representa 1,7% do total de matrículas de licenciatura, sendo um dos mais baixos índices dos cursos de ensino superior da área de Ciências da Natureza. Esse índice, além de revelar uma baixa procura de estudantes pelo curso de licenciatura, nos leva à reflexão do que leva um aluno do ensino médio a escolher um curso de ensino superior em Física.

Dentre os entrevistados, a questão de empatia com a Física se mostrou significativa, até mesmo entre os alunos que não desejam seguir a carreira de docente. Este fato é interessante, porque gera um pressuposto positivo para a aprendizagem do aluno, tendo em

vista que, segundo Ausubel (1968), é muito difícil um professor conseguir que ele aprenda sem interesse.

Feitosa (2013) afirma que existe uma ligação muito forte entre a forma como a Física é apresentada no ensino médio e a escolha da carreira de professor de Física. Dentre os fatores que contribuem para essa escolha destacamos a curiosidade por fatos científicos. Surge nesse ponto a importância do uso de métodos de ensino que promovam a busca pelo conhecimento, utilizando instrumentos que provoquem a curiosidade e encorajem o protagonismo do aluno.

A próxima pergunta vem ao encontro desse sentimento de querer aprender. Embora Barcellos (2013) argumente que não há uma definição clara sobre currículo, a matriz curricular de um curso passa pelo atendimento de necessidades, sejam elas da instituição de ensino, do professor, do aluno, da comunidade ou do Estado.

4. Você considera que a grade curricular do seu curso atende às expectativas de sua formação?

Não, porque primeiro é uma grade mista. A gente trabalha com três pontos na licenciatura: o ensino, a física propriamente dita, que tem um pouco de pesquisa e a parte matemática. É um critério e eles não se articulam muito bem, a matemática e a da física tentam às vezes, mas as coisas nem sempre são muito felizes, os professores que dão as ferramentas matemáticas não são professores da Física, então são dadas para os matemáticos e não para os físicos e isso causa, eu acho, que os alunos não tem uma visão de como esse aparato pode ser usado. [...]. E a desconexão mais forte é entre as questões pedagógicas, porque existe uma preocupação enorme, muito grande em como dar uma boa aula, enquanto o corpo docente não tem nenhuma preocupação de como essa prática pedagógica se dá no dia a dia, existe uma disparidade completa, é aquela história, faça o que eu digo não faça o que eu faço. Então a licenciatura acaba se tornando um curso de bacharelado piorado, você forma professores para serem dinâmicos usando métodos que não são. Você não trabalha com computadores, enquanto as escolas utilizam computadores para buscar o conhecimento e o entendimento. A gente só tem um laboratório e, fora as cadeiras experimentais, os outros professores não utilizam os laboratórios para mostrar a prática, o que seria uma coisa necessária, já que estamos numa licenciatura em física e não numa licenciatura em matemática, que só precisa de uma lousa e um pincel (Aluno A3).

Eu acho que atende, tem algumas disciplinas bem interessantes, no caso de Libras, a Didática, elas agregam muito e devem ser obrigatórias. E voltado para Física acho muito interessante uma disciplina voltada para Astronomia, que é algo que eu gosto. Eu descobri que gosto mais de Física do que eu imaginava. Eu acho que ainda há uma distância, há uma diferença entre o ensino da ciência e a ciência propriamente dita, há muitas barreiras para ensinar, principalmente na Física, onde o pessoal acha que é só decorar fórmulas (Aluno A4).

Que conhecimentos é preciso desenvolver para ser um bom professor de Física? E por onde passa a construção desses conhecimentos? Nessa questão, estamos trabalhando a motivação para a aprendizagem. Segundo Barcellos (2013), o currículo se estabelece em

relação íntima com algum saber, que por algum motivo foi expropriado de algum contexto e repensado em outro.

Embora o cerne deste trabalho não seja o currículo e os saberes que estão sendo desenvolvidos no Curso de Licenciatura em Física do IFCE, ao propor uma pergunta que caracterize a percepção do aluno quando ao currículo do seu curso, estamos buscando informações sobre as motivações para ser professor de Física, elemento que, para Ausubel, é importante para a construção da estrutura cognitiva do aluno.

Todos os alunos relataram conhecer a grade curricular do curso de Licenciatura em Física do IFCE, e alguns tecem críticas fortes e defendem uma reformulação, tanto na quantidade de disciplinas quanto na forma como elas são trabalhadas em sala de aula.

Barcellos (2013) relata que a formação de um professor de Física ainda passa pela construção de saberes específicos e saberes pedagógicos, sendo o específico aquele inerente à especialidade do professor – por exemplo, professor de Física, de Química – e os saberes pedagógicos, os que fundamentam a prática pedagógica.

Essa definição acaba por gerar uma dicotomia, isto é, existem os professores que ensinam Física e os professores que ensinam as disciplinas pedagógicas e ambos não interagem. Esse sentimento é percebido na fala de alguns alunos.

Concluimos que, embora a maioria dos alunos que participaram da entrevista esteja satisfeita com a grade curricular da Licenciatura em Física do IFCE, ainda há uma lacuna entre a Física e o ensino de Física. Adiantando os enunciados da próxima pergunta, a inserção de elementos pedagógicos como o uso de Tecnologias Digitais de Comunicação e Informação (TDIC), é uma das formas de ajudar o futuro professor a desenvolver conhecimentos sobre metodologias de ensino.

5. Como você define as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação? Qual sua importância para o ensino de Física?

Tem pontos positivos e negativos, quando o professor utiliza só para passar slides acaba se tornando uma aula cansativa. Se der liberdade demais também não é bom. Livros, eu prefiro os físicos, os digitais acabam complicando. O ponto positivo, é que uma coisa que está no livro só no desenho, a tecnologia pode mostrar como é na prática. (Aluno A6).

Nós somos seres tecnológicos, todos os artefatos criados para passar informação são tecnológicos. As crianças nascem num mundo tecnológico e os professores, como são mais velhos, acham que isso não favorece o ensino. Antes a gente precisava ir na [sic] biblioteca e hoje tem a *internet* e há um universo muito grande, se isso for bem instruído, pode ser uma ferramenta muito boa. Já que a gente tem um déficit em laboratório, a gente pode fazer uma simulação computacional e os professores não se preocupam sequer em entender uma linguagem computacional básica. (Aluno A3).

Nesta pesquisa, estamos trabalhando diretamente com uma ferramenta digital, o *software* Mathematica®. Procuramos, com essa questão, identificar elementos que nos revelem a visão sobre o uso de tecnologias digitais no ensino. Apontamos a seguir três pontos retirados das falas dos alunos:

- a) Vivemos num mundo tecnológico: houve uma ideia de complementação das respostas a essa pergunta com as respostas dadas à primeira pergunta (O que é Física?). A ideia de desenvolvimento tecnológico e a Física são novamente mencionadas, embora as definições sobre TDIC tenham sido muito limitadas ou inexistentes na fala dos alunos. Os enunciados retirados das entrevistas nos mostram que os alunos sabem o que são tais ferramentas, conseguem identificar sua importância para o ensino e aprendizagem de Física, porém vivenciam pouco essa experiência. O problema de não vivenciar o uso das TDIC passa pelas críticas levantadas anteriormente à grade curricular. Como podem ser formados professores de Física, que serão colocados em situações profissionais que requerem o uso de metodologias de ensino envolvendo ferramentas tecnológicas, se durante sua formação inicial não houver esse suporte? Mais que identificar elementos de uma aprendizagem significativa com o uso do Mathematica® percebemos que estamos contribuindo para a formação desse futuro professor ao apresentar-lhe essa ferramenta;
- b) Pontos positivos quanto ao uso das TDIC: nos enunciados das entrevistas, identificamos que os alunos veem como positiva a experiência do uso de TDIC para a diminuição do abstracionismo em alguns fenômenos físicos. Além disso, o uso de ferramentas tecnológicas aumenta as possibilidades de ensino, fazendo com que o aluno experimente novas situações, em substituição a modelos mais tradicionais. Teixeira (2014) defende a ideia de que a formação do professor não deve ir pelo caminho de instrumentalizá-lo para o uso das TDIC e sim na direção de uma vivência do uso crítico e criativo das ferramentas;
- c) Pontos negativos quanto ao uso das TDIC: identificamos que os pontos negativos levantados em relação às TDIC estão mais ligados a experiências não muito boas que os alunos tiveram ao longo da vida acadêmica do que propriamente a um

posicionamento crítico frente ao que foi questionado. O aluno A3 relatou que é muito difícil estabelecer uma relação estreita entre TDIC e uso em sala de aula, se falta interesse do professor em entender uma linguagem de programação. Esse fato coincide com a crítica do mesmo aluno ao currículo que é ofertado na licenciatura em Física.

Outro ponto observado, agora pelo aluno A6, está no fato de alguns professores se utilizarem das ferramentas tecnológicas insistindo numa postura de professor tradicional. Este mesmo aluno afirma que, em alguns casos, o livro ainda é a melhor ferramenta para o ensino.

Criar ambientes para o uso e instrumentação em ferramentas digitais foi uma das ações que os alunos elencaram como necessárias para sua formação. Não basta ter uma disciplina que contemple esse desejo, é preciso que haja, por parte dos professores, empenho na inserção de tecnologias para o ensino de Física. Dessa forma se estará formando profissionais que possuam competências e habilidades para construir metodologias baseadas no uso de tecnologias digitais.

6. Qual a importância da Física e, mais particularmente, do estudo da Gravitação no contexto da sociedade contemporânea?

Talvez não seja importante para o futuro de um país estudar Gravitação. Porque a Gravitação é baseada no passado, como surgiu e como vai [sic] ser os planetas, o surgimento de outras galáxias, a destruição de outras galáxias, eu posso estar muito enganado, eu posso estar sendo muito ignorante aqui, mas até agora o meu consentimento é esse. (Aluno A1).

Tudo que você vai fazer envolve Física, toda a tecnologia, a parte da gravitação é importante, você vai fazer um prédio, um elevador, um avião, tudo isso tem a ver com a gravidade (Aluno A8).

A maioria das pessoas pode viver muito bem sem conhecer quem foi Newton e o que é Gravitação. Como é uma área do conhecimento, as pessoas que se dedicam à Física, é a elas que compete dar importância, elas devem se esforçar, é necessário que aqueles que se propõem a estudar e a ensinar, que isso alcance o máximo de eficiência (Aluno A3).

Essa questão está ligada à visão sobre o ensino de Gravitação. A maioria dos alunos participantes relatou que o ensino de Gravitação não é importante, a não ser para as pessoas que trabalham diretamente com o tema.

Tal afirmação repercute de forma considerável no nosso trabalho, lembrando Ausubel (1968): não é possível que um aluno aprenda algum conteúdo, ou seja, integre

determinados conceitos à sua rede cognitiva, se o mesmo não possui interesse ou não vir significado em tal ação.

Então, ao não reconhecer os conceitos da Gravitação como importantes ou estando os alunos dispostos a achar que o estudo da Gravitação é mais proveitoso para pessoas que trabalham diretamente com os temas ligados a ela, não estariam os nossos alunos predispostos a não aprender sobre tal tema?

A próxima seção tem como objetivo revelar como os alunos reagiram ao uso do Mathematica® em atividades que envolvem problemas de Gravitação. Esperamos encontrar indícios que mostrem que o *software* pode ser uma ferramenta com potencial significativo e, quem sabe, capaz de modificar a cena que se desenhou nessa seção.

6.3. Uso do Mathematica® e seu potencial significativo

Nesta categoria, procuramos evidências que o Mathematica® é uma ferramenta de potencial significativo. Analisaremos enunciados extraídos da entrevista com alunos participantes do grupo amostral dessa pesquisa. Ao fim dessa seção apresentamos alguns dos resultados obtidos pelos alunos na resolução do problema proposto. As perguntas foram separadas em dois blocos. No primeiro momento, investigamos a utilização do Mathematica® pelo aluno:

1. Gostaria que você falasse da sua experiência com *softwares* voltados ao ensino e à aprendizagem. Que *softwares* você conhece? Qual deles você conheceu durante as aulas do curso de Licenciatura em Física?

Conhecimento mediano, já trabalhava com o computador antes, envolvido com a Física, principalmente para análise de imagens e controle de alguns equipamentos. Um pouco de programação também, mas básico. Dentro da universidade a gente nunca teve a oportunidade de mexer com o computador para trabalhar dentro da Física, todo o trabalho que eu tenho é anterior ao Curso, eu já trabalhava com instrumental automecânica e que precisava de um instrumental de computador e câmeras. Dentro da graduação nunca foi proposto nenhum tipo de atividade com computador, todo o conhecimento que eu tenho é anterior à graduação (Aluno A3).

É extremamente importante, no caso da Física, para ficar focado numa teoria, ele não é muito utilizado, mas, no caso de uma pesquisa, é de extrema importância. Na tecnologia atual, a computação está assumindo um nível grande: primeiro ela substituiu o braço do homem e agora está substituindo a mente. Eu faço mais para uso da pesquisa, para ir atrás de informação e, na parte de *softwares* de simulação, eu gosto muito do Proteus, e do Consol. O Mathematica® eu sempre mexi para resolver equações e funções, o que eu não consigo é fazer testes, e o Matlab, mas bem pouco (Aluno A7).

Trabalhar um *software* em sala de aula requer, dentre outras coisas, conhecimento e planejamento. Segundo Teixeira (2014), o uso de tecnologias digitais na formação inicial de

professores amplia momentos de prática pedagógica. Isso faz com que, ao utilizar uma metodologia de ensino que contemple o uso de ferramentas tecnológicas, o professor crie em sala de aula um ambiente de prática e reflexão.

Neste trabalho, estamos utilizando uma ferramenta que precisa ser operada com uma linguagem de programação própria. Tal fato exige do professor atenção. Por meio desta pergunta, mostramos que todos os alunos utilizam o computador em suas rotinas. Dentre os usos mais comuns estão as redes sociais, pesquisas para trabalhos da universidade e estudo de *softwares* que ajudem na resolução de problemas.

Verificamos que o computador e a *internet* fazem parte do cotidiano, seja em tarefas simples, como conversar com amigos em redes sociais ou ajudar na análise de dados complexos, como a resolução de uma equação diferencial.

Teixeira (2014) destaca quatro ações que podem contribuir para a formação de professores para o uso de TDIC: vivência de projetos pedagógicos com tecnologias; prática pedagógica com tecnologias; ampliação do campo de estágio em EaD e ensino de disciplina técnica com abordagem pedagógica. Contudo, os enunciados mostram que nenhuma dessas ações se mostrou consolidada durante o curso até o momento da entrevista. Os alunos entrevistados relatam o esforço individual para aprender novas linguagens de programação e conhecer ferramentas tecnológicas. Exercícios que utilizem *softwares*, como o proposto nesta pesquisa, foram exceção dentro da formação desses alunos.

2. Você já teve a oportunidade de utilizar o Mathematica® anteriormente? Como se deu a aproximação com ele?

Eu trabalhava com o Mathematica® só como aplicativo do celular, desde 2014. Eu já tinha uma ideia de como funcionava. A linguagem própria, eu peguei uns livros, uns vídeos, antes do professor dizer que ia usar, a versão computador é bem completa. A dificuldade inicial é por conta da linguagem, mas dá para ir pegando aos poucos, é mais uma questão de estudo mesmo (Aluno A3).

Nunca usei o Mathematica®. Inicialmente achei diferente, já estudei e trabalhei como programador e parece ser mais simples do que quando a gente trabalha com uma linguagem mais crua, a tendência é complicar e o programa é bem mais fácil, compila rápido. Eu não tinha ideia do que era o Mathematica®, foi quando um colega explicou o que era (Aluno A4).

Alguns alunos conheciam o Mathematica® e já faziam uso de versões para celular, o que é fator importante para o sucesso da execução das atividades propostas nesse trabalho, uma vez que o aplicativo para celular possui funcionalidades de *software* instalado em computadores.

O Mathematica® tem singularidades de uso, dentre elas estão o uso de linguagem de programação própria, cujo ponto está na sintaxe utilizada para escrever os comandos, diferente de outras linguagens, por exemplo, C ou Java. Destacamos que todos os alunos entrevistados relataram curiosidade e interesse em aprender as funcionalidades do programa. As duas próximas perguntas dizem respeito às percepções dos alunos quanto ao uso do Mathematica®.

3. Aponte os pontos positivos sobre o uso do Mathematica®.

A visualização, a interface gráfica, os comandos, depois que você tem uma familiaridade, a linguagem não é difícil, pode ser extensa, mas não é difícil (Aluno A5).

Ele pode auxiliar de várias formas, tipo, algumas vezes você não consegue visualizar algo e você joga no Mathematica® e ele mostra bem direitinho, ele facilita (Aluno A6).

Ajuda na melhor compreensão dos conceitos da matéria que está sendo estudada, ajuda a entender melhor a aplicação. Até onde a gente pode aprender, executar, os gráficos gerados, possibilidades de animações, os resultados, a interface, é fácil de mexer, uma interface amigável (Aluno A1).

Os alunos identificaram como pontos positivos do uso do *software* Mathematica® para a resolução de problemas de Gravitação a interface gráfica que o programa oferece. De fato, a Gravitação, como mencionado por um dos alunos que participaram da pesquisa, requer do estudante certa habilidade para abstrair os modelos estudados. Dificilmente escolas e universidades possuem instrumentos de observação astronômica que ajudem no entendimento de tais fenômenos.

Logo, o destaque dado pelos alunos à possibilidade de simular fenômenos físicos é tido como algo relevante para o Mathematica®, por ser uma ferramenta com potencial para uma aprendizagem significativa.

Além da possibilidade de gerar gráficos e animações, também foi citada a interface amigável do *software*. O Mathematica® possui como elemento de trabalho uma ferramenta denominada paleta. Esse recurso consiste numa pequena janela com botões que automatizam certas tarefas ao serem clicados pelo usuário, inserindo funções específicas na área de trabalho do programa, chamada notebook, onde os comandos do Mathematica® são interpretados.

Outro ponto positivo citado por A3, e outro diferencial do Mathematica®, é o fato de ele operar com linguagem Matemática simbólica. Destacamos a fala de A8 ao citar que, ao usar o Mathematica® para resolução de problemas, o aluno se torna um sujeito ativo na construção do conhecimento. Tal pressuposto é uma das características da TAS. No Quadro 10 indicamos os principais pontos positivos comentados pelos alunos.

Quadro 10. Sintaxe das respostas referentes aos pontos positivos do Mathematica®.

Aluno	Pontos positivos
A1	Ajuda na melhor compreensão dos conceitos da matéria que está sendo estudada.
A2	Deu para ampliar os exemplos.
A3	O fato de ele trabalhar simbolicamente.
A4	Me ajudou a ver como as órbitas funcionam.
A5	A visualização, a interface gráfica, os comandos.
A6	Algumas vezes você não consegue visualizar algo e joga no Mathematica® e ele mostra.
A7	Interface amigável, posição dos botões.
A8	Você tá com a “mão na massa” em relação ao conteúdo.

Fonte: próprio autor

4. Aponte as principais dificuldades enfrentadas durante o uso do Mathematica®

As dificuldades foram só no começo sobre a linguagem, como ela funcionava, mas isso com o tempo foi resolvido facilmente (Aluno A8).

Apesar de ter uma linguagem fácil, a principal dificuldade foi em localizar as funções (Aluno A2).

A principal dificuldade foi na parte do cálculo, integral e diferencial, está bem enferrujada. Como passar os parâmetros foi o mais difícil (Aluno A4).

Neste ponto, salientamos os pontos de dificuldade quanto ao uso do Mathematica®. Em todos os enunciados, como consta do Quadro 11, identificamos a complexidade da linguagem utilizada para escrever os comandos do programa. Tal situação dificulta a

resolução das questões, uma vez que o Mathematica® requer comandos corretos para mostrar ao usuário a resolução exata das questões propostas.

Solucionar tal problema parece não ser impossível, uma vez que essa parte da entrevista foi realizada após a resolução do problema proposto. Porém, esse obstáculo foi identificado no primeiro encontro de utilização do Mathematica®. O professor da disciplina Física Geral 2 preparou uma metodologia de ensino que priorizou o fazer junto, ou seja, à medida que o professor apresentava as funções, os alunos escreviam tais comandos.

Essa metodologia de ensino, embora seja classificada como própria de uma aprendizagem mecânica, não tira o caráter significativo de tais ações, uma vez que Ausubel (1968) não antagoniza os dois tipos de aprendizagem, defendendo inclusive a ideia de que, quando não existe subsunção que ajude na ancoragem dos conceitos, estes podem surgir, por exemplo, por meio de atividades de repetição. No Quadro 11 apresentamos a sintaxe das dificuldades relatadas pelos alunos durante as atividades propostas.

Quadro 11. Sintaxe das dificuldades no uso do Mathematica®.

Aluno	Pontos negativos
A1	A dificuldade natural que eu tenho é com a programação.
A2	Localizar as funções.
A3	Eu senti dificuldade com as animações.
A4	A principal dificuldade foi na parte do cálculo, integral e diferencial, está bem enferrujada.
A5	Conseguia resolver os cálculos, mas não conseguia colocar no mesmo programa.
A6	Os comandos, a maioria é em inglês.
A7	Eu tive dificuldade na linguagem.
A8	Sobre a linguagem, como ela funcionava, mas isso com o tempo foi resolvido facilmente.

Fonte: próprio autor

5. Compare o uso do Mathematica® com métodos tradicionais de resolução de problemas.

O Mathematica® é melhor que o lápis e o papel devido à possibilidade, como eu disse antes, de você conseguir ver os gráficos de maneira mais rápida do que lápis e papel, você pode aplicar outras disciplinas da Física, interagir. O lápis e papel você demora mais tempo para fazer isso, teria que pesquisar em livros, *internet*, o Mathematica® te dá essa possibilidade, essa execução, as animações, de ver os gráficos daquilo que você está estudando. Eu acho que eles se complementam: se há uma desvantagem, talvez o lápis e o papel sejam melhores, porque talvez você absorva melhor escrevendo do que no computador, mas depende da pessoa, eu não consigo ver uma desvantagem, talvez só ele não seja suficiente, são complementares (Aluno A1).

A introdução de tecnologias digitais na sala de aula facilita a troca de experiências e garante o acesso a informações, ampliando as possibilidades das ações da prática docente. Dessa maneira, espera-se que as TIC aumentem a autonomia do aluno sempre direcionada à construção do conhecimento. Para atingir esse objetivo, o uso do computador e de outras tecnologias digitais precisa estar integrado ao ambiente de ensino.

Porém, adotar o uso do computador no ensino de Física não significa abandonar outras metodologias de ensino, por exemplo, o livro didático. É preciso que haja um pluralismo de métodos, garantindo dessa forma que o licenciando tenha a oportunidade de vivenciar diferentes experiências pedagógicas.

O enunciado da fala de A1 resume bem as respostas dos outros alunos a essa questão. No grifo acima, identificamos o potencial do Mathematica® frente aos métodos tradicionais de ensino, identificados pelos alunos como: lápis e papel, melhor visualização gráfica do problema analisado, as animações mostrando o movimento dos corpos celestes fazendo com que os alunos tivessem uma nova percepção da resposta. Embora o programa analisado neste trabalho tenha se mostrado eficaz na resolução de problemas, as metodologias tradicionais possuem ainda seu lugar no ensino de Física.

Foram feitas perguntas para investigar o uso do Mathematica® de forma mais específica no ensino de Gravitação. Os enunciados retirados da entrevista são apresentados a seguir:

6. Após a compilação do programa, qual resultado você alcançou? Que interpretação você faz dele?

Eu vi basicamente as mudanças. Da mudança massa dos corpos, eu vi como as órbitas se comportam, e movimentam e também a variação da distância. Eu vi que, mantendo os valores fixos e diminuindo só a distância, você não tem uma mudança drástica do movimento, que é diferente do que eu imaginava. E foi a massa que fez uma maior diferença, eu notei que estava indo no caminho certo. Foi uma experiência muito massa e eu fiz bem (Aluno A4).

Deu para ver bem o que acontece quando varia o raio de um planeta ou uma massa. No aplicativo dava para perceber facilmente no que isso interferia. Não é fácil entender isso na forma tradicional; em livros eles podem até tentar, mas é diferente do que ver ele se mexendo (Aluno A2).

A questão das órbitas, cada comando que a gente dava ia mostrando uma órbita diferente, até que chegava ao resultado que a pessoa queria. (Aluno A6).

Ao fazer esta pergunta aos alunos nossa intenção era resgatar os conhecimentos construídos durante a resolução do problema proposto. Como já discutido no capítulo 5, este consistia em pedir ao aluno que identificasse as mudanças na órbita de um conjunto de 3 (três) corpos celestes ao variar a massa de um deles e, posteriormente, variando a distância entre dois desses elementos.

Embora a forma de explicar o que foi visto, isto é, os relatos dos alunos em resposta a essa pergunta, tenham variado em complexidade, conseguimos identificar que houve uma real compreensão do problema. A síntese dos enunciados é apresentada no Quadro 12.

Outro fato importante de ser destacado é o grifo no enunciado de A2, ao comentar que dificilmente tal problema poderia ser visualizado sem a ajuda de um *software* que gere uma animação gráfica.

Quadro 12. Síntese dos enunciados quanto a resposta obtida no problema proposto.

Aluno	Qual o resultado você observou no problema proposto?
A1	Foi apresentada a órbita do planeta Terra ao redor do Sol, que é influenciada pelo planeta Júpiter.
A2	Deu pra ver bem o que acontece quando varia o raio de um planeta ou uma massa.
A3	
A4	Como as órbitas se comportam, se movimentam e também a variação da distância.
A5	
A6	A questão das órbitas.
A7	Na curva que tinha lá, tinha uma precessãozinha que você, mesmo imaginando, ia custar e ia ser difícil chegar.
A8	Eu vi a plotagem das órbitas das mudanças dos parâmetros.

Fonte: próprio autor

7. Qual sua opinião sobre a metodologia adotada na abordagem do Mathematica®?

Foi uma estratégia boa, deu para entender como funcionava o aplicativo, o que o professor queria, como você ia ver, o que você teria que fazer para chegar ao resultado que o professor já tinha mostrado antes. Com certeza não teria êxito, eu não tinha visto o Mathematica® antes, então chegar assim, faça isso, não é fácil fazer o que ele estava pedindo ali. Não é fácil entender a lógica do aplicativo e empregar (Aluno A2).

Vimos no capítulo 5 que o Mathematica® foi utilizado em três momentos pelos alunos. No primeiro momento, o professor ensinou alguns comandos, mostrou as regras de sintaxe da linguagem de programação e apresentou aos alunos algumas das funcionalidades que o *software* oferece, por exemplo, o uso de palhetas, os tipos de gráficos e a possibilidade de fazer animações, entre outras.

No segundo momento, o professor da disciplina Física Geral 2 apresentou um problema de Gravitação, conhecido como problema de três corpos de Poincaré, que envolve o comportamento de três corpos celestes interagindo gravitacionalmente. Nesse momento, o professor escrevia o código, explicando de forma detalhada a função de cada linha escrita e pedindo que os alunos fizessem o mesmo, cada um utilizando seu próprio computador.

No terceiro momento, os alunos foram apresentados a uma situação problema, que também envolvia três corpos celestes, na qual eles poderiam utilizar como base o programa escrito anteriormente.

Em todos os enunciados, foi destacada a importância dessa sequência lógica de construção do método de resolução. Os alunos enfatizaram que, por ser uma linguagem própria de programação pouco familiar e por haver tempo disponível para aprender todos os comandos, a presença do professor em sala e a apresentação dos códigos anterior à resolução do problema foram essenciais para o sucesso da atividade.

8. Que aspectos do Mathematica® o tornam uma ferramenta útil na resolução de problemas de Gravitação?

Mais do que o conhecimento, foi a curiosidade de uma ferramenta que é muito interessante, que estimula você a mexer mesmo, mudar parâmetros, pesquisar, a gente fica muito fechado numa teoria em sala de aula e perde a oportunidade de conhecer outras possibilidades, de conhecer ferramentas de resolução de problemas e o Mathematica® trouxe isso, o caminho computacional é uma realidade, temos que aprender uma linguagem para resolver problemas mais complexos (Aluno A3).

A questão de ter um layout bem organizado, as plotagens são precisas, desenhos bem feitos, as animações, você tem um desenho e não vê. Entender como as equações funcionam. No teórico ele ajudou, porque eu consegui entender, por exemplo, que a massa de Júpiter interfere na órbita de outros planetas (Aluno A8).

Como pontos positivos para o ensino de Gravitação usando o Mathematica®, segundo os alunos que participaram desta pesquisa, destacam-se a possibilidade de resolução de problemas que dificilmente seriam resolvidos sem a ajuda computacional. Além disso, o Mathematica® dá a oportunidade de ver situações antes apresentadas de forma estática (ex.: desenhos em livros) agora de forma dinâmica, podendo ser analisadas sob diferentes perspectivas e com diferentes parâmetros.

Os alunos reforçaram a ideia do protagonismo na construção do conhecimento, bem como a cooperação aluno-aluno e aluno-professor, ou seja, houve uma interação entre todos os agentes envolvidos na tentativa de resolver a situação problema proposta. O Quadro 13 propõe fazer um resgate das falas de todos os alunos a respeito desse ponto.

Quadro 13. Síntese das falas dos alunos a respeito do uso do Mathematica®.

Aluno	Que aspectos tornam o Mathematica® útil para resolução de problemas de Gravitação?
A1	Tornou mais rápido e simples a resolução, já que o problema não tem solução analítica.
A2	Consegui enxergar o que está acontecendo.
A3	Estimula você a mexer mesmo [...] resolver problemas mais complexos.
A4	Nem sempre o que gente calcula acontece no mundo real, mas dá pra simular bem.
A5	Por usar matemática simbólica. [...] criar o filme com a trajetória.
A6	No aspecto da visualização.
A7	Ele facilita a parte mais prática do que é complexo.
A8	No teórico ele ajudou, porque eu consegui entender.

Fonte: próprio autor

Os alunos destacaram ao final da entrevista que o Mathematica® pode ser útil para resolução de problemas em todas as áreas da Física. Percebemos o desejo de alguns em continuar estudando a linguagem do *software* para posterior uso em situações acadêmicas e profissionais.

6.4 Conclusões

Afinal, que elementos desta pesquisa, coletados pela observação, mapas conceituais e entrevista semiestruturada, podem ser enumerados a fim de que o Mathematica® possa ser considerado uma ferramenta para uma aprendizagem significativa? Para responder a essa pergunta, nos apoiamos nos princípios para uma aprendizagem significativa, elencados por Moreira (2000) e apresentados e exemplificados a seguir:

a) Perguntas ao invés de respostas

Neste primeiro princípio, Moreira (2000) defende a ideia da interação social. Mais do que ter respostas prontas, o aluno precisa ser estimulado a perguntar, a buscar em diferentes contextos soluções para seus problemas, sair do lugar comum e aprender com o outro.

Nesta pesquisa, observamos em diversos momentos, principalmente durante o uso do Mathematica®, que os alunos utilizaram como estratégia para a resolução do problema proposto a busca pelo conhecimento de forma coletiva. Não se instaurou em sala de aula espírito de competição, mas sim de ajuda mútua. Ao serem perguntados sobre qual estratégia utilizaram para a resolução do problema proposto, os alunos A4 e A5 relataram o cooperativismo entre os alunos na busca de uma solução:

Eu já tinha dado uma leitura no algoritmo, mas os colegas me ajudaram muito, o que eles faziam serviu para me balizar (Aluno A4).

Eu estudei em casa e, com a ajuda de um colega, nós discutimos e conseguimos plotar (Aluno A5).

b) Diversidade de materiais

Segundo Moreira (2000), as ferramentas utilizadas por professor e aluno para o ensino e aprendizagem devem ser variadas. Deixar o livro texto da disciplina e buscar novos elementos para ajudar na construção do conhecimento. Para isto, o uso do Mathematica® por si só já colabora, fazendo com que os alunos saiam do ambiente de sala de aula tradicional e passem a construir novos conceitos baseados em novas observações em diferentes instrumentos.

Na fala de A3 identificamos elementos que nos ajudam a classificar o Mathematica® como uma ferramenta capaz de agregar novos conceitos, não só no assunto que abordamos neste trabalho – Gravitação – mas em diversas áreas da Física. Além disso, se abriram para os alunos as perspectivas de uso de uma nova ferramenta, à qual podem dedicar tempo e estudo para aprender suas capacidades.

Mais do que o conhecimento, foi a curiosidade de uma ferramenta que é muito interessante, que estimula você a mexer mesmo, mudar parâmetros, pesquisar, a gente fica muito fechado numa teoria em sala de aula e ter a oportunidade de conhecer outras possibilidades, de conhecer ferramentas de resolução de problemas e o Mathematica® trouxe isso, o caminho computacional é uma realidade, temos que aprender uma linguagem para resolver problemas mais complexos (Aluno A3).

c) Aprendizagem pelo erro

Para Moreira (2000), uma das estratégias mais comuns que o ser humano utiliza para aprender é o método da tentativa e erro. Logo, a escola não pode querer que o aluno sempre forneça soluções corretas para os problemas que lhe são apresentados. Entretanto, é papel da escola oferecer ao aluno a oportunidade de ver o erro e tentar corrigi-lo.

Com o Mathematica®, a resposta ao usuário acontece por meio de mensagens durante a escrita do código e por mensagem de erro ao compilar o programa escrito. Embora não tenhamos percebido nas falas dos alunos nenhuma referência a essa funcionalidade, percebemos durante a observação das aulas que alguns alunos utilizaram essa função.

d) Aluno como perceptor representador

Este princípio está relacionado com a capacidade do aluno em aprender, perceber e representar o que está sendo ensinado. Nesta pesquisa, especialmente na pergunta número 3 do segundo bloco da última categoria analisada, todos os alunos realizaram com êxito as atividades propostas, mesmo com as dificuldades observadas.

Resumimos nos trechos abaixo informações que nos mostram que o Mathematica® ajudou o aluno A3 a perceber o problema proposto, explicá-lo e a aprender com a solução que o programa produziu a partir das informações que o próprio aluno inseriu nas linhas de código.

Queria que você dissesse como fez a interpretação do problema e qual foi a estratégia de resolução que você utilizou (Entrevistador).

A ideia, o problema inicial, é a gente trabalhar com o problema dos três corpos, com uma simplificação, no caso, dois corpos fixos, e queríamos saber como a órbita da Terra ia se desenhar através das mudanças de variáveis, primeiro uma massa e depois a distância, e a ideia era acumular os dados, apresentar o tipo de unidade que a gente ia trabalhar, uma unidade que fosse mais adequada ao problema. Estamos trabalhando com unidade solar e unidades astronômicas no caso da distância, aprender a utilizar os gráficos, a interpretar e também fazer a animação dos gráficos, pra ver como é a evolução da órbita (Aluno A3).

Após a escrita do programa e sua compilação, a qual resultado que você chegou? (Entrevistador).

Então eu percebi, a primeira parte do problema era, utilizava a massa de Júpiter como massa variável e, à medida que aumentava a massa, se foi notando que a órbita da Terra começa a se tornar quase periódica e, com uma tendência à precessão da órbita, cada vez mais ela precessionava [sic]. Até o momento em que a massa de Júpiter se torna tão grande que ela captura a Terra e ela se torna um satélite de Júpiter. E aí foi produzido [sic] vários gráficos, para cada massa. E depois foi com as massas fixas e a distâncias variando, e aí realmente eu pude ver que, quando se altera, se aproxima muito Júpiter, é que você consegue ver que tem um efeito bem perceptível. A surpresa foi na segunda parte, que é preciso uma aproximação bem próxima [sic] para ter algo perceptível (Aluno A3).

Dos conceitos que você viu em sala de aula, quais você empregou na resolução desse problema? (Entrevistador).

A gente já sabia que o problema dos três corpos não podia ser resolvido analiticamente, como o problema dos dois corpos, a gente teria que dar valores para que surgissem os gráficos, tem um que a gente já esperava que a órbita ficasse caótica, que ela divergisse das órbitas anteriores e isso foi legal, o professor já tinha comentado anteriormente com a gente isso das soluções que o Poincaré tinha encontrado no início do século passado [...]. A gente trouxe a noção vetorial para gravitação, apropria leis de Kepler inseridas na lei fundamental de Newton (Aluno A3).

e) Consciência semântica

Para Travassos (2013), a consciência semântica envolve a negociação e o compartilhamento dos significados por intermédio da linguagem. Moreira (2005) afirma que, à medida que o aprendiz desenvolve uma consciência semântica, a aprendizagem poderá ser significativa e crítica. Este fato ocorre porque o aluno passa a vivenciar um mundo escolar no qual a dicotomia entre as respostas não existe, ou seja, não há necessariamente um certo e um errado, ou uma resposta do tipo sim e não. Ao tomar consciência dos conceitos e seus significados, o aluno passa a pensar nas escolhas que deve tomar.

Nesse quesito, deveríamos apresentar dados que mostrassem o quão significativos se tornaram os conceitos de gravitação para os alunos participantes do grupo amostral. Neste trabalho, contudo, não investigamos a aprendizagem dos alunos em gravitação, isto é, não é nosso objetivo avaliar, mas apontar elementos que justifiquem o uso do Mathematica® para uma aprendizagem significativa em Gravitação.

Entretanto, mostramos evidências de que alguns conceitos, por exemplo, a Lei da Gravitação Universal, estiveram presentes antes mesmo do uso do Mathematica®, nos mapas conceituais desenhados pelos alunos. Durante a utilização do Mathematica® e após, na entrevista, quando foi lembrado pelos alunos como o conceito mais importante para a resolução do problema.

Ainda nesse mérito da significação dos conceitos, a boa escrita das linhas de código, o uso correto da sintaxe exigida pelo programa segue uma estrutura um tanto rígida. Porém a organização na redação e, principalmente, os conhecimentos necessários para a compilação, fazem do Mathematica® um programa que permite ao aluno, dependendo da atividade proposta, a tomada ativa de decisões.

f) Incerteza do conhecimento

Segundo Postman *apud* Moreira (2005), definições, perguntas e metáforas são três dos mais potentes elementos com os quais a linguagem humana constrói uma visão de mundo. Moreira (2005) destaca que perguntas são instrumentos do pensamento auxiliados por definições, que não possuem nenhuma função fora do contexto no qual foram criados, enquanto metáforas são modelos. Em Física, fenômenos abstratos se valem desses recursos para facilitar sua visualização e entendimento.

O último elemento deste requisito, o uso da metáfora, da representação de modelos, é algo visto em toda a análise deste trabalho. A fala de A6 mostra o potencial do Mathematica® na construção de modelos para a compreensão de fenômenos físicos.

Ele pode auxiliar de várias formas, tipo, algumas vezes você não consegue visualizar algo e você joga no Mathematica® e ele mostra bem direitinho, ele facilita (Aluno A6).

g) Desaprendizagem

Em diversos momentos deste trabalho, falamos da importância dos subsunçores, que servem como suportes para os novos conhecimentos. Porém, segundo Moreira (2005), algumas vezes os conhecimentos prévios impedem ou dificultam a assimilação de novos entendimentos. Neste caso, é preciso haver uma desaprendizagem.

A desaprendizagem é, para Travassos (2013), a não utilização desses conhecimentos que impedem a aquisição de novos, isto é, a ideia de desaprender passa pela seleção do que será importante para a construção do novo conhecimento. Moreira (2005) cita como exemplo o fato de alguns alunos não compreenderem certos conceitos da Física Quântica por estarem fortemente ligados a conceitos da Física Clássica.

Aprender a desaprender é aprender a distinguir entre o relevante e o irrelevante no conhecimento prévio e libertar-se do irrelevante, isto é, desaprendê-lo. Aprendizagem desse tipo é aprendizagem significativa crítica. Sua facilitação deveria ser missão da escola na sociedade tecnológica contemporânea. (MOREIRA, 2010, p.16).

Em nosso estudo lidando com o Mathematica®, conseguimos perceber a desaprendizagem no enunciado da fala de A4:

Nunca usei o Mathematica®. Inicialmente achei diferente, já estudei e trabalhei como programador e parece ser mais simples do que quando a gente trabalha com um a linguagem mais crua, a tendência é complicar e o programa é bem mais fácil, compila rápido. Eu não tinha ideia do que era o Mathematica®, foi quando um colega explicou o que era (Aluno A4).

Neste trecho, A4 cita que já possui experiência como programador, ou seja, o aluno A4 conhece diferentes linguagens de programação. Ao citar que a tendência é complicar (grifo acima), percebemos que ele quer utilizar a mesma sintaxe, a mesma organização de escrita que utiliza em outras linguagens, porém para ter sucesso na compilação do problema proposto ele precisa abandonar, selecionar os conhecimentos prévios em linguagens de computador para que isso não atrapalhe na aprendizagem da linguagem necessária para o uso do Mathematica®.

h) Conhecimento como linguagem

De acordo com Moreira (2005):

Cada linguagem, tanto em termos de seu léxico como de sua estrutura, representa uma maneira singular de perceber a realidade. Praticamente tudo o que chamamos de "conhecimento" é linguagem. Isso significa que a chave da compreensão de um "conhecimento", ou de um "conteúdo" é conhecer sua linguagem. Uma "disciplina" é uma maneira de ver o mundo, um modo de conhecer, e tudo o que é conhecido nessa "disciplina" é inseparável dos símbolos (tipicamente palavras) em que é codificado o conhecimento nela produzido. Ensinar Biologia, Matemática, História, Física, Literatura ou qualquer outra "matéria" é, em última análise, ensinar uma linguagem, um jeito de falar e, conseqüentemente, um modo de ver o mundo. (MOREIRA, 2005, p. 12).

Ensinar Física abrange a demonstração de equações. Se quisermos que o aluno utilize o conhecimento de forma crítica, precisamos dotá-lo de ferramentas que o ajudem a transformar o formalismo matemático que ele aprende em sala de aula em algo que tenha significado para a sua vida e a da comunidade na qual ele está inserido.

Numa interpretação do trecho do trabalho de Moreira (2005), percebemos o quanto é importante que o aluno desenvolva uma linguagem, que ele veja o mundo e possa atribuir significados e consiga se comunicar.

Embora reconheçamos a complexidade que é desenvolver uma linguagem de comunicação com o computador, o Mathematica® parece ter ajudado os alunos a criar relação de significado entre o que foi apresentado pelo programa como resposta ao problema proposto. Em diferentes trechos das entrevistas de todos os alunos, a visualização da órbita dos corpos celestes envolvidos foi citada. Considerar esse fato suficiente para indicar a aprendizagem adequada de um sistema formal teórico para descrever a Gravitação é um tanto primário e não temos instrumentos suficientes que demonstrem isso. O Mathematica® permitiu, no caso deste trabalho, que os estudantes visualizassem órbitas e como a mudança de certas variáveis interfere no movimento orbital.

Esses fatores são um indicativo de que o Mathematica® é útil na compreensão de fenômenos físicos e pode ser uma ferramenta para que os conceitos de Gravitação, por exemplo, Leis de Kepler, Lei de Gravitação Universal, órbita, dentre outros, possam ganhar significados na estrutura cognitiva dos alunos.

i) **Diversidade de estratégias**

Moreira (2005) também chama esse quesito de princípio da não utilização do quadro de giz ou princípio da participação ativa do aluno. O autor cita como exemplo de

antiaprendizagem significativa uma metodologia que se baseia na figura do professor e de instrumentos emblemáticos de um ensino transmissivo e uma aprendizagem mecânica, como o livro texto e o quadro e giz.

O uso de tecnologias digitais não garante que o ensino seja significativo. É preciso aliar a aplicação dessas ferramentas a uma metodologia adequada. O que reforça, do ponto de vista pedagógico, o uso do Mathematica® como um instrumento de ensino significativo é a citação de Moreira (2005) ao afirmar que o uso de distintas estratégias instrucionais que impliquem participação ativa do estudante e, de fato, promovam um ensino centralizado no aluno, é fundamental para facilitar a aprendizagem significativa crítica.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como saber que ensinamos Física, ou melhor, como saber se o aluno realmente aprende aquilo que o professor ensina em sala de aula? Esses questionamentos são importantes para que o ensino de Física tenha êxito, o professor precisa entender e traçar um caminho a seguir para atingir os objetivos pedagógicos e o aluno precisa construir conhecimentos que serão futuramente resgatados e utilizados em diferentes situações, seja na observação de um fenômeno ou na vida profissional, uma vez que estamos trabalhando com licenciandos em Física.

O aluno que conclui o curso de licenciatura em Física precisa, ao longo do curso, vivenciar situações que o ajudem a desenvolver competências e habilidades para um pleno exercício de sua função docente. Tornar-se professor de Física é mais que entender dos formalismos matemáticos, é estar imerso num ambiente de atualização científica, usar instrumentos técnicos para auxiliar na compreensão dos fenômenos, além de aprender a fazer a ponte entre o saber teórico e o saber docente.

Para formar um bom professor de Física é importante utilizar estratégias de ensino que contemplem a busca pelo conhecimento. Ajuda nessa tarefa a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel. Diferente de uma aprendizagem mecânica, que prioriza a memorização, a aprendizagem significativa promove um ensino voltado para a compreensão de conceitos, tornando-os parte da rede cognitiva do aluno, os quais podem ser resgatados e utilizados quando necessário.

O tripé da TAS é: (1) o aluno só aprende caso ele tenha motivações para essa ação; (2) os conhecimentos prévios do aluno devem ser valorizados e (3) instrumentos potencialmente significativos devem ser usados para o ensino e avaliação.

No primeiro ponto, que diz respeito aos princípios da TAS, precisamos falar de duas motivações principais. A primeira é a vontade do aluno em se tornar professor e a segunda o interesse que ele possui pela ciência.

O segundo ponto nos dá uma pista de como o professor pode conduzir o ensino, conhecendo o que o aluno já sabe. A aprendizagem significativa ocorre quando o aluno ancora novos conhecimentos aos que já existem. Tratar os conhecimentos prévios ajuda na elaboração de uma metodologia de ensino voltada para a descoberta.

O terceiro ponto está relacionado aos instrumentos pedagógicos para a condução do ensino e avaliação. Não faz sentido o professor utilizar métodos de ensino que priorizam o protagonismo do aluno se durante o processo de avaliação são aplicados instrumentos de um

ensino tradicional, que resume a aprendizagem do aluno a uma nota. Um dos exemplos de instrumentos para potencializar uma aprendizagem significativa é o uso de mapas conceituais, desenvolvidos por Novak.

Ao trabalhar com mapas conceituais o professor pode, dentre outros aspectos, saber em que ponto os alunos mais concentram suas ideias, podendo assim, sugerir leituras para ampliar o horizonte de compreensão do aluno e, assim, aumentar a quantidade de ligações entre os conceitos de sua rede cognitiva. Neste trabalho, mapas conceituais tiveram o propósito de revelar os conhecimentos dos alunos sobre Gravitação. Diante da análise desse material, o professor da disciplina de Física Geral 2 pode traçar estratégias para o uso do Mathematica®.

Conceber, descrever e analisar foram passos importantes para o desenvolvimento deste trabalho. Ao oportunizar o uso do Mathematica®, inserimos o aluno num ambiente educacional essencial para a formação de um bom professor de Física. O uso de tecnologias digitais é uma realidade em diferentes situações cotidianas e, inserindo-as na prática pedagógica, estamos nos aproximando da realidade do aluno e o ajudando a desenvolver competências e habilidades que o levem a investigar, representar, comunicar e contextualizar fenômenos físicos.

A partir das constatações sobre os conhecimentos prévios dos alunos sobre Gravitação, obtidas com os mapas conceituais desenhados pelos mesmos, tínhamos em mãos material para conceber as situações de ensino. Também a observação de sala de aula nos ajudou a descrever como as atividades foram conduzidas pelo professor e como os alunos encararam o desafio de trabalhar com uma ferramenta pouco conhecida para alguns deles.

Criamos três categorias para analisar os dados obtidos, todas baseadas nos princípios da TAS. O mapa conceitual nos mostrou os conhecimentos prévios dos alunos e os enunciados das falas obtidas da entrevista semiestruturada revelaram as motivações dos alunos que participaram desta pesquisa e o potencial significativo do uso do Mathematica®.

Este trabalho foi desenvolvido num dos laboratórios de informática do IFCE, *campus* Fortaleza, e sem essa estrutura as atividades não poderiam ter sido realizadas. Então, pensar em usar tecnologias digitais em sala de aula pressupõe uma estrutura mínima para que as atividades aconteçam.

A aplicação de tecnologias modernas ao ensino de Física, em especial o Mathematica®, é importante para: promover a autonomia do aluno, ser fonte para o aprofundamento de conteúdos, estimular a aprendizagem e de forma especial facilitar o entendimento de modelos físicos e matemáticos.

Utilizar o Mathematica® pode não ser uma tarefa tão simples para alguns alunos. Mesmo que o uso de ferramentas tecnológicas seja importante e torne o ensino e a aprendizagem tarefas mais dinâmicas e aprazíveis, alguns alunos sentiram dificuldades na realização de atividades propostas.

Dentre as limitações observadas no curso desta pesquisa, apontamos o fato do Mathematica® ser um *software* cuja licença precisa ser comprada pelo usuário. O planejamento das atividades é outro ponto que mereceu atenção, as atividades foram desenvolvidas num programa computacional desconhecido para alguns dos alunos o que requereu do professor uma atenção especial na preparação do material a ser trabalhado, encontros de preparação, onde foram apresentadas as principais funcionalidades do *software* e a sintaxe necessária para uso do Mathematica®.

Quando é feito o uso do computador como ferramenta de ensino, é possível constatar que a adoção de tal tecnologia pode ser um fator importante para levar o aluno a construir conhecimentos de forma significativa. Ao incluir o computador e a *internet* nas práticas pedagógicas, o professor poderá suprir a necessidade dos jovens em utilizar ferramentas que auxiliem o ensino e a aprendizagem de forma mais dinâmica e interativa. O aluno pode usar as funcionalidades do computador, da *internet* e de programas computacionais para criar modelos matemáticos e gráficos de sistemas físicos e, assim, desenvolver competências e habilidades inerentes à fase escolar na qual ele se encontra.

A observação das atividades nos fez verificar três pontos. O primeiro deles tratava do ambiente: como já falado, as aulas aconteceram num dos laboratórios do IFCE, *campus* Fortaleza, cujos computadores, dispostos lado a lado, facilitaram a troca de experiências. Segundo ponto observado: a interação entre os alunos e entre eles e o professor – observação presente em todos os encontros. Por fim, o terceiro ponto: cada aluno possui uma rede cognitiva própria, cada uma com seus elementos e ligações. Segundo a TAS, ampliar esse campo é papel do professor e uma das formas de fazer isso é oferecer ao aluno a oportunidade de vivenciar novas experiências, utilizando materiais que possuem um potencial significativo.

A primeira categoria buscou investigar os conhecimentos prévios dos alunos, para isso propomos que os alunos desenhasssem mapas conceituais, cujo tema central seria a Gravitação. No primeiro momento percebemos que os mapas conceituais eram desconhecidos dos alunos e tivemos que desconstruir a ideia que eles tinham a mesma função de mapas mentais ou organogramas. Os mapas conceituais produzidos revelaram que a maioria dos alunos consegue fazer a diferenciação progressiva do tema Gravitação, ou seja, os desenhos nos mostraram que os alunos, a partir de um conceito mais geral, conseguiam especificá-lo.

Em alguns casos percebemos a reconciliação integradora dos conceitos, quando o aluno consegue criar ligações entre conceitos de mesmo patamar hierárquico.

Os mapas conceituais, nesta pesquisa, serviram como instrumento de avaliação diagnóstica. A partir da análise quantitativa e qualitativa dos mapas, foi feito o planejamento das atividades que utilizariam o Mathematica®. Os conceitos recorrentes nos mapas dos alunos foram a Lei Universal da Gravitação e as Leis de Kepler, nos levando a propor exercícios cujos conhecimentos seriam importantes para sua resolução.

Mapas conceituais são estruturas idiossincráticas, revelam o conhecimento da pessoa sobre um determinado assunto. Embora tenhamos feito a pontuação dos mapas, conforme a tabela de pontuação de Novak, e uma análise das proposições válidas, deixamos de realizar um momento de apresentação do mapa pelo aluno que o desenhou. Embora esse momento fosse importante para que o aluno expusesse sua interpretação sobre o mapa produzido por ele, isso não acarretou em prejuízo para nossas considerações.

A segunda categoria nos revela que os alunos veem a Física como uma ciência universal, capaz de explicar os fenômenos da natureza e ajudar o homem no desenvolvimento tecnológico e social. Essa visão insere os licenciandos num campo de estudo muito vasto e que deve ser suprido pelo currículo do curso. Este ponto recebeu fortes críticas dos alunos participantes. A principal queixa é a falta de diversidade dos momentos didáticos. Então, pensar que tipo de professor queremos formar e quais ações pedagógicas são necessárias para isso é fundamental. A formação da prática docente começa com os modelos vivenciados durante a licenciatura.

Manter o aluno no curso de licenciatura em Física é um desafio. A motivação para o estudo é algo inerente ao sujeito. O professor não atinge todos os seus alunos da mesma forma. Um aluno não faz as mesmas ligações cognitivas que o outro colega. A partir dos enunciados analisados percebemos que o licenciando deseja conhecer diferentes linguagens para o ensino de Física, eles têm uma ideia clara do papel do professor na sociedade e reconhecem o papel de métodos de ensino que utilizem tecnologias digitais. Então, inserindo esse aluno num ambiente onde há uma aproximação entre a Física e o ensino de Física, no qual esse aluno faça uso de diferentes instrumentos, estamos contribuindo de forma significativa para a formação inicial dele.

Na terceira categoria investigamos o papel do Mathematica® no ensino de Gravitação. Levantamos nesse momento de considerações finais dois pontos: o primeiro é o Mathematica® como um ambiente de ensino e aprendizagem e o segundo é o protagonismo do aluno.

Um material tem potencial significativo quando ele ajuda o aluno a fazer ligações entre novos e antigos conceitos. Ao escolher o Mathematica® para auxiliar no ensino de Gravitação, fizemos a opção por uma ferramenta que ajudasse os alunos na visualização de fenômenos e no tratamento matemático dos problemas. Saímos da situação de sala de aula, onde o aluno tem como única ferramenta a observação de figuras estáticas. O Mathematica® proporcionou a ampliação do campo de estudo, uma vez que estendemos a discussão para um problema que não possui solução trivial, o problema dos três corpos de Poincaré.

Ao usar o Mathematica®, promovemos uma alfabetização computacional, pois o aluno precisa desenvolver uma habilidade para manipular as funcionalidades do *software*. Oferecemos ao aluno ferramentas para o tratamento matemático de fenômenos físicos.

Não aplicamos instrumentos de coleta de dados capazes de verificar a aprendizagem dos alunos, a fim de determinar se novos conceitos foram assimilados ou se houve o processo de reconciliação integradora entre os conceitos de Gravitação, ou até mesmo comparar o nível de significância dado aos conceitos de Gravitação antes e depois do uso do Mathematica®. Estabelecemos um ponto final para esta pesquisa quando, ao confrontar os dados coletados nos nossos objetivos e hipóteses iniciais, concluímos que o Mathematica® motiva o aluno a buscar soluções, diversifica a matriz de instrumentos pedagógicos, oferece ao aluno *feedback*, estimula a representação individual e cria um ambiente propício a construção de diferentes saberes de forma autônoma e interativa.

A tecnologia é uma ferramenta e não a salvação da pátria, quanto mais estudos tivermos nesse campo de atuação melhor será para o entendimento dessas metodologias. Sabemos que algumas questões se encontram abertas. São lacunas para futuros desenvolvimentos uma investigação do uso do Mathematica em paralelo com outros instrumentos de ensino. Outra questão que pretendemos alcançar no futuro é sobre a cultura digital e formação continuada de professores de Física. Por isso tudo se faz necessário que o professor acredite no seu aluno e lhe dê oportunidades de crescimento cognitivo, social e pessoal.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, David Paul. **Educational Psychology: A Cognitive View**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BARCELLOS, Marcília Elis. **Conhecimento físico e currículo: problematizando a licenciatura em Física**. Tese (Doutorado em educação) São Paulo: USP. 257f.

BARBETA, V.B.; YAMAMOTO, I. Dificuldades conceituais em Física apresentadas por alunos ingressantes em um curso de engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.24, n.3, p.324-341, 2006.

BLEICHER, Lucas *et al.* Análise e simulação de ondas sonoras assistidas por computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol.24, no. 2, Junho, 2002 129-133.

BRASIL. LEI Nº 9.394, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996. Brasília: Presidência da República, 1996.

CARDOSO, Nelson Leite. **A utilização do software educacional de simulação e modelagem Interactive Physics como instrumento de promoção da aprendizagem significativa de conceitos de Física: uma investigação pedagógica a partir da proposição de situações-problema**. Dissertação (Mestrado em Ciências da computação) Florianópolis: UFSC, 2003. 111f.

CHAVES, Alaor; SHELLARD, Ronald Sintra. **Física para o Brasil: pensando o futuro**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

CHAVES, Alaor; SAMPAIO, J.F. **Mecânica**. São Paulo: LTC, 2007. 328 p.

COSTA, S.S.C; MOREIRA, M. A. O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. vol.24, n.1, março 2002.

DE LIMA, Geraldo Francisco Corrêa Alves. **Aprendizagem significativa de Física no curso técnico em agroindústria**. Dissertação (Mestrado em educação tecnológica). Belo Horizonte: Cefet, 2008. 99f.

DENARDI, Rubia M. *et al.* **Laboratório Computacional de Física: uma Experiência de Ensino Integrado de Matemática Numérica e Física em Engenharia**. Disponível em <<http://www.gracalizdimuro.com/wp-content/uploads/2011/10/Denardi-Clei2001.pdf>> Acesso em mar 2016.

FALSETTA, Filipe Antônio Marques, **Tutorial Mathematica® v.5.0 para Windows**. São Paulo: UNICAMP, 2006.

FEITOSA, Larissa Dias. A escolha pela licenciatura em física – uma análise a partir da teoria da relação com o saber. **Revista Ensaio**. v.15, n. 3, p. 235 – 251, 2013.

FILHO, Geraldo Felipe de Sousa. **Simuladores computacionais para o ensino de Física básica**: uma discussão sobre produção e uso. Dissertação (Mestrado em ensino de Física) Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 77f.

GLEISER, Marcelo. Por que ensinar Física? **Física na escola**. v. 1, n.1, p.4-5, 2000.

GOMES, Francisco Halyson Ferreira. **O uso do ambiente virtual de aprendizagem SOCRATES como ferramenta metodológica para o ensino de Física**. Monografia (Especialização em ensino de Física). Fortaleza: UFC, 2010. 98f.

GONÇALVES, Alba Lúcia; Larchert, Jeanes Martins. **Avaliação da Aprendizagem**. Ilhéus: Editus, 2011.

GUYER, T. **Computer Algebra Systems as the Mathematics Teaching Tool**. World Applied Sciences Journal 3 (1): 132-139, 2008.

HASSANI, Sadri. **Mathematica® I Methods Using Mathematica®**: For Students of Physics and Related Fields. New York: Springer, 2003. 239 p.

HECK, André. **Introduction to Maple**, 3 ed. New York: Spring, 828 p.

HEWITT, Paul G. **Fundamentos de Física conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 440 p.

LEMO, Evelyse dos Santos. A aprendizagem significativa: estratégias facilitadoras da avaliação. **Aprendizagem significativa em revista**. v 1. n.1, p. 25 – 35, 2011.

LEVY, P. **As tecnologias da inteligência**. 34. ed. Rio de Janeiro: 34, 2000. 264 p.

LIMA, Laerte de Araújo; Lima, Antônio Gilson Barbosa. **Uso do software Mathematica® como ferramenta de auxílio ao ensino de graduação de engenharia mecânica**. Disponível em <<http://www.pp.ufu.br/trabalhos/35.PDF>> Acesso em mar 2016.

LUCENA, C.; FUKS, H. **A educação na era da Internet**. Rio de Janeiro: Clube do futuro, 2000. 160 p.

MADKE, Patrícia *et al.* **Interação no espaço escolar: contribuições para a construção do conhecimento escola**. Disponível em <http://santoangelo.uri.br/erebiosul2013/anais/wp-content/uploads/2013/07/comunicacao/13427_62_PATRICIA_MADKE.pdf> Acesso em jan. 2017.

MEC. **PCN + Ensino Médio**: Orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: SEMTEC, 2002. 144 p.

_____. Orientações Curriculares para o Ensino Médio, v. 2. Brasília: Secretaria da Educação Básica, 2006. 135 p.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77- 85, Junho 2002.

MORAN, José Manoel. Como utilizar a internet na educação. **Ciência da Informação**. v. 26 n. 2 Brasília May/Aug. 1997.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2001.

MOREIRA, Marco Antônio. Aprendizaje significativo crítico. **Boletín de Estudios e Investigación**, n. 6, p. 83-101, 2005.

_____. **Aprendizagem significativa crítica**. In: III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, 2000, Lisboa. Anais... Peniche, 2000.

NOVAK, Joseph D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Paralelo, 1984. 210 p.

NUSSENZVEIG, H. Moyses. **Curso de Física Básica 2**, 5 ed. São Paulo: Blucher, 2014. 375 p.

PEDUZI, Luiz Orlando de Quadro; MOREIRA, Marco Antônio. Solução de problemas em Física: um estudo sobre o efeito de uma estratégia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.11, n.4, p.1067-1083, 1981.

PÉREZ, Daniel Gil. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, v. 7, n.2, p. 125-153, 2001.

PINTO, Márcia Maria Fusaro. **Fundamentos de Matemática**. Belo Horizonte: editora UFMG, 2011. 141 p.

QUEIROZ, Elaine Moral. **Teorias da aprendizagem**. Disponível em <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/tatiana/materiais/apostila___material_extra.pdf> Acesso em abr. 2016.

RAMOS, Marli; COPPOLA, Neusa Ciraco. **O uso do computador e da internet como ferramentas pedagógicas**. Disponível em <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2551-8.pdf>> Acesso em mar 2016

REIS, Pedro. **Observação de aula e avaliação do desempenho docente**. Lisboa: Ministério da Educação – Conselho Científico para Avaliação de Professores, 2011, 72 p.

ROSA, Cleci Werner da; ROSA, Álvaro Becker da. Ensino da Física: tendências e desafios da prática docente. **Revista ibero-americana de Educación**, v. 7, n.42, 2007.

SANTOS, José Nazareno dos. **Uso de ferramentas cognitivas para aprendizagem de Física**. Dissertação (Mestrado em Física). Fortaleza: UFC, 2005. 129f.

SANTOS, Maria Aparecida da Conceição dos *et al.* Geração de imagens animadas GIF com o Mathematica®: Simulações didáticas de ondas eletromagnéticas e polarização da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 1502.1 – 1502.8, 2016.

SCHAFER, Eliane Dias Alvarez. **Impacto do mestrado profissional em ensino de Física da UFRGS na prática docente: um estudo de caso.** Tese (Doutorado em Ensino de Física). Porto Alegre: UFRGS, 2013, 338f.

SILVA, Sani de Carvalho Rutz da; SCHIRLO, Ana Cristina. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social. **Imagens da Educação**, v. 4, n.1, p. 36-42, 2014.

SILVEIRA, Francisco Alberto Rheingantz. **Utilização do Mathematica® como ferramenta de apoio ao ensino de Matemática.** Dissertação (Mestrado em Informática). Porto Alegre: PUCRS, 1998. 129 f.

SOUZA, Ednilson Sergio Ramalho. **Modelagem matemática no ensino de Física: registro de representação semiótica.** Dissertação (Mestrado de educação em Ciências e Matemática) Belém: UFPA, 2010. 124f.

TAM, Patrick T. **A Physicist's guide to Mathematica®** 2 ed. Londres: Elsevier, 2008. 759 p.

TASSONI, Elvira Cristina Martins. **Afetividade e aprendizagem: a relação professor-aluno.** Disponível em <<http://23reuniao.anped.org.br/textos/2019t.PDF>> Acesso em jan. 2017

TEIXEIRA, Graziela Gomes Stein. **As TDIC na formação inicial de professores de Física: a voz dos egressos e licenciandos do curso.** Dissertação (Mestrado em educação científica e tecnológica). Florianópolis: UFSC, 2014. 137f.

TRAVASSOS, Silvana Maria. **O uso de um blog como ferramenta de apoio no processo de ensino e aprendizagem no ensino superior.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Tecnologia). Ponta Grossa: UTFPR, 2013. 118f.

WOLFRAN, Stephen. **Mathematica® book** 5ed. Champaign: Wolfran media, 2003.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II: Termodinâmica e Ondas.** São Paulo: Pearson, 2003. 330 p.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, CPF _____, aluno (a) do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal do Ceará (IFCE), declaro, por meio deste termo, concordar em participar na coleta de dados, a partir de observações e entrevistas referentes ao projeto de mestrado intitulado O USO DO MATHEMATICA NO ENSINO DE FÍSICA realizado pelo mestrando Francisco Halysongomes, do Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, sob a orientação do professor doutor Ewerton Wagner Santos Caetano, do Instituto Federal do Ceará (IFCE), localizado na Avenida 13 de maio, 2081, Campus Fortaleza, CEP 60040-531, Fortaleza, CE. Telefone (85) 3307.3681.

Declaro que fui informado que o objetivo dessa pesquisa é:

Conceber, descrever e analisar situações de ensino do conteúdo de Gravitação, com o arrimo do CAS Mathematica. E como objetivos específicos: Conceber situações de ensino atinentes ao conteúdo de Gravitação; Descrever o uso do CAS Mathematica, atinentes a situações de ensino relativo aos conteúdos de Gravitação; Identificar elementos de uma aprendizagem significativa no âmbito do ensino da Gravitação.

Declaro que fui igualmente informado (a) de que as informações obtidas durante esta pesquisa (gravações, entrevistas e documentos) serão utilizadas apenas em situações acadêmicas (artigos científicos, seminários, palestras, trabalho de conclusão de curso etc.), identificadas somente por uma sigla (constituída de letras e números) e que não será divulgados o nome do aluno.

Estou ciente de que, em caso de dúvida, poderei contatar o pesquisador pelo telefone (85) XXXX.6968, ou pelo endereço eletrônico halysongomes@yahoo.com.br, assim como o orientador pelo endereço eletrônico ewcaetano@gmail.com.

Fui ainda informado (a) de que poderei me retirar da pesquisa a qualquer momento, mediante a comunicação ao pesquisador responsável, caso seja de meu interesse.

Fortaleza, _____ de _____ de 2016.

Assinatura do orientador

Assinatura do pesquisador

Assinatura do (a) participante

APÊNDICE B – GUIA PARA ENTREVISTA

Instrumento: Guia para entrevista

Perfil do aluno

Nome: _____

Código de identificação: _____ Data: _____

Situação do aluno em relação ao curso: _____

Sexo: () M () F Idade: _____

Formação anterior: _____ Instituição: _____

PERGUNTA INICIAL

1. Comente sua relação pessoal, profissional e acadêmica com o computador. Qual seu nível de conhecimento a respeito das ferramentas computacionais.

BLOCO DE PERGUNTAS DA CATEGORIA CONCEPÇÕES DOS ALUNOS

1. Na sua visão o que é Física?
2. Qual o papel do professor de Física frente ao contexto social atual?
3. O curso de licenciatura em Física era sua primeira opção como curso de ensino superior? Quais foram suas motivações para ingressar no Curso de Licenciatura em Física do IFCE?
4. Você considera que a grade curricular do seu curso atende às expectativas de sua formação?
5. Como você define as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação? Qual sua importância para o ensino de Física?
6. Qual a importância da Física e mais particularmente do estudo da Gravitação no contexto da sociedade contemporânea?

BLOCO DE PERGUNTAS DA CATEGORIA O MATHEMATICA® E SEU POTENCIAL SIGNIFICATIVO

1. Gostaria que você falasse da sua experiência com *softwares* voltados ao ensino e a aprendizagem. Que *softwares* você conhece? Quais deles você já utilizou? Qual deles você conheceu durante as aulas do curso de Licenciatura em Física?

2. Você já teve a oportunidade de utilizar o Mathematica anteriormente? Como se deu a aproximação com ele?
3. Aponte os pontos positivos sobre o uso do Mathematica.
4. Aponte as principais dificuldades enfrentadas durante o uso do Mathematica.
5. Compare o uso do Mathematica com métodos tradicionais de resolução de problemas.
6. Após a compilação do programa, qual resultado você alcançou? Que interpretação você faz dele?
7. Qual sua opinião sobre a metodologia adotada na abordagem do Mathematica®?
8. Que aspectos do Mathematica® o tornam uma ferramenta útil na resolução de problemas de Gravitação?