



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - IFTO, *CAMPUS* PALMAS
LICENCIATURA EM FÍSICA**

JOÃO VITOR MACHADO DE SOUZA

**USO DO *MODELLUS* COMO FERRAMENTA
EDUCACIONAL NO ENSINO DE OSCILAÇÕES
E ONDAS**

Palmas - TO

2023



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - IFTO, *CAMPUS* PALMAS
LICENCIATURA EM FÍSICA**

JOÃO VITOR MACHADO DE SOUZA

**USO DO *MODELLUS* COMO FERRAMENTA
EDUCACIONAL NO ENSINO DE OSCILAÇÕES E ONDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do Título
de Licenciado do Curso de Graduação em Licen-
ciatura em Física do Instituto Federal do Tocan-
tins, *Campus* Palmas

Orientador: Prof. Me. Francisco Romero A. No-
gueira

Palmas - TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S719u Souza, João Vitor Machado de
Uso do Modellus como ferramenta educacional no ensino de
Oscilações e Ondas / João Vitor Machado de Souza. – Palmas, TO,
2023.

71 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Me. Francisco Romero Araújo Nogueira

1. Ensino de Física. 2. Tecnologias de Informação e
Comunicação. 3. Modellus. I. Nogueira, Francisco Romero Araújo. II.
Título.

CDD 530

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Palmas

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: USO DO MODELLUS COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL NO ENSINO DE OSCILAÇÕES E ONDAS

AUTOR: JOÃO VITOR MACHADO DE SOUZA

ORIENTADOR(A): PROF. ME. FRANCISCO ROMERO ARAÚJO NOGUEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, como parte das exigências para a conclusão do curso de Licenciatura em Física.

Aprovado em 08/08/2023.

Prof. Me. Francisco Romero Araújo Nogueira
IFTO - Orientador

Prof. Dr. Weimar Silva Castilho
IFTO - Membro

Prof. Me. Ademar Paulo Junior
IFTO - Membro



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Romero Araujo Nogueira, Servidor**, em 09/08/2023, às 08:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ademar Paulo Junior, Servidor**, em 09/08/2023, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Weimar Silva Castilho, Servidor**, em 09/08/2023, às 10:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2079840** e o código CRC **D9E91BF4**.

Quadra 310 Sul, Lo 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77.021-090
Palmas/TO — (63) 3236-4000
portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.016543/2023-85

SEI nº 2079840

*A minha mãe Aparecida Domingos, ao meu irmão Tiago Machado e, principalmente, aos meus
sobrinhos Augusto Guedes Machado e Maria Guedes Machado*

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas que me apoiaram e me ajudaram no decorrer desta graduação. Sem o apoio e incentivo dessas pessoas, eu não teria conseguido chegar até aqui.

Primeiramente, agradeço à minha mãe Aparecida Domingos, que sempre esteve ao meu lado me apoiando, me incentivando e me dando as melhores condições para que eu pudesse continuar meus estudos.

Também agradeço ao meu irmão Tiago Machado, pela força e companheirismo que me ofereceu não apenas durante o curso, mas durante toda a minha vida, servindo como fonte de inspiração e orgulho.

Gostaria de expressar minha gratidão especial à Ingrid Martins, que me acompanhou durante todo o curso, fornecendo apoio, ajuda e ensinamentos que me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor a cada dia. Também quero agradecer aos meus amigos Luis Eduardo Duarte e Beatriz Macedo pelo incentivo, parceria e pelos valiosos ensinamentos. Muito obrigado a todos vocês.

A todos os meus amigos da vida e da graduação que de alguma maneira me ajudaram e me deram forças para chegar até o fim, meu sincero agradecimento.

Agradeço ainda ao professor e amigo Dr. Mateus Antônio Resende pelos inúmeros conselhos de vida cedidos durante as aulas de Física Matemática, Física IV, Física Moderna e Mecânica Quântica, que não só marcaram minha vida, mas também a de outros amigos.

Por fim, agradeço ao meu orientador Prof. Me. Francisco Romero Araújo Nogueira pela paciência, dedicação e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho. Suas sugestões, observações pontuais e criteriosas correções tornaram este trabalho possível e concreto.

A natureza é um enorme jogo de xadrez disputado por deuses, e que temos o privilégio de observar. As regras do jogo são o que chamamos de física fundamental, e compreender essas regras é a nossa meta.

Richard Feynman

Resumo

As diversas pesquisas em ensino de Física mostram a crescente despopularização dessa disciplina entre os alunos do Ensino Médio. Seja pela presença quase que totalitária da Matemática nas aulas de Física, ou ainda pelos métodos tradicionais de ensino empregados na sala de aula, que pouco estimulam os estudantes a continuarem aprendendo. O uso das Tecnologias de Informação e Comunicação, como o computador, por exemplo, no ambiente pedagógico, pode ser uma alternativa para não só estimular o estudante a aprender Física, como também reduzir o tempo dedicado a resolução de exercícios puramente matemáticos, voltando a atenção do aluno para a análise e interpretação do fenômeno estudado. Neste trabalho, propomos o uso do *Modellus* no ensino de Oscilações, abordando o MHS, e Ondas, abordando ondas na corda e batimentos, destacando as possibilidades de exploração de cada simulação dentro da sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de Física, Tecnologias de Informação e Comunicação, *Modellus*.

Abstract

The various research in physics teaching shows the increasing depopularization of this discipline among high school students. Whether by the almost totalitarian presence of Mathematics in Physics classes, or by the traditional teaching methods employed in the classroom, which hardly stimulate students to continue learning. The use of Information and Communication Technologies, such as the computer, for example, in the pedagogical environment, can be an alternative to not only stimulate the student to learn Physics, but also reduce the time devoted to solving purely mathematical exercises, turning the student's attention to the analysis and interpretation of the studied phenomenon. In this work, we propose the use of Modellus in the teaching of Oscillations, addressing MHS, and Waves, addressing waves in the rope and beats, highlighting the possibilities of exploiting each simulation within the classroom.

Keywords: Physics Teaching, Information and Communication Technologies, *Modellus*.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Simulação da Dupla Fenda no <i>PhET</i>	25
Figura 2 – <i>Modellus X</i>	28
Figura 3 – Vinculando os parâmetros definidos à partícula	29
Figura 4 – Recorte de tela exibindo as janelas “Modelo Matemático”, “Gráfico” e “Tabela” gerados pela modelagem do MHS	30
Figura 5 – Inserindo outras ferramentas	31
Figura 6 – Gráfico e Tabela da velocidade v em função do tempo t	32
Figura 7 – Relação entre MHS e MCU	37
Figura 8 – Vetores representando as grandezas atuantes na bola	38
Figura 9 – Sistema massa-mola	40
Figura 10 – Disposição dos vetores posição, força e aceleração no MHS	41
Figura 11 – Diagrama de corpo livre do pêndulo simples	42
Figura 12 – Relação entre o comprimento x do arco com o ângulo θ e o raio l	43
Figura 13 – Equações para a modelagem do pêndulo simples na janela “Modelo Matemático”	44
Figura 14 – Modelando o pêndulo simples	44
Figura 15 – Vetores representando as forças atuantes na bola	45
Figura 16 – Modelo Matemático contendo a Função de Onda com defasagem de 0.1 entre cada posição	48
Figura 17 – Modelando a propagação transversal de uma onda em uma corda	49
Figura 18 – Diferença de fase entre as partículas verde e vermelha e a descrição do MHS pela partícula amarela	49
Figura 19 – Gráfico do MHS descrito pela partícula amarela	50
Figura 20 – Janela “Modelo Matemático” com as equações de velocidade e aceleração para as partículas na corda	51
Figura 21 – Disposição dos vetores velocidade, em preto e aceleração, em amarelo, para as partículas verde e vermelha	51
Figura 22 – Visualização gráfica das ondas y_1 , em vermelho e y_2 , em preto	53
Figura 23 – Sobreposição das ondas y_1 e y_2	54
Figura 24 – Comparação gráfica entre a onda resultante Y e as ondas y_1 e y_2	54
Figura 25 – Interface do <i>Modellus X</i>	64
Figura 26 – <i>Print</i> da janela Modelo Matemático com a equação 2	65
Figura 27 – Janela “Modelo Matemático” com o campo “Parâmetros” na parte inferior	66
Figura 28 – Aba “Início”	68
Figura 29 – Aba “Variável Independente”	69
Figura 30 – Aba “Modelo”	69
Figura 31 – Aba “Gráfico”	70

Figura 32 – Aba “Tabela”	70
Figura 33 – Aba “Animação”	71
Figura 34 – Aba “Notas”	71

Lista de abreviaturas e siglas

BNCC	Base Nacional Curricular Comum
CFE	Conselho Federal de Educação
EM	Ensino Médio
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
FCTUNL	Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
IES	Instituições de Ensino Superior
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Tocantins
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
JRE	<i>Java Runtime Environment</i>
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MCU	Movimento Circular Uniforme
MHS	Movimento Harmônico Simples
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
SI	Sistema Internacional de Unidades
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
USP	Universidade Estadual de São Paulo

Sumário

	INTRODUÇÃO	14
1	ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL	16
1.1	Desafios e dificuldades na aprendizagem de Física	16
1.2	Panorama do ensino de Física nas escolas públicas brasileiras	18
1.3	Formação de professores	20
2	INFORMÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA	23
2.1	Uso de novas tecnologias no ensino-aprendizagem de Física	23
2.2	O <i>Modellus</i>	26
2.2.1	Criação e história	27
2.2.2	Construindo uma simulação	28
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
4	PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DO <i>MODELLUS</i> COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA	35
4.1	MHS	36
4.1.1	Modelando o sistema massa-mola	38
4.1.2	Modelando o pêndulo simples	41
4.2	Ondulatória	46
4.2.1	Modelando Ondas em uma Corda	46
4.2.2	Modelando os Batimentos	52
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICES	63
.1	Como funciona o <i>Modellus</i>	64

Introdução

De Newton a Einstein, mais de 150 anos se passaram e diversas descobertas revolucionaram o mundo científico. Dentre elas, a formulação da Lei de Coulomb, a descrição ondulatória da luz por Thomas Young, passando pelas proposições da indução eletromagnética por Michael Faraday e pela descoberta das linhas espectrais por Gustav Kirchhoff. De certo, a evolução da ciência, ligada a evolução tecnológica, culminou na evolução da sociedade. Atualmente, as novas tecnologias tem se mostrado cada vez mais presentes na obtenção de novos conhecimentos, tendo em vista que a sociedade está cercada e submergida pelos mais diversos tipos de tecnologias [1].

Entretanto, as metodologias de ensino nas escolas públicas pouco evoluíram, fornecendo ao seu estudante uma forma defasada de aprender e pouco adaptada ao cotidiano tecnológico do aluno. Ensinar Física, uma ciência de natureza experimental, em uma sociedade tecnológica e rodeada de informações de uma maneira tradicional, usando-se somente pincéis e quadro branco, fornece ao estudante uma formação deficiente, com pouca ou nenhuma habilidade científica. Este tipo de ensino pouco privilegia a natureza observável presente na Física, resumindo-a a uma ciência de caráter puramente teórico e pouco experimental, reforçando o estereótipo de que a Física é uma ciência difícil de se aprender [2, 3].

A Física escolar não agrada um grande número de estudantes do Ensino Médio (EM), dentre os diversos motivos citados, destacam-se a redução da disciplina a cálculos matemáticos e o grau de abstração presentes em alguns conteúdos, o que dificulta a compreensão dos mesmos, uma vez que boa parte dos estudantes aprendem Física fazendo analogias com os acontecimentos do cotidiano. Ainda são citados, na literatura, o ensino focado na memorização e na preparação para os vestibulares, dando pouca atenção aos conceitos físicos que verdadeiramente importam [4, 5, 6].

Os laboratórios de Física representam um aliado importante para o professor, visto que a partir dele, consegue-se mostrar ao aluno como algumas conclusões teóricas foram alcançadas. A experimentação em Física é parte crucial para o aprendizado, entretanto, devido a deficiência estrutural da maioria das escolas públicas brasileiras, este suporte não é oferecido ao professor, tendo este que recorrer a outros meios para fornecer essa experimentação aos estudantes.

Por mais que as escolas públicas sejam carentes de laboratórios de Física, grande parte delas possuem laboratórios de informática, o que pode colaborar para a utilização da informática como ferramenta de ensino. O uso de laboratórios virtuais, por meio dos *softwares* educativos, podem representar uma fuga para essa limitação estrutural, além de tornar o aprendizado mais atrativo e dinâmico para o estudante, que já está familiarizado e domina as tecnologias atuais.

Dessa forma, a abstração presente em certos conteúdos demanda do professor estratégias diferentes das metodologias tradicionais. Assim, o uso das Tecnologias de Informação e Comuni-

cação (TIC's) podem ser uma alternativa para melhorar esta dificuldade e estabelecer um vínculo do conteúdo ensinado com sua respectiva aplicação prática no cotidiano, além de corroborar com uma formação autônoma, aliada à tecnologia e às práticas de investigação.

Faz-se aqui a recomendação do *software Modellus* para auxiliar o professor e fazer da sala de aula um ambiente favorável para o aprendizado da disciplina. O *Modellus* é um programa de modelagem matemática que oferece ao seu usuário uma diversidade de opções para modelagem do fenômeno desejado. Através dele, é possível simular uma diversidade de fenômenos através das equações matemáticas que o descrevem, e pode ser utilizado pelo professor para elucidar o significado por trás das equações matemáticas que descrevem um determinado fenômeno, apresentando-se como um laboratório virtual [2].

O *Modellus* permite uma maior interação com a simulação quando comparado com simuladores disponíveis na *web*. Por meio do *Modellus*, o professor, ou o aluno, pode elaborar os parâmetros da modelagem sem alterar o modelo inserido, além de definir diversos parâmetros para uma mesma simulação. O *software* ainda dispõe de gráficos e tabelas que podem ser usados para complementar a simulação, fornecendo uma ampla variedade de dados e cálculos realizados automaticamente pelo programa. Isso poupa o estudante do trabalho de realizar esses cálculos matemáticos de maneira manual, atribuindo a ele a função de alterar, interpretar e analisar os resultados da modelagem. A utilização deste programa não é restrita somente a Física, ou ao EM, sua versatilidade permite que diversas disciplinas sejam contempladas, incluindo, matemática, química e biologia.

No primeiro capítulo deste trabalho, fez-se uma abordagem do ensino de Física no Brasil, abordando as diversas problemáticas no ensino-aprendizagem da disciplina, o deficit estrutural enfrentado por um grande número de escolas públicas e o baixo número de docentes habilitados para lecionar Física. No segundo capítulo, foram citadas diversas ferramentas de simulações que podem ser usadas no ensino de Física como alternativa ao baixo número de laboratórios nas escolas públicas, dando destaque para o *software Modellus*. Além disso, buscou-se fornecer ao professor um guia atualizado sobre o *Modellus*, englobando suas principais funções e ferramentas. Os passos descritos para a elaboração deste trabalho, inclusive para a escolha do *software*, são relatados no terceiro capítulo. Por fim, o quarto capítulo é dedicado para a apresentação das simulações elaboradas com o *Modellus*, além de uma breve descrição a respeito dos fenômenos modelados e das equações necessárias para a construção do modelo.

Os conteúdos escolhidos para as simulações apresentadas no quarto capítulo englobam os tópicos de Oscilações e Ondas. Esses conteúdos, que se apresentam em termos de equações diferenciais e/ou trigonométricas, geralmente representam um desafio para os alunos em termos de assimilação, além de possuírem um certo nível de abstração em seu entendimento. Dessa forma, tratar estes conteúdos utilizando o *Modellus*, incumbe ao aluno somente a tarefa de analisar, entender e refletir sobre o fenômeno, contribuindo assim para a construção de uma sólida base científica na formação do estudante.

1 Ensino de Física no Brasil

1.1 Desafios e dificuldades na aprendizagem de Física

Ensinar Física no Brasil ainda é um desafio, além do ensino fragmentado, desconexo com a realidade dos alunos, há um enfoque excessivo em conceitos da Física clássica, deixando de lado a Física moderna e suas aplicações práticas. Essa situação aponta para um currículo defasado que ainda é adotado em muitas escolas brasileiras, impondo a esses alunos a vivência em uma época tão tecnológica, mas sem os conhecimentos necessários da Física contemporânea que tornou isso possível [7, 8].

O ensino fragmentado, desconexo da vida cotidiana do estudante, com pouca ou nenhuma relação com outras áreas do conhecimento, pode afastar os alunos da disciplina, que podem vê-la apenas como um tópico extra de matemática no EM. Esse fator se torna ainda mais preocupante quando alguns professores reduzem a disciplina a simples resoluções de problemas matemáticos, abandonando completamente as teorias e conceitos físicos que podem enriquecer ainda mais o desenvolvimento cognitivo do estudante.

A matematização desnecessária da Física no EM pode ser uma das principais causas do distanciamento dos alunos da disciplina de física. Isso ocorre devido à dificuldade que os alunos enfrentam ao lidar com a linguagem matemática, o que pode se tornar um obstáculo para o processo de aprendizado em na disciplina de Física. O uso demasiado dessa linguagem em sala de aula, onde se tenta impor a matemática sobre o conhecimento físico, pode afetar diretamente o ensino da disciplina, atribuindo a ela a responsabilidade pelo fracasso escolar. É notório que as aulas de Física sejam frequentemente recheadas de resolução de problemas e reduzidas a simples aplicações de fórmulas prontas, sem a devida discussão filosófica do emprego desta ferramenta, o que pode tornar a disciplina ainda mais abstrata e de difícil compreensão, sendo denominada por alguns como um apanhado de fórmulas [9, 10, 11].

Além disso, é importante ressaltar que a matemática é uma ferramenta importante para a Física e seu uso correto é indispensável para a compreensão dos conceitos e teorias Físicas. Ressalta-se, ainda, que a abordagem de outras vertentes, como a filosofia e a história da Física, podem ser utilizadas para facilitar a compreensão de novos conceitos, modelos e teorias. No entanto, é importante que os professores utilizem a matemática de forma adequada e contextualizada, para que os alunos possam visualizar sua aplicabilidade e relevância na resolução de problemas físicos reais. Dessa forma, os alunos podem sentir-se mais motivados e engajados com a disciplina [12].

Outrossim, outro fator que ainda permeia as salas de aula é o ensino dedicado unicamente à aprovação. O ensino voltado para vestibulares e outros exames tornou as instituições educacionais

academias de treinamento que preparam os alunos somente para obter as respostas corretas, denominado “teaching for testing” [13].

O ensino voltado para a testagem, ainda bastante empregado, é baseado na premissa de que as melhores escolas são aquelas que mais aprovam seus estudantes em testes, como vestibulares e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), por exemplo, banalizando o efetivo entendimento dos conceitos físicos e tornando os estudantes vítimas de um sistema educacional mais preocupado com os recursos advindos dos índices de aprovação do que no efetivo aprendizado.

É fato que existe um grande número de professores que utilizam boas metodologias e contam com um suporte estrutural mínimo para o ensino de ciências. No entanto, muitos desses professores enfrentam um problema sério que não está relacionado ao ensino em si, mas sim à pressão para treinar os estudantes para esses exames. Em muitos casos, o ensino para aprovação não prioriza a aprendizagem de conceitos físicos, mas sim a aprovação nesses exames. Devido ao caráter subjetivo e ao tempo exigido para avaliar os alunos de forma mais abrangente, avaliar o aluno por meio de respostas corretas pode parecer a “melhor” alternativa para algumas instituições. Nesse sentido, Moreira [6] questiona a lógica de toda a educação de um país estar direcionada para uma única prova: o ENEM [6].

A testagem é uma característica da educação bancária, conceituada por Paulo Freire como a memorização de conteúdos de maneira mecânica na qual os conteúdos são descartados na primeira oportunidade, sem nenhum estímulo à sua criticidade. Nesse modelo de ensino, parafraseando Paulo Freire, o saber é transmitido daquele que se diz sábio para aquele que se julga não saber de nada, resumindo os alunos a meros recipientes nos quais o professor deve encher com sua sabedoria até a borda [14].

É fato que a Física está presente em diversos aspectos do cotidiano e o seu ensino deve estar conectado com a realidade dos alunos, de forma a torná-lo mais atrativo e interessante para a compreensão dos conceitos fundamentais. Ensinar dessa maneira é utilizar situações que façam sentido para o estudante, contribuindo para que haja uma verdadeira aprendizagem significativa¹ dos conteúdos [15].

Ensinar Física de maneira desconectada não gera estímulo no aluno para aprender, podendo levá-lo a banalizar a disciplina, quando na verdade poderia ser a mais difundida entre eles, uma vez que está tão ligada ao seu cotidiano. Com a difusão dos *podcasts*, a divulgação científica ganhou novos patamares, permitindo que grandes divulgadores tenham um novo meio para disseminar o conhecimento científico e atrair a atenção de jovens entusiastas da ciência para áreas como a astronomia, Física moderna e outras áreas da Física. Entretanto, esses alunos

¹A Aprendizagem Significativa foi proposta por David Ausubel na década de 1960 e parte daquilo que o estudante já sabe, denominado subsunçor. Esse conhecimento, que já está organizado na estrutura cognitiva do aluno, de acordo com Moreira (2010), interage com os novos conhecimentos de maneira substantiva e não arbitrária, de forma que esses novos conhecimentos adquiram significado e o subsunçor existente se organize com mais clareza. Dessa forma, os subsunçores são um importante passo na compreensão desta teoria e servem como ideias-âncora para o estudante, uma vez que esta teoria baseia-se na interação entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios.

acabam tendo seus interesses podados por aulas de Física voltadas unicamente para a resolução de exercícios puramente matemáticos e pouco conceituais, ou ainda com a utilização de modelos pouco efetivos disponíveis nos livros didáticos.

Essa educação pobre e pouco centrada no aluno contém poucos conceitos físicos e ainda menos debates, sendo que na Física, as perguntas e a habilidade de questionar são mais importantes do que as respostas. Fatores como estes afastam os estudantes da disciplina, fazendo com que a repudiem e a tratem como uma nova disciplina de matemática [7, 16].

Outro fator que colaborou para a dificuldade no aprendizado da disciplina, e de todas as outras, foi a pandemia provocada pelo COVID-19, a qual exigiu que as aulas presenciais fossem adaptadas ao cenário da época. A abrupta mudança do ensino presencial para o ensino remoto deixou marcas que são sentidas até os dias atuais, principalmente nas universidades brasileiras, onde muitos estudantes chegam aos cursos de exatas, por exemplo, com pouco domínio de matemática básica e outros conceitos que deveriam ter sido aprendidos no EM. Essa realidade é compreensível quando consideramos que grande parte desses estudantes concluíram os anos finais do EM apenas com apostilas entregues semanalmente pelas escolas [17, 18].

É fato que o ensino de Física carece de novas abordagens, principalmente voltadas para o aluno. Dessa forma, o estudante poderá construir sua própria evolução, desenvolver sua autonomia e estrutura cognitiva, fugindo de um ensino mecânico. Além de aprender o conteúdo proposto, o aluno poderá perceber que a Física está diretamente relacionada ao seu cotidiano e que o aprendizado dessa disciplina poderá lhe proporcionar uma nova visão de mundo.

1.2 Panorama do ensino de Física nas escolas públicas brasileiras

De acordo com o Censo Escolar da Educação Básica de 2022, 7,9 milhões de alunos foram matriculados nas 29.413 escolas que ofertaram o EM no Brasil, sendo 84,2% do número de matrículas na rede estadual (que corresponde a 67,8% do número de escolas) e 12% nas instituições de ensino privadas (com 29,4% do número de escolas). A rede federal de ensino abrigou somente 3% desse total (com 2% das escolas) [19].

O EM marca o início do contato dos alunos com a disciplina de Física². Embora eles geralmente entrem na sala de aula cheios de curiosidade sobre os fenômenos cotidianos estudados nessa disciplina, algumas barreiras podem acabar afetando seu interesse e fazendo com que se afastem dela.

Um fator intrínseco a essa narrativa é a redução da carga horária semanal destinada à disciplina. Com apenas 2 horas-aula (ou menos) por semana, os professores precisam ministrar

²O primeiro contato, de fato, acontece no 9º ano, na disciplina de ciências. Por ser de maneira resumida, o 1º ano do EM marca um contato verdadeiro com a Física como disciplina estruturante do pensamento científico

todo o seu conteúdo programático para turmas que, em alguns casos, ultrapassam 40 alunos. Por isso, é comum que alguns docentes ministrem suas aulas com ainda mais rapidez, transformando a sala de aula em um mini-auditório em que cabe ao aluno apenas a função de escutá-lo [20].

Transformar o estudante em um agente passivo de sua aprendizagem significa ferir seu direito à autonomia. O aluno precisa ser o próprio agente de seu conhecimento, deixando de lado a relação vertical entre professor e aluno que ainda predomina em algumas salas de aula. Essa relação desestimula o senso crítico do aluno e prejudica sua assimilação dos conteúdos com o mundo natural [15].

Quando se trata de relacionar os fenômenos físicos estudados em sala de aula com o cotidiano dos alunos, os laboratórios se apresentam como um forte aliado do professor e um instrumento de grande utilidade para que o aluno possa manipular as condições de um experimento, investigar as alterações provocadas em seu resultado final e questionar sua validade. A falta quase completa de aulas práticas representa uma formação deficiente para o estudante, indo na contramão do desenvolvimento tecnológico atual. A utilização de exemplos práticos e experimentos pode ajudar a ilustrar conceitos abstratos e torná-los mais compreensíveis. Isso justifica a importância da presença dessas atividades nas escolas públicas como fator crucial para a formação do pensamento científico dos estudantes e essencial para treinar a observação e estimular o interesse do aluno [21, 22].

O uso do laboratório serve não apenas para o ensino e assimilação de conteúdos abstratos vistos em sala de aula, mas também se apresenta como uma ferramenta responsável por despertar no aluno o desejo pela ciência, pela observação e investigação científica. Dessa forma, os laboratórios podem ser a peça chave para tornar o aluno um futuro pesquisador em ciência. O gosto pela descoberta nasce na curiosidade, no interesse do aluno em manipular essa ferramenta e entender suas condições de contorno, transformando-o não só no agente principal de seu aprendizado como também em um entusiasta da investigação científica.

Embora seja de grande importância, as escolas públicas brasileiras ainda são carentes de laboratórios. De acordo com os dados do Censo Escolar divulgados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) em 2018, somente 44,1% dos colégios brasileiros possuem laboratórios de ciências, estando presente em somente 38,8% dos colégios públicos de nível médio. Por outro lado, de acordo com Censo Escolar da Educação Básica de 2022 para as instituições estaduais que ofertam o EM, o número de computadores portáteis, por aluno, é de 55,4% e o acesso a internet para os alunos está presente em 72,4%, e 80,3% oferecem computadores de mesa para os estudantes. Na rede federal os números de computadores portáteis, de acesso a internet para os alunos e a oferta de computador de mesa é de 53,4%, 98,8%, 99,7%, respectivamente [23].

Os dados estatísticos recentes indicam uma crescente informatização nas escolas públicas. Esses dados, aliados ao fato de que os jovens dominam a tecnologia, aponta para um obstáculo a menos para se utilizar os laboratórios de informática como ferramenta de ensino nas escolas

públicas brasileiras. Entretanto, as principais razões para a pouca utilização dos laboratórios de informática nas escolas são a falta de habilidade para manusear o computador e a formação inadequada oferecida aos professores na graduação, onde os mesmos deveriam receber uma formação dotada de conhecimentos em computação, para que essas novas tecnologias sejam inseridas de maneira consciente no ambiente pedagógico [24, 25].

1.3 Formação de professores

A formação de licenciados em Física teve início nos anos 30 na Universidade de São Paulo (USP), mais especificamente pela Faculdade Nacional de Filosofia, que era responsável por formar profissionais para o magistério. A formação desses licenciados era obtida por meio de um sistema 3+1, em que os três primeiros anos conferiam a graduação de bacharel aos estudantes e o último ano era a formação pedagógica que lhes fornecia o título de licenciado em Física [26].

Na década de 1950, começaram a ser oferecidos cursos de graduação específicos para a habilitação de professores de Física, com o objetivo de suprir uma demanda crescente por profissionais qualificados para atuar no ensino, decorrente da universalização do ensino e da expansão do sistema educacional brasileiro durante a Era Vargas (1930-1950) [27].

Durante o Período Militar (1964-1985), houve uma intensa urbanização e industrialização, o que aumentou a procura por cursos de nível superior no país. Com a extinção da Faculdade Nacional de Filosofia, e a redução das verbas destinadas a educação, os cursos de nível superior sofreram uma crescente depreciação, as licenciaturas, por exemplo, passaram a ser ofertadas com carga horária reduzida, que variava de 1200 a 1500 horas, com a visão de que uma formação apressada é melhor do que nenhuma formação. Paralelo a isto, o Regime Militar estabeleceu um teste de suficiência regulado pelo Conselho Federal de Educação (CFE) para habilitar novos profissionais para exercer o magistério, não exigindo dos mesmos a mínima formação pedagógica. Isso ocorreu como uma tentativa de suprir a demanda por professores e provocou diversos conflitos entre a comunidade científica e o Regime [26, 28].

A aprovação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) de 1996 garantiu aos cidadãos o direito de uma educação gratuita e de qualidade. Dentre as diversas mudanças propostas, destaca-se o artigo 62, que estabeleceu que a formação de professores para atuar na educação básica se dará em nível superior, sendo o incentivo a pesquisa e a investigação científica uma de suas finalidades. E, ainda, em 13º artigo, é atribuído ao professor a participação na elaboração da proposta pedagógica da escola [29].

Quanto a duração, a Resolução CNE/CP 2, de 19 de Fevereiro de 2002 institui uma carga horária mínima para os cursos de formação de professores para a educação básica de 2800 horas. Já a resolução nº 2, de 1º de Julho de 2015 estabelece uma nova carga horária mínima para a formação de professores de 3200 horas, em cursos de duração mínima de 8 semestres ou 4 anos, além de garantir 400 horas para o estágio supervisionado [30, 31].

As inúmeras reformas no âmbito da educação buscam, entre outras coisas, além de formar mais profissionais, formar profissionais mais qualificados. Dessa forma, não é possível discutir sobre educação sem levar em consideração o educador. Na maioria dos casos, o professor precisa ensinar uma ciência essencialmente experimental, como a Física, sem ter a mínima estrutura ou a formação específica necessária. A falta de um profissional habilitado faz com que professores de formações distintas ou bacharéis em outras áreas do conhecimento assumam a disciplina.

O baixo número de docentes licenciados em Física pode ser explicado, dentre outros fatores, pela acentuada evasão nos cursos de licenciatura em Física. De acordo com o Censo da Educação Superior de 2021, divulgado pelo INEP, os cursos de licenciatura representavam apenas 15,4% dos ingressos em Instituições de Ensino Superior (IES), registrando uma queda de 12,8% em relação ao ano anterior. As licenciaturas representaram 21,4% do total de concluintes, enquanto os cursos de bacharelados corresponderam a 57,4% e os cursos tecnológicos a 21,2%. A Física apresentou uma taxa de desistência acumulada de 75% (essa taxa é a maior entre as licenciaturas), acima da média brasileira de 59%, de acordo com um gráfico do INEP, publicado em 2019, que aborda estatísticas dos cursos de licenciatura dos ingressantes em 2010 [32].

Um estudo realizado em 2007 por Gobara e Garcia, cujos aspectos ainda são considerados bastante atuais, identificou alguns motivos que podem justificar a alta taxa de desistência nos cursos de licenciatura. Entre eles, destaca-se a dificuldade dos estudantes em se sustentarem durante a graduação, o baixo salário e a falta de perspectiva de melhora nesse cenário, bem como o status de professor em constante declínio. As pesquisas de Oliveira e Silva [33] apontam ainda que estes fatores são atuantes até mesmo naqueles que ainda permanecem matriculados no curso, entretanto, estes encontram forças na expectativa de obter seu diploma superior, no alto tempo que já foi investido na sua formação e a pressão de seus familiares. Estabelecendo em todo tempo uma relação de custo-benefício de sua evasão ou permanência na graduação [27].

Todos esses aspectos levam a uma taxa de conclusão para o curso de licenciatura em Física de apenas 23%. Além disso, é importante destacar que somente 1/3 dos professores licenciados em Física atuam na sala de aula. Esse cenário pode explicar o alto número de professores de outras áreas do conhecimento ministrando a disciplina, uma vez que o número de professores disponíveis é insuficiente para preencher todas as vagas ofertadas [34, 35].

Até o momento, analisamos os fatores externos que influenciam na formação de professores. Nessa perspectiva, Borges [36] destaca que, além de ser necessário formar mais professores, é preciso melhorar a qualidade da formação docente, fornecendo a eles mais oportunidades de pensar cientificamente. Entretanto, de acordo com Moreira [7], ao olharmos para dentro dos cursos de formação, percebemos que o currículo apresenta deficiências em termos de Física. Em muitas salas de aula do ensino superior, ocorre o mesmo problema que nas salas do EM: um ensino verticalizado centrado no professor, com poucas situações que façam sentido para os estudantes. Esse fator pode ser prejudicial no futuro, uma vez que os licenciandos tendem a se espelhar na metodologia de ensino de seus professores ao ministrarem suas próprias aulas [7].

Além disso, muitos programas de formação de professores não são adequados às necessidades de hoje, onde a tecnologia e novas metodologias de ensino estão se tornando cada vez mais cruciais para o aprendizado. Os futuros professores precisam estar preparados para enfrentar diversos desafios em sala de aula, incluindo alunos com necessidades especiais, diversidades culturais e linguísticas e as novas tecnologias educacionais que estão em constante evolução.

Ademais, ainda é comum formar professores com pouca experiência em pesquisa em ensino no decorrer de sua graduação, muitas vezes devido à baixa valorização da produção técnica. Entretanto, é mais que necessário incluir a pesquisa na formação docente, tendo em vista que a pesquisa em ensino tem por finalidade principal, além do conhecimento da atual realidade da educação, a transformação do ensino, com resultados que podem engrandecer ainda mais a relação professor-aluno no que se diz respeito a aprendizagem.

A formação de professores e as atividades de pesquisa não podem ser analisadas separadamente. Formar um professor pesquisador vai além de produzir novos produtos educacionais, mas sim de estimular o criticismo, a reflexão e uma base sólida para tomada de decisões desse novo profissional dedicado a ensinar gerações com uma prática de ensino aprimorada, voltada para o aluno. Portanto, a formação de professores pesquisadores deve fazer parte obrigatória do currículo das IES, assim como é necessário estimular que continuem pesquisando após a graduação, tendo em vista que essas pesquisas em ensino podem fornecer a esses futuros professores uma experiência em ciência ainda mais autêntica [36].

Na formação de professores de Física do IFTO - Campus Palmas, por meio da disciplina de Informática Aplicada ao Ensino de Física, são apresentadas varias ferramentas tecnológicas que podem ser empregadas no contexto da sala de aula. Alguns *softwares*, como o *Phet* para simulações, e o *Modellus* para modelagem matemática, são utilizados no decorrer da disciplina, podendo, ainda, utilizá-los ao logo dos estágios docentes como ferramenta de ensino. Nessa vertente, dá-se destaque as produções acadêmicas realizadas no IFTO - Campus Palmas sobre a presença das tecnologias no contexto da sala de aula, destacando o trabalho feito por Godinho [37], onde se abordou o *Modellus* como recurso didático para o ensino-aprendizagem da disciplina de Física.

Formar melhores docentes para ensinar Física é crucial para oferecer um ensino de qualidade aos alunos das escolas públicas brasileiras. É responsabilidade das IES não apenas formar professores, mas também oferecer uma formação de qualidade, com práticas pedagógicas atuais e com foco nas pesquisas voltadas ao ensino. Isso se torna ainda mais importante quando se considera a relação direta entre a qualidade da formação e a qualidade do ensino que será oferecida por esses professores no futuro, dessa forma tratar o problema na raiz pode ser o melhor caminho para uma educação libertadora e significativa.

2 Informática no ensino de Física

2.1 Uso de novas tecnologias no ensino-aprendizagem de Física

O objetivo da disciplina de Física no EM não é formar futuros físicos pesquisadores ou preparar os alunos para exames, mas sim fornecer uma compreensão mais ampla e profunda do mundo que os cerca. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) reconhecem a importância da Física como parte necessária da educação e enfatizam a necessidade dos estudantes desenvolverem habilidades de pensamento crítico e raciocínio lógico, que podem ser aplicados em diversas áreas da vida. A escola, portanto, pode ser a única oportunidade para que alguns alunos tenham acesso a esse conhecimento e que desenvolvam sua capacidade de compreensão e interpretação do mundo ao seu redor [38].

Os PCN reforçam ainda que o papel do EM na formação do estudante é proporcioná-lo uma autonomia crítica, fazendo-o pensar por conta própria e despertando neles a capacidade de debater questões e assuntos com o amparo de sua formação técnico-científica. Destaca-se ainda o papel da tecnologia, resguardado pelos PCN como parte fundamental no ensino de Ciências da Natureza, e que deve ser utilizada com o objetivo de solucionar problemas concretos, possibilitando a investigação, o questionamento e o desejo pelo conhecimento de forma mais atrativa e dinâmica, tornando concreto a preparação para o mercado de trabalho, conforme descrito na LDB [38, 39].

Nesse contexto, o progresso da informática abriu novos horizontes para o seu uso não somente para fins comerciais e tecnológicos, mas também educacionais. Introduzir a tecnologia na sala de aula cria oportunidades que permitem que os conteúdos sejam aprendidos e contextualizados de uma forma mais dinâmica e interdisciplinar. Porém, apenas a adoção dessas ferramentas tecnológicas não é suficiente para garantir a efetividade da aprendizagem. Por isso, é imprescindível que os educadores estejam preparados e capacitados para utilizá-las de maneira adequada e eficaz na sala de aula, a fim de assegurar que seus alunos obtenham os benefícios máximos dessas ferramentas. O professor deve ainda se atentar para não perder de vista seus objetivos pedagógicos, buscando sempre um uso que corrobore com a formação de um estudante crítico e reflexivo [40].

Conforme mencionado anteriormente, devido à escassez quase completa de laboratórios de ciência nas escolas estaduais brasileiras, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) podem ser utilizadas no contexto da sala de aula como ferramentas experimentais, unindo o conteúdo visto com a prática digital. Cabe ao professor elaborar um projeto pedagógico de acordo com a realidade de sua unidade escolar, sendo ele livre pra escolher o que melhor encaixa em sua metodologia. Partindo dessa realidade, mesmo que menos de 40% das escolas públicas brasileiras

possuam laboratório de ciência, 82% delas possuem laboratório de informática, esse número é ainda maior quando se refere ao acesso a internet. Cerca de 93% das escolas públicas possuem acesso a internet, possibilitando o uso da informática como ferramenta digital aliada ao ensino e experimentação digital de Física [38, 41].

O uso de novas ferramentas é uma abordagem diferente do ensino tradicional, pois este último é focado na memorização e na testagem. Utilizar ferramentas tecnológicas não só torna as aulas mais dinâmicas e interativas, como também ajuda a contextualizar a Física com outras áreas do conhecimento, fugindo da ideia pré-concebida por alguns alunos de que a Física só é aplicável na escola [13, 42].

O fato de alguns alunos pensarem que a Física não é aplicável fora da escola também contribui para o mau desempenho escolar de um grande número de alunos na disciplina. Isso ocorre porque a Física pode ser vista como uma ciência abstrata que, em alguns casos, não podem ser compreendida de forma concreta ou associada a exemplos práticos, o que dificulta a compreensão do fenômeno físico por alguns estudantes. Mesmo que o professor esteja muito bem preparado, ele pode se deparar com conceitos que são difíceis de serem explicados usando apenas pincéis e um quadro branco, como é o caso do Movimento Harmônico Simples (MHS) e dos Batimentos, que podem exigir uma compreensão visual e sonora mais apurada por parte dos alunos ¹ [42, 43].

Embora ainda encontre resistência por parte de alguns professores, o uso de tecnologias digitais é respaldado pela Base Nacional Curricular Comum (BNCC). Em sua quinta competência é enfatizada a importância de trazer para a sala de aula tecnologias que auxiliem na produção de novos conhecimentos, na reflexão crítica dos alunos e na construção do seu protagonismo no processo de ensino-aprendizagem [44].

É fato que a interação dos estudantes com os conteúdos trabalhados em sala de aula é essencial, principalmente na disciplina de Física, que é uma ciência essencialmente experimental. Sem a estrutura de laboratórios, alguns professores utilizam animações, simulações e modelagem para tentar representar o mundo real e ajudar a dar sentido ao conteúdo, uma vez que ensinar ciências utilizando apenas o discurso não é suficiente para representar tudo o que ela representa e como se constrói. Essas ferramentas digitais também podem ser utilizadas para simular experiências que demandariam um investimento extra em equipamentos e laboratórios, caso o tenham, ou que aconteceriam de maneira rápida demais para serem visualizadas [43, 45].

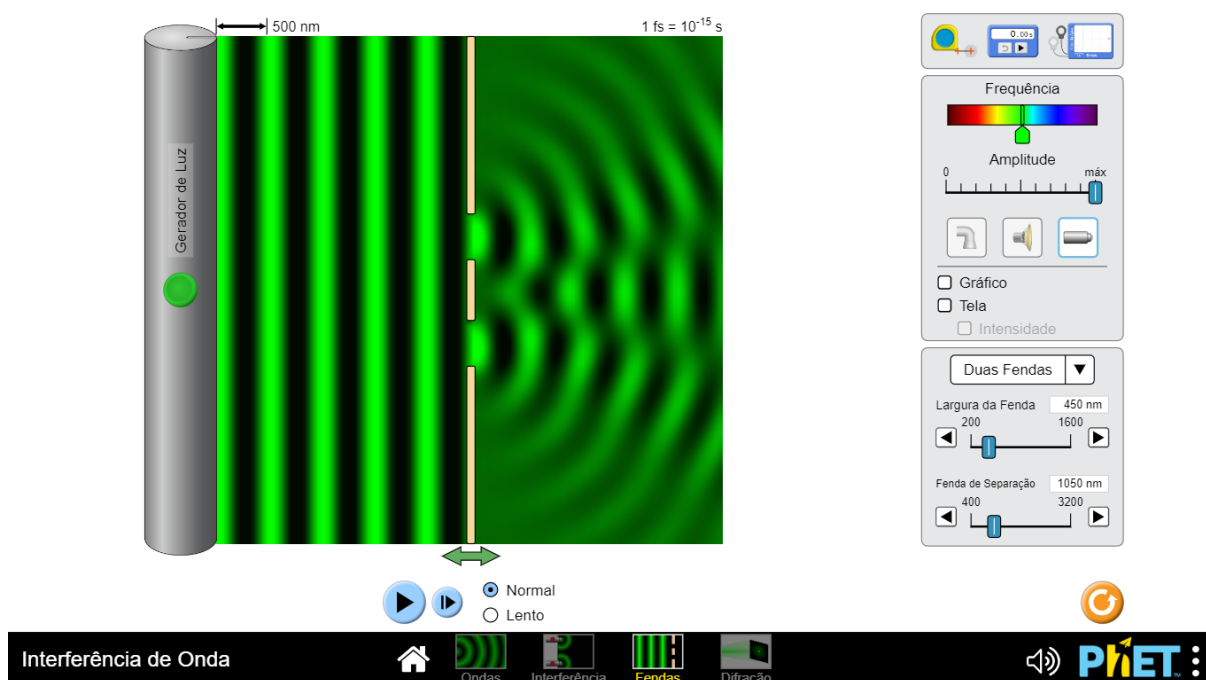
Um exemplo disso é o simulador *PhET* ², um *software* interativo que oferece diversas

¹Ressaltamos que esta situação não diz respeito a capacidade dos professores que ministram a disciplina, mas sim de alguns conceitos abstratos e pouco intuitivos que precisam ser ensinados aos alunos.

²O *PhET*, é um simulador de código aberto desenvolvido em 2002 na Universidade do Colorado. Com o objetivo de tornar a Física uma ciência mais interativa, ou, usando a definição encontrada na página do simulador, "tornar visível o invisível". Carl Wieman, seu criador, desenvolveu esta ferramenta de ensino na linguagem HTML5 com mais de 150 simulações englobando diversas áreas das ciências. Além disso, essa ferramenta permite ao usuário configurar as simulações dos fenômenos e observar o resultado de maneira simultânea.

simulações educacionais para o aprendizado de ciências. Ele pode ser utilizado no ensino de ondulatória, por exemplo, para ajudar os estudantes a compreender a difração e a interferência de ondas. O *PhET* apresenta ferramentas capazes de moldar o experimento proposto, alterando suas configurações de entrada e outras situações, tornando o aprendizado mais interativo e interessante, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Simulação da Dupla Fenda no *PhET*



Fonte: Print do *Phet*

Perceba que, neste experimento específico, o usuário pode escolher entre quatro possibilidades de simulações distintas, disponíveis na parte inferior do simulador, além de selecionar a frequência desejada, a amplitude, o número de fendas e a distância entre cada uma delas. Ao manipular cada uma dessas ferramentas obtêm-se um resultado final diferente, evidenciando uma das partes interessantes deste simulador: a capacidade de experimentar e observar como os fenômenos físicos funcionam em diferentes configurações e condições. No caso mostrado na Figura 1, é exibido o experimento da Dupla Fenda de Young³, que é de essencial importância para compreender a luz como onda e oferece diversas características que podem ser manipuladas pelo usuário.

Além do *PhET*, ainda é possível encontrar outras ferramentas de simulações interativas na web. Dentre elas, destaca-se o *Vascak.cz*⁴, o *Physics and Chemistry by a Clear Learning*⁵,

³Em suma, Thomas Young percebeu que ao colocar uma fenda dupla com uma distância d entre seus centros na direção de propagação da luz, se observava a formação de listras, ou melhor, franjas claras (interferência construtiva) e escuras (interferência destrutiva) no anteparo que as recebe, formando um padrão de interferência.

⁴Disponível em <<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>>

⁵Disponível em <<https://www.physics-chemistry-interactive-flash-animation.com/>>

e o *Walter Fendt*⁶. Esses *softwares* trazem uma diversidade de simulações educativas para o ensino de ciências, se assemelhando ao *PhET*, este, que por sua vez, oferece uma maior variedade de simulações interativas, além de uma interface mais agradável ao usuário quando comparado com os demais *softwares* citados acima.

A utilização das TIC como meio de ensino provoca uma mudança de paradigmas tanto para o professor quanto para o aluno. O primeiro, que antes era “detentor” do conhecimento e tinha a responsabilidade de o transmitir para o segundo, agora assumirá o papel de intermediador entre o aluno e a ferramenta de ensino. O aluno, por sua vez, assume um papel mais ativo em seu próprio aprendizado. Ao invés de depender exclusivamente da oratória de seu professor, ele pode explorar as diversas ferramentas disponíveis na plataforma, desenvolver sua autonomia e refinar seu senso crítico [46].

Embora seja verdade que as TIC possam trazer benefícios tanto para as escolas quanto para os estudantes, elas não são a solução definitiva para os problemas enfrentados pela educação pública no Brasil. Na verdade, o papel das TIC é ajudar a reduzir as lacunas causadas pela falta de estrutura das instituições de ensino, aproveitando a familiaridade dos jovens alunos do EM com a tecnologia para despertar seu interesse pelo aprendizado. É necessário ressaltar ainda que seu uso deve ser apenas complementar, e não uma substituta ao professor [40].

Ainda nessa linha de pensamento, outra ferramenta que merece destaque no contexto da sala de aula é o *Modellus*, um *software* de modelagem matemática. Por meio da modelagem matemática, o professor consegue representar sistemas físicos de maneira menos abstrata, criando gráficos e animações que permitem ao usuário modificar as condições do fenômeno estudado da maneira que desejar e visualizar a evolução desse sistema ao longo do tempo. Na próxima seção deste trabalho, será feita uma análise mais completa desta ferramenta de ensino, incluindo uma instrução ao leitor sobre como usá-la para auxiliar no ensino e aprendizagem de Física.

2.2 O *Modellus*

O *Modellus* é uma ferramenta que traduz, visualmente, o que uma equação matemática nos diz a respeito de um fenômeno físico, permitindo explorar e elaborar diferentes parâmetros para analisar o comportamento do fenômeno modelado.

Ele figura entre as principais ferramentas de modelagem matemática por ser de fácil utilização, não precisar estar conectado a internet, estar disponível gratuitamente para *download*, não exigir uma máquina potente para sua execução e oferecer diversas ferramentas para o operador, como por exemplo, animações, tabelas e gráficos do sistema modelado. Além de ser uma ferramenta útil, ele facilita a compreensão dos princípios matemáticos por trás do modelo e também ajuda a prever o resultado da experiência modelada. Essas características fazem do *Modellus* um grande aliado para os professores em suas aulas de Matemática e Física [47, 48].

⁶Disponível em <<https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/index.html>>

Embora ambos sejam voltados para o ensino e aprendizagem de ciências, o *PhET* e o *Modellus* não são a mesma coisa. De acordo com Guterres *et al.* [49], o primeiro possui um design mais elaborado e é mais atraente visualmente, no entanto, as simulações oferecidas no site são limitadas em relação aos parâmetros que podem ser modificados. Por outro lado, o *Modellus*, embora não tenha um design tão atraente, permite a elaboração completa da simulação. Isso significa que o usuário pode alterar as condições da simulação por meio de ferramentas, o que proporciona uma maior interatividade do usuário com o *software*. Os autores destacam ainda que o *PhET* já se apresenta como uma plataforma pronta, cabendo ao usuário apenas selecionar a simulação desejada e ajustar os parâmetros disponíveis, enquanto o *Modellus* permite ao usuário criar suas próprias simulações e parâmetros.

Nas palavras de seu criador, Vitor Teodoro, a essência do *Modellus* é tornar concreto o abstratismo por trás de um modelo matemático. A partir dele, o aluno sai da imaginação para a experimentação, questionando o resultado obtido com a modelagem, e, principalmente, trazendo questionamentos que antes das modelagens não se apresentavam de maneira sistematizada na estrutura cognitiva do estudante. Partindo desse pressuposto, utilizar esse *software* deve despertar no aluno o questionamento de “o que acontece com o resultado final se eu alterar isso?” [47, 37].

Convém ressaltar que a utilização do *Modellus* no contexto da sala de aula possui limitações, assim como qualquer outra ferramenta. Por primeiro, as simulações e modelagens devem ser compreendidas como ferramentas auxiliares e/ou alternativas as experimentações em laboratório, e não como substituta a elas. Ainda se faz importante que o professor saiba utilizar essas ferramentas, tendo em vista que seu uso incorreto pode passar ao estudante uma imagem distorcida do fenômeno estudado. Além do mais, seu uso demasiado pode levar o aluno ao desânimo, desestimulando sua busca por novos conhecimentos [50, 51].

As próximas seções deste capítulo são destinadas a explicar a criação, a história e o funcionamento deste *software*. Em apêndice, encontra-se uma apresentação e um guia atualizado de como utilizá-la dentro da sala de aula.

2.2.1 Criação e história

Sendo o primeiro premiado no concurso *Software* da revista americana *Computers in Physics*, o *Modellus* foi desenvolvido pelo português Vitor Duarte Teodoro, na Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa (FCTUNL) e programado inicialmente em C++ por João Paulo Duque Vieira e Filipe Costa Clérigo. Está disponível atualmente em oito idiomas, inclusive em Português do Brasil e conta com duas versões atuais que merecem destaque: o *Modellus 4.01* ⁷, de 2010 e a versão X 0.4 ⁸, sendo esta a versão mais recente do *software* e a versão adotada nas modelagens deste trabalho. Importante ressaltar que não é

⁷Disponível em <<http://docente.ifrn.edu.br/alessandrrolim/informatica-aplicada-a-fisica/software-modellus-4.01/view>>

⁸Disponível em <<https://modellus-x.software.informer.com/download/>>

necessário possuir conhecimentos em programação para utilizar qualquer versão do programa [52].

O principal motivo na escolha do *Modellus* na versão X em detrimento da versão 4.01 foi a interface mais moderna e interativa oferecida por esta versão. Por ser a mais recente, ela oferece um desempenho superior, além de maior rapidez e precisão.

Figura 2 – *Modellus* X



Fonte: Print do software *Modellus*

As outras versões do programa são a 2.5, disponível para o sistema operacional *Windows XP* e o *Modellus 3* desenvolvido para ser utilizado no *Windows Vista*. No entanto, é necessário instalar o Java Runtime Environment (JRE) (disponível gratuitamente para *download*) em todas as versões do programa para garantir seu correto funcionamento, sendo ele o responsável por estabelecer a comunicação entre o programa e o sistema operacional utilizado pelo usuário [53].

2.2.2 Construindo uma simulação

Para se construir uma simulação no *Modellus*, convém seguir os seguintes passos.

1. o primeiro passo é a escolha do fenômeno que se deseja simular. Aqui, o usuário deve definir o conteúdo que se deseja abordar na simulação e determinar o que pode ser ou não relevante para seu modelo;
2. o segundo passo é determinar as equações matemáticas que regem o fenômeno escolhido e inseri-las na janela “Modelo Matemático”;

3. o terceiro passo é definir as condições iniciais e os parâmetros em seus respectivos campos, que serão abertos após a inserção das equações na janela “Modelo Matemático”;
4. por fim, o quarto passo é a personalização do modelo, onde o usuário poderá inserir partículas, vetores, indicadores de níveis, indicadores analógicos e imagens para incrementar a simulação.

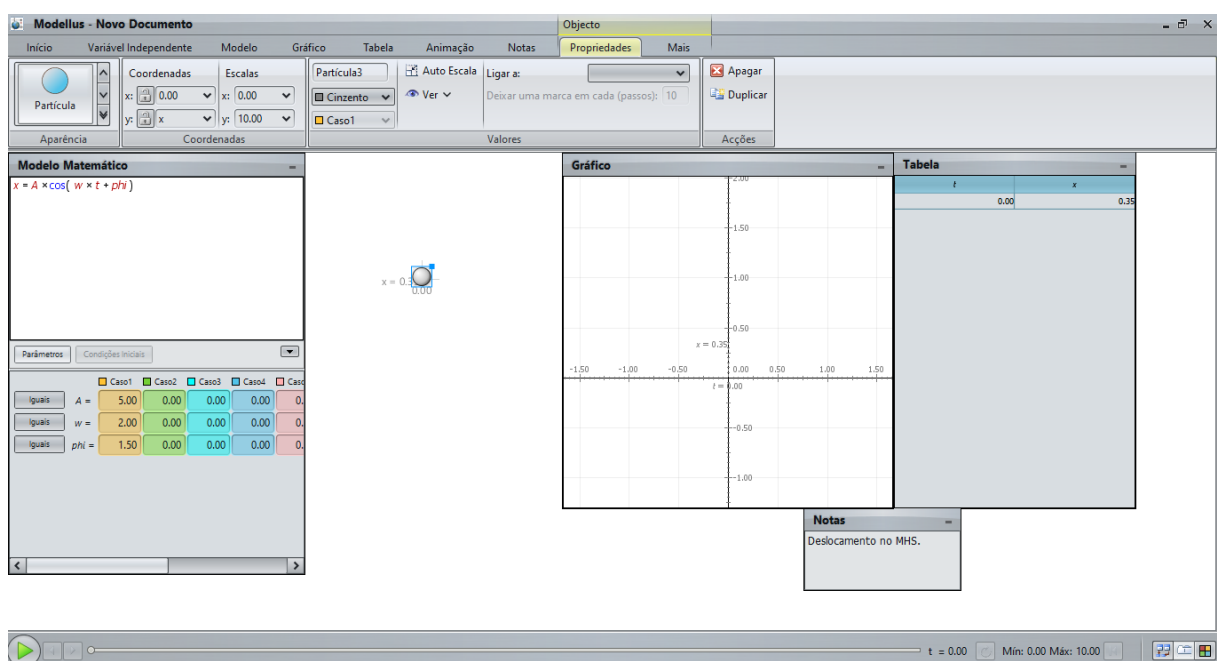
Como exemplo, vamos simular o MHS a partir da equação 2.1, levando em consideração que a escolha de uma equação mais simples poderá facilitar a aprendizagem das ferramentas do programa:

$$x(t) = A * \cos(w * t + phi) \quad (2.1)$$

Partindo para o segundo passo, ao alocar esta equação na janela "Modelo Matemático", o campo "Parâmetros", estará disponível. Nele, pode-se definir o parâmetros desse modelo, para diversos casos, como a amplitude (A), frequência angular (w) e o ângulo da fase (phi), dado em radianos. Para contemplar o terceiro passo, os valores escolhidos para a amplitude, frequência angular e ângulo da fase foram 5, 2 e 1,5 no Sistema Internacional de Unidades (SI), respectivamente. A variável independente t pode ser configurada separadamente na aba "variável independente".

Com o modelo correto e todos os parâmetros inseridos, pode-se, agora, partir para o quarto passo: a personalização da simulação. Para isso, deve-se inserir uma partícula no *software*, através da aba “Animação” e vincular a constante desejada a ela.

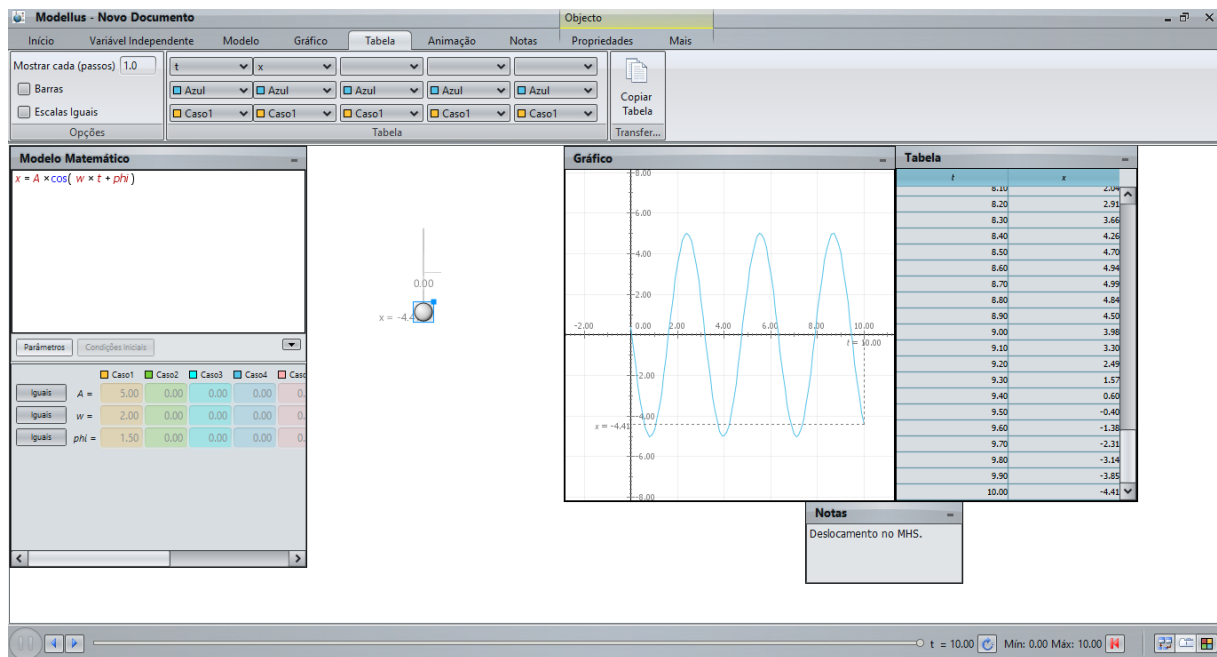
Figura 3 – Vinculando os parâmetros definidos à partícula



Fonte: Print do *software* Modellus

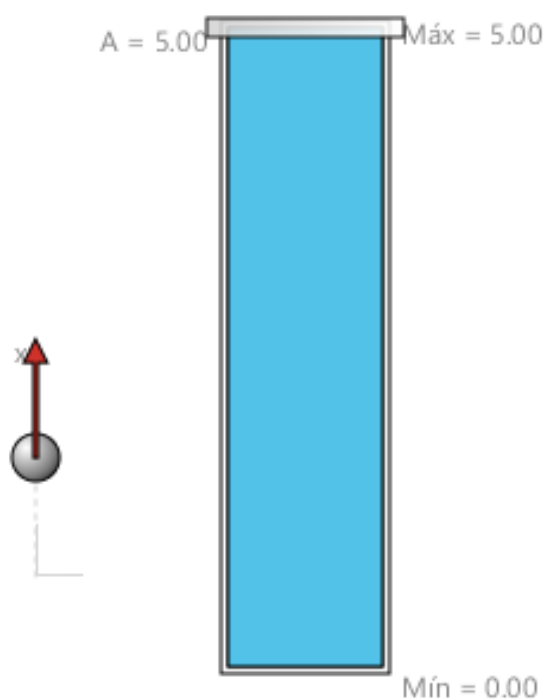
Como o movimento acontece apenas na direção vertical y a coordenada horizontal x e a escala em x foram zeradas. A escolha da escala deve ser feita levando em consideração a facilidade de se observar o movimento do objeto, para essa modelagem, o valor escolhido foi 10. Finalizadas essas configurações, o usuário poderá iniciar a modelagem clicando no botão verde localizado no canto inferior esquerdo da plataforma. Caso queira mudar a configuração de algum parâmetro, basta pausar a simulação, clicar no botão vermelho disponível no fim da barra de tempo, realizar as alterações desejadas e iniciar novamente. Após 10 segundos de simulação, o programa apresentará a forma da Figura 4. Pode-se ainda inserir mais elementos na simulação, como um vetor e um indicador de nível, por exemplo. Neste caso, usamos o indicador de nível para alterar a amplitude do movimento e um vetor para indicar o deslocamento do objeto, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 4 – Recorte de tela exibindo as janelas “Modelo Matemático”, “Gráfico” e “Tabela” gerados pela modelagem do MHS



Fonte: Print do software Modellus

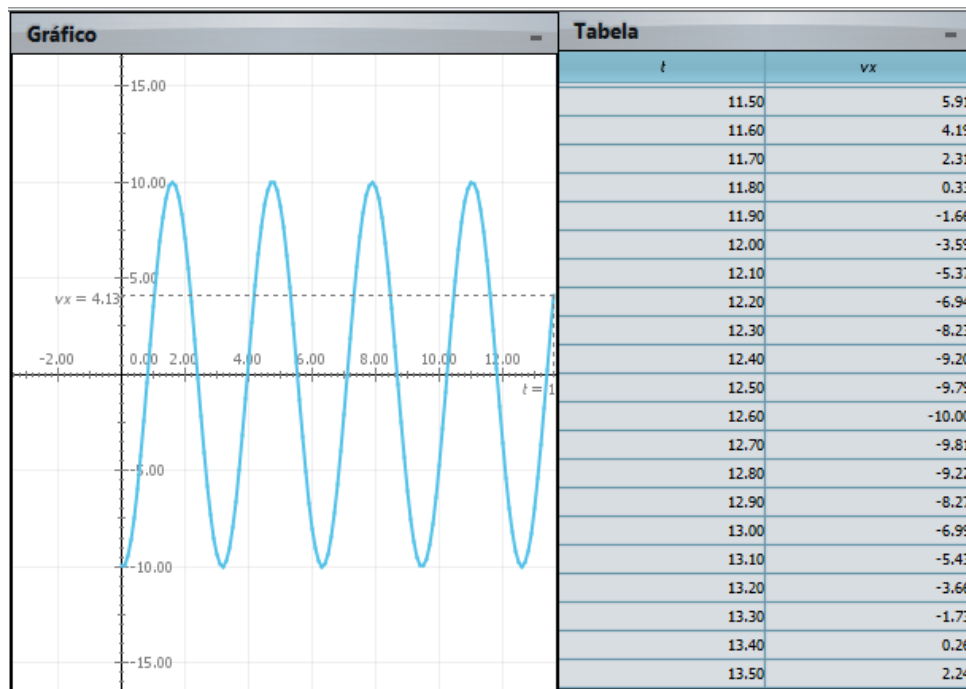
Figura 5 – Inserindo outras ferramentas



Fonte: Print do *software Modellus*

$$v = \frac{dx}{dt}. \quad (2.2)$$

Inserindo-a, pode-se obter os valores para a velocidade a cada instante de tempo, que será exibido na Tabela e ainda traçar um Gráfico de $v(t)$, conforme é exibido na Figura 6.

Figura 6 – Gráfico e Tabela da velocidade v em função do tempo t 

Fonte: Print do software *Modellus*

De modo semelhante, a derivada temporal da velocidade, equação 2.2, resultará na aceleração no MHS. Utilizando a equação 2.3 e seguindo os passos descritos para a velocidade, o usuário poderá obter os valores da aceleração em cada instante de tempo e ainda representar o vetor aceleração para este modelo:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (2.3)$$

O usuário pode ainda alterar os parâmetros em seu respectivo campo para encontrar novos valores e gráficos diferentes para esta simulação, podendo ainda inserir mais de uma variável na janela “Gráfico” e “Tabela”. O usuário ainda pode alterar o ângulo da fase, medido em radianos, e observar o resultado disso no movimento da partícula.

Dentre as diversas ferramentas disponíveis no *Modellus*, as que foram abordadas aqui são, do ponto de vista do autor, as principais para se utilizar em sala de aula. É importante destacar que existem outras ferramentas disponíveis no programa, que podem ser igualmente importantes e úteis em diferentes contextos e situações, cabendo ao usuário explorá-las conforme sua necessidade.

3 Procedimentos Metodológicos

O uso da informática como ferramenta facilitadora do ensino de Física é tratado com exclusividade na disciplina de “Informática Aplicada ao Ensino de Física” no curso de Licenciatura em Física do IFTO - *Campus* Palmas. Nessa disciplina, são abordadas as mais diversas ferramentas tecnológicas para o ensino e aprendizagem da disciplina de Física no EM. Dentre elas, ganha-se destaque o *Modellus*, em virtude de sua fácil utilização e das diversas ferramentas disponíveis para modelagem de fenômenos equacionáveis.

Para a confecção desta pesquisa bibliográfica, seguiu-se os seguintes passos:

1. de início, fez-se a escolha do *Modellus* como ferramenta de ensino para a experimentação virtual de física. Para isso, levou-se em consideração sua fácil utilização, não exigindo que o usuário tenha conhecimentos em linguagens de programação, tendo em vista que as equações modeladas podem ser escritas de maneira algébrica;
2. por conseguinte, fez-se uma varredura por todas as ferramentas disponíveis no *software*, isso porque, julgou-se importante, antes de mais nada, descrever um tutorial acerca de sua utilização (Disponível em apêndice), mencionando as principais ferramentas e funções disponíveis no programa;
3. por meio de uma pesquisa bibliográfica, fez-se um minucioso levantamento teórico acerca dos problemas inerentes ao ensino dessa disciplina e ao que pode ser usado como ferramenta de auxílio para minimizar a situação a que se encontra e, principalmente, que torne o aprendizado em Física algo prazeroso;
4. o quarto passo foi a escolha dos conteúdos que seriam abordados no decorrer do trabalho. De maneira geral, a escolha de Oscilações e Ondas foi feita levando em consideração o caráter abstrato por trás da visualização desses fenômenos, demandando uma abordagem menos estática, em contrapartida as imagens e gráficos apresentados nos livros didáticos;
5. ao proceder na escolha dos fenômenos que serão trabalhados no *Modellus*, deu-se como passo seguinte a construção das modelagens. Construí-las de maneira a abordar o maior número possível de ferramentas foi parte integrante do processo, juntamente com a definição de uma sequência lógica para a montagem das mesmas;
6. por fim, buscou-se justificar o uso do *Modellus* ao fim de cada simulação, apresentando ao leitor os benefícios ofertados pelo programa, tomando como base a literatura disponível. Além disso fez-se uma pequena abordagem sobre as possibilidades de utilização do *software*, pelo professor, na sala de aula, a fim de enriquecer o processo de ensino-aprendizagem por

meio de práticas de ensino atualizadas e tornar o espaço pedagógico um ambiente propício para a aprendizagem, instigando a interação entre os participantes do processo.

4 Proposta de utilização do *Modellus* como ferramenta educacional no ensino de Física

As pesquisas recorrentes em ensino de Física tem mostrado a crescente despopularização desta disciplina entre os alunos [54, 55, 56]. Dentre os motivos causadores, dá-se destaque a redução da disciplina a cálculos matemáticos, sendo estes passados como aplicação prática da teoria, e ao grau de abstração envolvido em alguns conteúdos. O ensino de Oscilações, por exemplo, requer um grau de cuidado por parte do professor, isso porque o aluno do EM não possui conhecimentos em equações diferenciais, sendo estas usadas na descrição deste movimento, cabendo ao professor realizar a devida transposição didática para abordar este conteúdo na turma.

Levando em conta a situação a qual se encontra o ensino de Física, faz-se necessário uma nova abordagem por parte do professor para que o ensino de um conteúdo mais abstrato não seja resumido a aplicações de fórmulas prontas. Uma solução viável seria explorar novos recursos a fim de criar situações que sejam favoráveis à aquisição de novos conhecimentos, com destaque para o uso da tecnologia computacional em sala de aula [51].

A interação entre aluno e professor fornecida pelo *Modellus* vai de contraponto a educação bancária anteriormente citada. Com o uso deste *software*, o aluno é instigado a participar da montagem da modelagem e a debater sobre as implicações advindas da alteração dos parâmetros do modelo criado, adaptando-o a novas situações e até mesmo criando novos modelos.

O uso dessas tecnologias é incentivado pela BNCC. Este documento estabelece o uso de tecnologias digitais, dentre outras coisas, como forma de produção de conhecimento e resolução de problemas ao longo de toda a educação básica, compreendendo deste o Ensino Fundamental até o EM. O documento trata ainda a dimensão investigativa presente na área de Ciências da Natureza, implicando na identificação de problemas, proposição e teste de hipóteses, e na elaboração de argumentos baseados na observação e análise [57].

Através do *software Modellus*, o professor pode modelar as equações diferenciais que descrevem o fenômeno e modelar o sistema, tendo como retorno uma simulação interativa, tornando visual o significado das equações descritas no Modelo Matemático. Para estes casos, o que pode parecer abstrato são, na verdade, os cálculos por trás dessas equações, porém, o significado delas pode ser mais simples do que parece. Assim, podemos atribuir ao *Modellus* a incumbência de resolver esses cálculos, ficando sob responsabilidade do aluno apenas a reflexão sobre o significado destas equações, que antes não se fizeram possível somente com o uso de lápis e papel. Dessa forma, a compreensão das equações e da sua aplicação em diferentes contextos

pode ser aprimorada e aprofundada, contribuindo para um aprendizado significativo [52, 51].

Assim, é recomendável que o professor esteja familiarizado com as diferentes ferramentas disponíveis no *software* e que saiba como utilizá-las de forma eficiente e adequada aos objetivos de sua aula. Afinal, o *Modellus* oferece um grande potencial para a construção de modelos matemáticos e a visualização de fenômenos abstratos, o que pode enriquecer significativamente o processo de ensino e aprendizagem da Física e de outras disciplinas.

Machado e Costa [51] divide a utilização do *Modellus* em duas categorias: Exploratória e Expressiva. A primeira categoria leva em consideração que alguns modelos podem se apresentar em termos de uma matemática mais avançada, como equações diferenciais, por exemplo, cabendo ao professor a inserção destas no Modelo Matemático, reservando ao estudante, principalmente, a criação e alteração dos parâmetros do modelo e sua respectiva análise. A segunda categoria atribui ao aluno a função de construir suas próprias simulações através das equações descritas nos livros didáticos e de incrementar seu modelo da maneira que desejar.

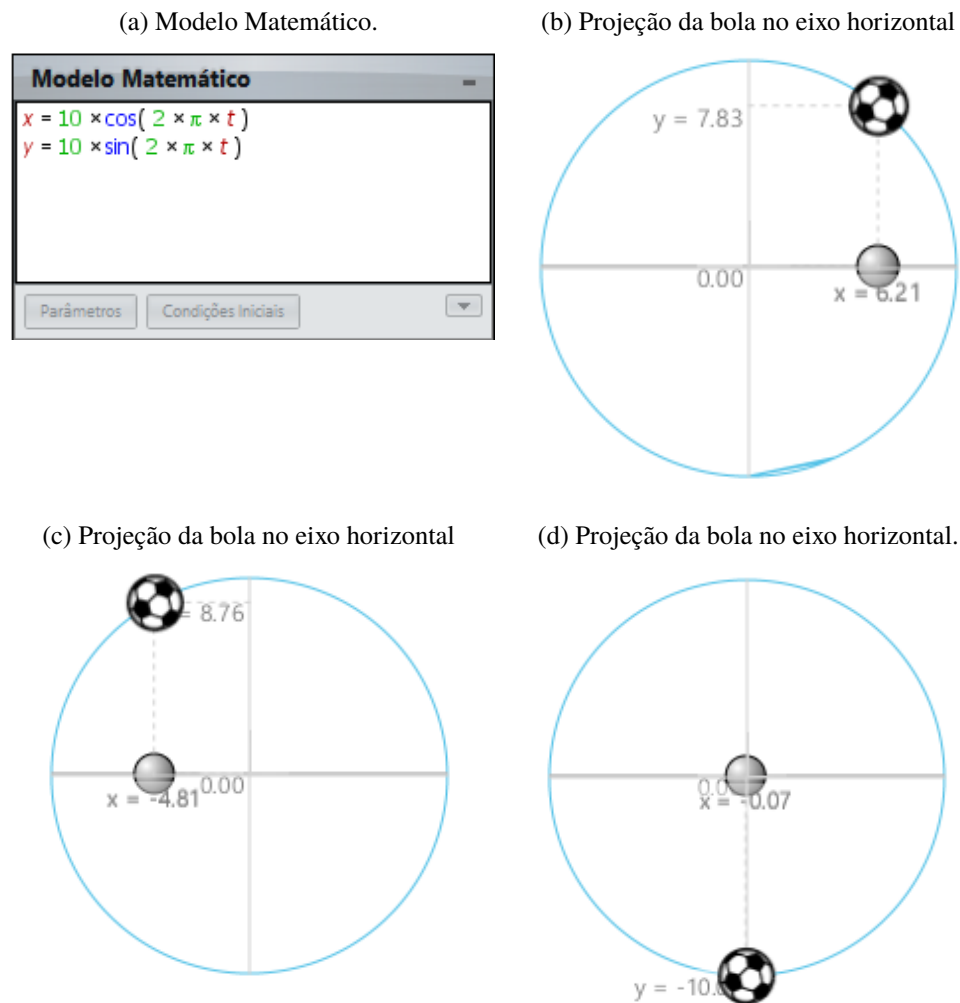
Nos próximos tópicos deste capítulo, propomos o uso do *Modellus* no ensino de oscilações, onde desenvolvemos algumas simulações que abordam alguns tópicos deste assunto: o MHS, tratando do movimento de um sistema massa mola e de um pêndulo simples. Em ondulatória, elaboramos uma simulação abordando ondas na corda e batimentos. Os passos descritos na seção 2.2.3 serão seguidos para a construção da modelagem, levando em consideração que os mesmos apresentam uma sequência lógica que devem facilitar na construção do modelo.

4.1 MHS

Abordar o MHS para estudantes do EM não é tarefa simples. Isso se deve a abstração envolvida na análise desse movimento com a respectiva equação que o descreve, que pode se apresentar em termos de equações diferenciais e trigonométricas, cabendo ao estudante associar o movimento de uma partícula a essas equações [58].

Uma forma de abordar o MHS no EM é comparando-o com o Movimento Circular Uniforme (MCU). Ao colocar uma bola para realizar um MCU com velocidade constante ao longo de uma circunferência de raio r , como mostra a Figura 7, notamos que a projeção do movimento dessa bola no eixo horizontal descreverá um MHS. De maneira simples, uma volta completa realizada pela bola na circunferência representa um movimento completo de ida e volta da projeção da bola no eixo horizontal, tomando como equivalentes o raio da circunferência e a amplitude do movimento da sombra no eixo horizontal [59].

Figura 7 – Relação entre MHS e MCU



Fonte: Print do *software Modellus*

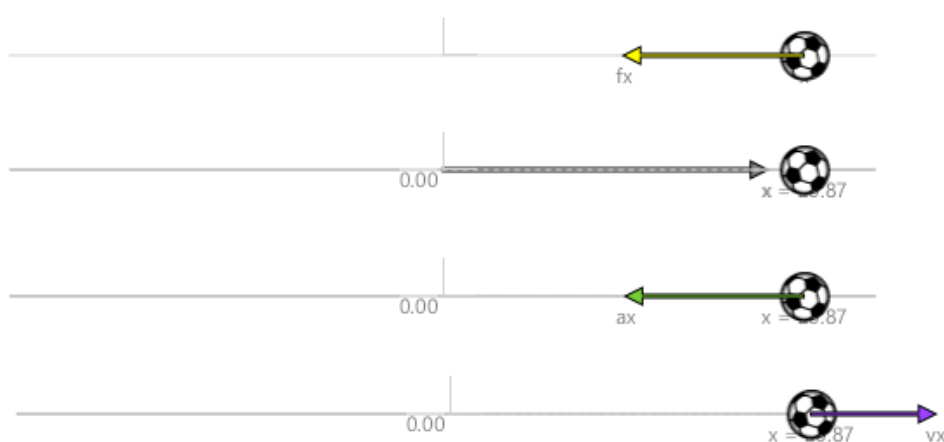
Através da Figura, é fácil perceber que enquanto a bola de futebol realiza um MCU ao longo da circunferência, sua projeção no eixo horizontal descreve um MHS. Quando a projeção se desloca de um extremo a outro, percorre-se apenas metade do deslocamento total realizado pela bola ou seja, π rad ou 180° . Quando a projeção retorna à posição inicial, tem-se um ciclo completo do movimento da bola ao longo da circunferência, 2π rad ou 360° .

O MHS, portanto, é um tipo de movimento periódico que ocorre quando uma partícula executa oscilações em torno de sua posição de equilíbrio ($x = 0$). Essas oscilações são causadas por uma força restauradora, que é diretamente proporcional ao deslocamento da partícula em relação à sua posição de equilíbrio. Essa força restauradora atua no sentido oposto ao deslocamento da partícula, buscando trazê-la de volta à posição de equilíbrio. O sistema massa-mola e o pêndulo simples são os exemplos mais simples do MHS [59].

Por meio da modelagem matemática no *Modellus*, pôde-se explorar algumas características do MHS. O primeiro sistema (Figura 8, primeira linha) mostra o sentido da força restauradora

F_x , apontando sempre no sentido contrário ao deslocamento x , que tem seu sentido mostrado no segundo sistema da Figura 8. A aceleração a_x possui o mesmo sentido da força restauradora, e é oposta ao deslocamento, como se vê no terceiro sistema. A partir do vetor velocidade v_x , no quarto e último sistema da Figura 8, nota-se que o valor máximo para a velocidade ocorre no ponto de equilíbrio do sistema, ou seja, em $x = 0$, e torna-se nula quando a amplitude do movimento é máxima. Quanto a aceleração do sistema, ela possui valor máximo positivo quando a bola está no máximo negativo da amplitude do movimento, e valor máximo negativo quando o carro está no máximo positivo da amplitude do deslocamento.

Figura 8 – Vetores representando as grandezas atuantes na bola



Fonte: Print do *software Modellus*

Abordar um conteúdo de caráter abstrato sob outra vertente é uma forma de não somente enriquecer o ensino-aprendizagem de física, como também melhorar a relação entre aluno e professor. O esquema esboçado na Figura 8 foi facilmente montado no *Modellus*, e pode ser utilizado pelo professor para demonstrar, com clareza, o fenômeno que está sendo estudado e suas implicações. Ressaltamos ainda, por meio da Figura 8, a capacidade do *software* em representar diversas grandezas (força, deslocamento, aceleração e velocidade) através de uma mesma situação, sendo descrito por Feitosa [53] como uma ferramenta de construção de significados. Além disso, através do *Modellus*, pode-se esboçar as ideias básicas por detrás de um conteúdo abstrato tomando como ideia principal o significado do modelo, em detrimento dos cálculos matemáticos

4.1.1 Modelando o sistema massa-mola

O sistema massa-mola é considerado um dos osciladores harmônicos mais simples e consiste em uma mola presa em uma superfície em uma de suas extremidades, enquanto a outra extremidade está fixada a uma massa que se desloca ao longo de um eixo. Diz-se que a mola está em posição de equilíbrio quando não está sujeita a uma deformação. Ao aplicar uma força no

sistema e deslocá-la da posição de equilíbrio, uma força restauradora age na direção oposta ao deslocamento, buscando trazer a mola de volta à sua posição de equilíbrio [59]¹.

Tendo sido escolhido o fenômeno que se deseja modelar, convém para este momento a escolha da equação que descreve este sistema. Como se trata de um oscilador harmônico simples, a equação 2.1, com $\phi = 0$, representará a oscilação da massa no eixo x . Para que a mola seja comprimida e esticada pela partícula, deve-se inserir a equação de comprimento para a mola no modelo matemático, que é dada por

$$\text{comprimento} = x + 200, \quad (4.1)$$

o valor numérico desta equação, representado por 200, pode ser alterado de acordo com as necessidades do usuário.

Por meio da Lei de Hooke, sabemos que existe uma força restauradora oposta ao deslocamento, responsável por trazer o corpo, que está oscilando sobre um eixo, para sua posição de equilíbrio, essa força é dada por

$$F_x = -k \cdot x. \quad (4.2)$$

Inserindo esta equação no modelo matemático e definindo os respectivos parâmetros, podemos representar os vetores F_x e x e verificar que ambos possuem sentidos opostos.

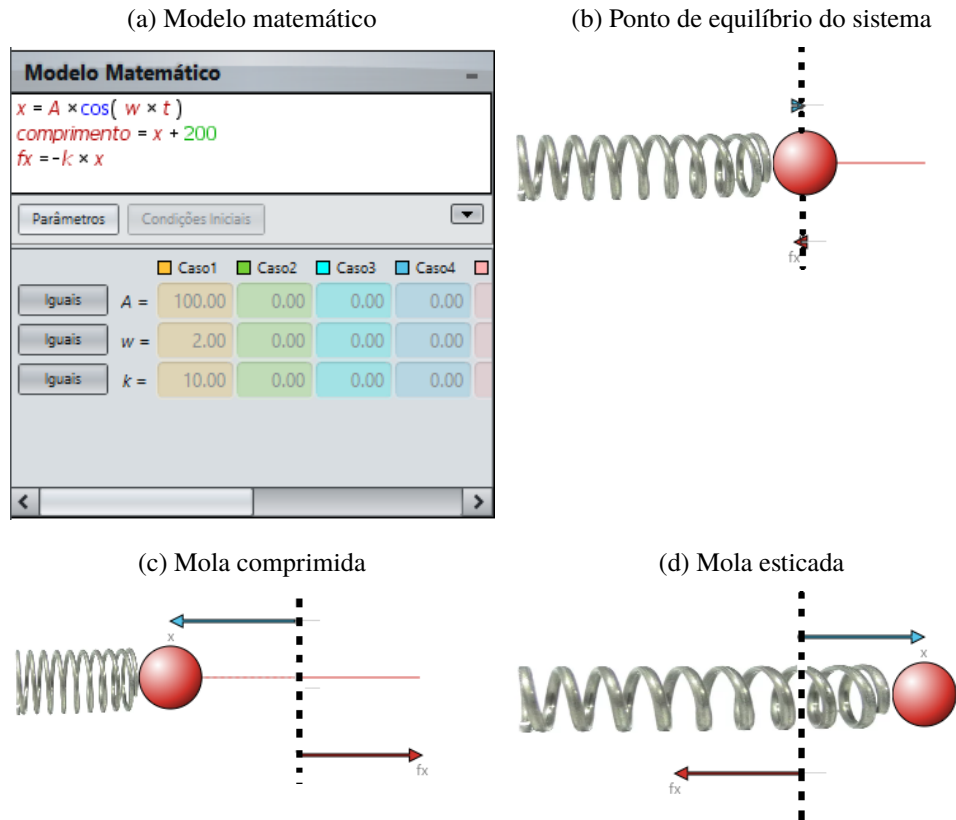
Para montar esta simulação, o usuário deverá carregar de sua máquina a imagem de uma mola através da janela “Animação” e da função “Imagem”. Tendo inserido a imagem, o usuário deverá inserir a equação 4.1 em sua coordenada x e adaptar a coordenada y da maneira que desejar. Agora, pode-se selecionar uma partícula e atribuir a equação do deslocamento, 2.3, em sua coordenada x , como o movimento acontece apenas na horizontal, a coordenada y pode assumir valor zero. Com ambos os objetos criados, o usuário deverá arrastar a origem da partícula, de modo que ela encoste na extremidade da mola, afim de que o movimento fique mais próximo da realidade.

Por fim, tanto o vetor deslocamento como o vetor força podem ser adicionados para enriquecer ainda mais a simulação, para isso, basta criar um vetor na janela “Animação” e atribuí-lo a variável desejada. Para o deslocamento, deve-se selecionar x na coordenada horizontal e zero para a coordenada vertical. Para a Força Restauradora, o usuário deverá atribuir F_x na coordenada x e zero para a coordenada y .

A Figura 9 é uma forma de representação do sistema-massa-mola utilizando o *Modellus*. A linha tracejada na vertical indica o ponto de equilíbrio, ou seja, $x = 0$. Ao aplicar uma força no sistema, a mola tenderá a se comprimir ou esticar, tendo sempre uma força restauradora F_x oposta ao deslocamento x da massa presa em uma das extremidades da mola.

¹Para mais detalhes, o leitor pode conferir as referências [58] e [59].

Figura 9 – Sistema massa-mola



Fonte: Print do *software Modellus*

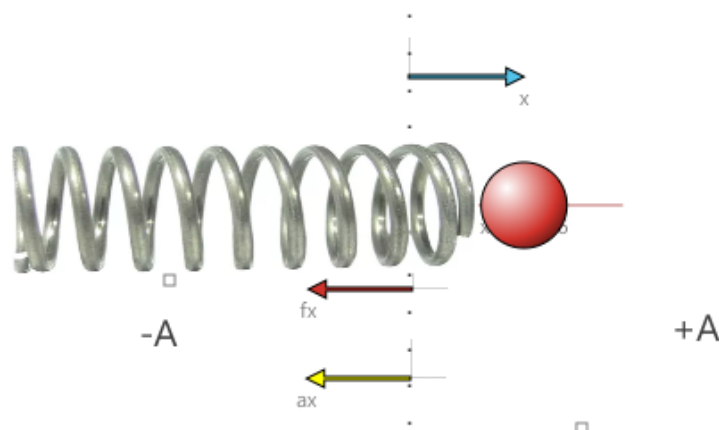
Pode-se ainda obter o vetor aceleração para esse sistema. Partindo da equação 2.3 e 2.5 tem-se

$$a = \frac{dv}{dt}, \quad (4.3)$$

que é a aceleração sofrida pela massa.

Inserindo as equações 2.5 e 4.3 no Modelo Matemático e seguindo os mesmos passos descritos para o vetor força e deslocamento, o vetor aceleração terá a forma descrita pela Figura 10, sendo este o resultado esperado, levando em consideração que os vetores força, em vermelho, e aceleração, em amarelo, possuem o mesmo sentido, porém sentido contrário ao deslocamento, em azul.

Figura 10 – Disposição dos vetores posição, força e aceleração no MHS



Fonte: Print do *software Modellus*

Tendo em vista que as equações deste modelo são descritas conforme se vê no livro didático, o próprio aluno poderá montar e manipular este fenômeno, testando suas hipóteses e analisando o comportamento do fenômeno visualizado [60].

O professor pode se utilizar das diversas ferramentas oferecidas pelo *software* para enriquecer o processo de ensino aprendizagem dos conteúdos ministrados. Para o MHS, em específico para o sistema massa-mola, o professor pode utilizar o *Modellus* para tornar o conteúdo mais visual, mostrando a seus alunos o que cada equação deste fenômeno representa no mundo real. Através da ferramenta “vetor”, o pode-se mostrar as relações entre as grandezas aceleração, força e deslocamento. As demais ferramentas, como o Gráfico e a Tabela, podem ser utilizadas para resolver questões mais simples, como por exemplo, determinar a posição de uma partícula em um determinado tempo, ou ainda a aceleração ou velocidade sofrida pela mesma, fazendo com que o estudante possa dedicar-se mais a interpretação do modelo estudado do que com a realização dos cálculos matemáticos [61, 52].

4.1.2 Modelando o pêndulo simples

O pêndulo simples é uma outra forma de exemplificar o MHS e pode ser facilmente modelado pelo *Modellus*. Para pequenas amplitudes, este movimento é classificado como um tipo de oscilador harmônico, consistindo em uma massa presa na extremidade de um fio de comprimento l que oscila em torno de sua posição de equilíbrio sob a ação da gravidade. Para que o pêndulo simples realize um MHS, é necessário que o ângulo θ formado entre o ponto de equilíbrio do fio e o ponto de soltura da massa seja suficientemente pequeno. No ponto de equilíbrio do sistema tem-se $\theta = 0$ [58]².

O pêndulo simples será o fenômeno escolhido para esta simulação. Ao deslocar esse pêndulo por um ângulo θ a direita de sua posição de equilíbrio ele oscilará com amplitude

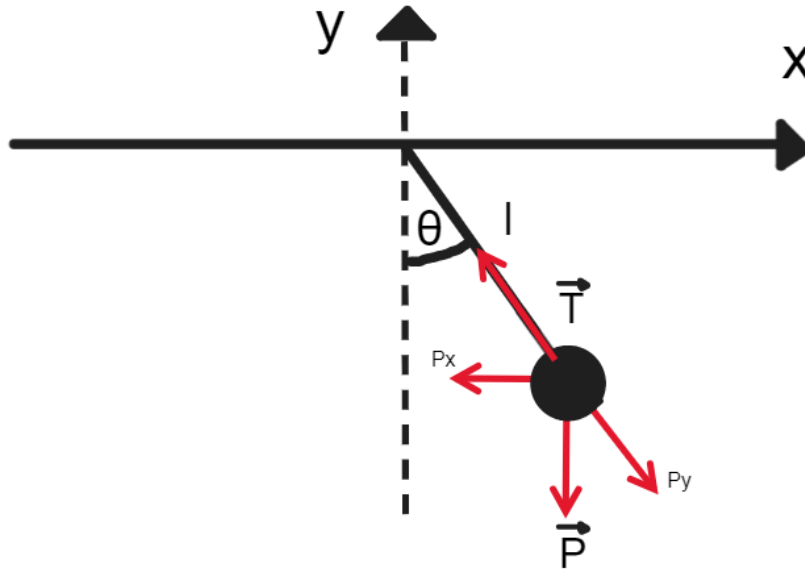
²Para mais detalhes, o leitor pode conferir as referências [58] e [59].

variando de θ até $-\theta$. Decompondo x e y em termos do comprimento l do fio, Figura 11, temos

$$x = l \cdot \sin(\theta) \quad (4.4)$$

$$y = -l \cdot \cos(\theta). \quad (4.5)$$

Figura 11 – Diagrama de corpo livre do pêndulo simples



Fonte: Print do *software Modellus*

Sabendo que a força restauradora em um pêndulo simples é dada por

$$F_{\theta} = -m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (4.6)$$

fazemos então

$$m \cdot a = -m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (4.7)$$

simplificando a massa de ambos os lados e escrevendo a aceleração como a derivada segunda da posição, temos

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -g \cdot \sin \theta. \quad (4.8)$$

Do movimento angular, podemos relacionar o ângulo θ com o comprimento x do arco. Com o raio dado pelo comprimento l do fio, Figura 12, ficamos com:

$$x = l\theta \quad (4.9)$$

Como x é proporcional a θ , Figura 12, torna-se válida a seguinte relação:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = l \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (4.10)$$

Dessa forma

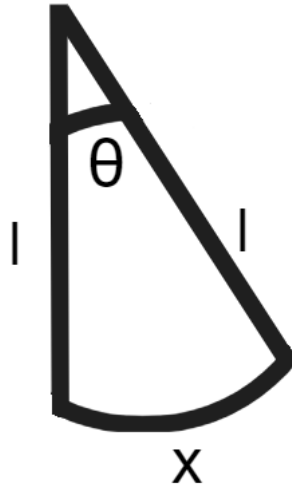
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{-g}{l} \cdot \sin \theta \quad (4.11)$$

ou ainda

$$\alpha = \frac{-g}{l} \cdot \sin \theta. \quad (4.12)$$

com α representando a aceleração angular do sistema.

Figura 12 – Relação entre o comprimento x do arco com o ângulo θ e o raio l



Fonte: Esboço realizado pelo Autor

As componentes x e y da Tração T no fio valem, respectivamente

$$T_x = -T \cdot \sin \theta \quad (4.13)$$

e

$$T_y = T \cdot \cos \theta. \quad (4.14)$$

Sabendo que

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (4.15)$$

com ω representando a velocidade angular, e que

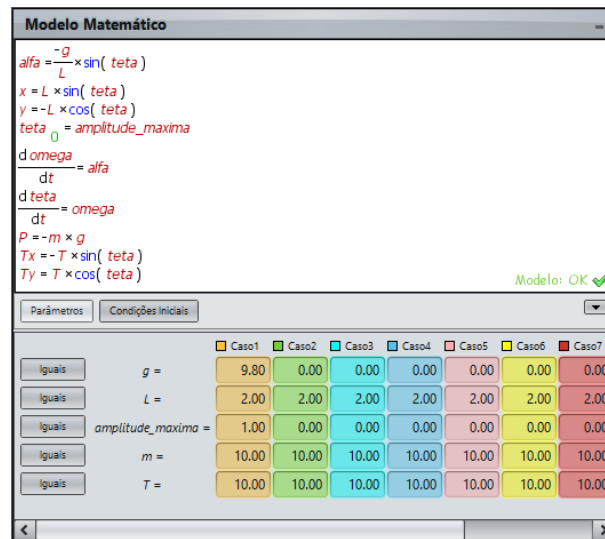
$$\frac{d\omega}{dt} = \alpha \quad (4.16)$$

e ainda que a força Peso P é dada por

$$P = -m \cdot g, \quad (4.17)$$

podemos começar a modelar o sistema. Inserindo estas equações na janela “Modelo Matemático”, o campo “Parâmetros” e “Condições Iniciais”, Figura 13, estarão disponíveis para edição, ficando a cargo do usuário quais valores atribuir para cada grandeza.

Figura 13 – Equações para a modelagem do pêndulo simples na janela “Modelo Matemático”

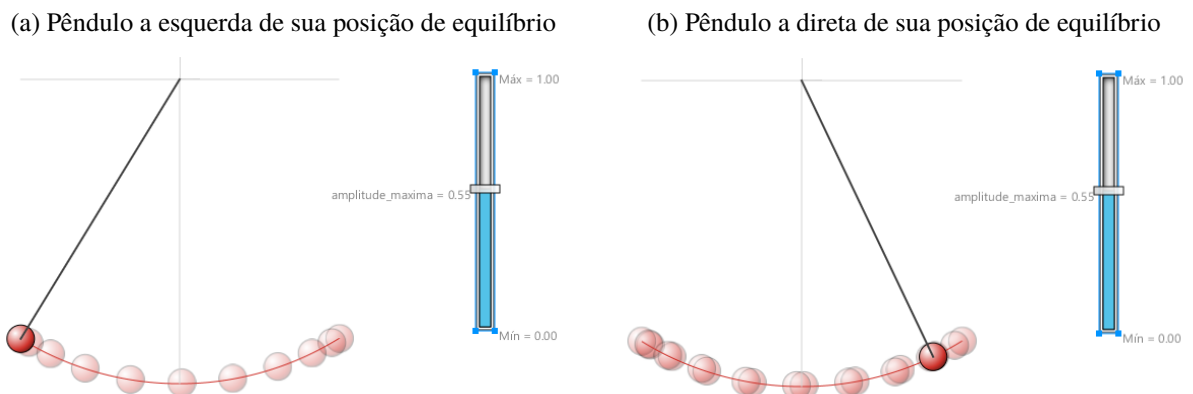


Fonte: Print do *software Modellus*

Através da ferramenta “Objecto Geométrico”, encontrada na janela “Animação”, pode-se utilizar o tipo “Segmento Recta” para representar o fio do pêndulo. Em seguida, vinculam-se as equações decompostas de x e y ao segmento de reta nas coordenadas do sistema, sendo estas as equações responsáveis pela oscilação da massa. Ainda na aba “Animação”, o usuário poderá escolher a partícula desejada para representar a massa e deverá ligá-la ao fio através da função “Ligar a” disponível na janela “Propriedades”. Convém inserir um “Indicador de nível”, que receberá a função da amplitude no campo “Variável”, cabendo ao usuário definir os valores de máximo e mínimo para a amplitude da oscilação, tendo em vista que o valor máximo deverá ser igual ao valor estipulado para a Amplitude máxima no campo “Parâmetros”.

A Figura 14 representa um pêndulo simples oscilando em torno de sua posição de equilíbrio, neste caso, a componente P_y não se anulará com a força de tração realizada pelo fio, sendo a componente P_x a responsável pela oscilação do pêndulo.

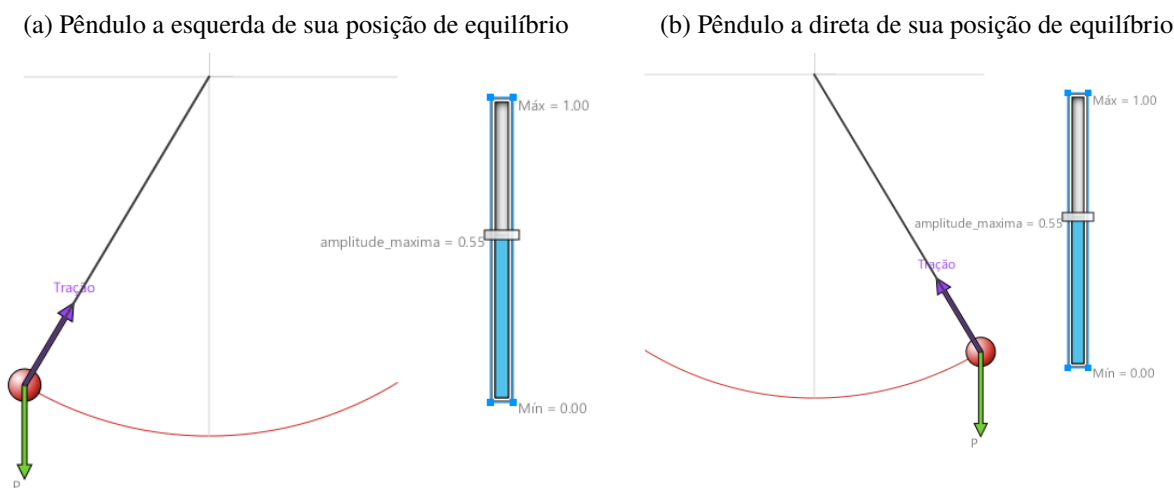
Figura 14 – Modelando o pêndulo simples



Fonte: Print do *software Modellus*

Para inserir os vetores que representam a Tração T no fio e o Peso P , basta selecionar a opção “Vector” disponível na janela “Animação”. Para representar o vetor Tração, insira T_x na coordenada x e T_y na coordenada y . Para o Peso P , deve-se criar um novo vetor e inserir P na coordenada y , como se trata de uma força exercida na vertical, a coordenada x pode assumir valor zero. Por fim, os dois vetores são conectados a partícula por meio da função “Ligar a”, que está disponível na janela “Propriedades”. O resultado final pode ser observado nas Figuras 15a e 15b.

Figura 15 – Vetores representando as forças atuantes na bola



Fonte: Print do *software Modellus*

Tendo em vista que este modelo se apresenta em termos de equações diferenciais, cabe ao professor sua montagem e ao aluno sua exploração, podendo alterar valores e condições deste mesmo modelo num único ambiente. Como exemplo, o aluno pode questionar o que acontece ao aumentar ou diminuir o valor de g , ou ainda, se o pêndulo sofre alguma alteração modificando os valores da massa do pêndulo. Isso faz do *Modellus* um excelente mecanismo para simular modelos com boas aproximações da realidade [51].

Os vetores adicionados condizem com o valor em módulo das grandezas que representam, sofrendo alterações em seu “tamanho” a medida que se altera o valor das grandezas, se tornando uma ótima ferramenta para revisar esse conteúdo com os alunos. O Gráfico e a Tabela podem ser usados para complementar as observações realizadas e comparar os resultados obtidos com as equações teóricas apresentadas. Dito isto, de acordo com Medeiros e Medeiros [50], esta representação visual da evolução do fenômeno, em detrimento das imagens apresentadas no livro didático, onde se aborda somente alguns pontos do movimento, tornam as ferramentas de simulação, como o *Modellus*, um aliado para o professor, que precisa ensinar este conteúdo ao seu aluno, e para o aluno, que na maioria dos casos necessita de mais do que uma imagem abordando o ponto inicial e final do movimento para sua devida compreensão.

4.2 Ondulatória

Uma onda mecânica é a propagação de uma perturbação através de um meio material. São exemplos de ondas mecânicas o som emitido por uma corda de violão até as perturbações produzidas em um lago ao atirar uma pedra. O estudo das ondas, através da Ondulatória, requer atenção para alguns parâmetros, tais como velocidade de propagação, frequência, comprimento de onda, amplitude e interferência, através deles, pode-se descrever a natureza ondulatória de diversos fenômenos naturais, como o som, uma onda mecânica, e a luz, uma onda eletromagnética, por exemplo [59].

O estudo de Ondulatória no EM é restrito, em diversos casos, a explicações teóricas acerca dos fenômenos discutidos, exigindo dos alunos um grau elevado de imaginação para que se consiga visualizar o fenômeno, tendo em vista que estes não são facilmente observados no cotidiano. A propagação de uma onda em um meio qualquer, por exemplo, é costumeiramente representado utilizando apenas pincéis e quadro branco. Essa realidade pode ser modificada com a utilização de novas ferramentas de ensino, onde o aluno pode acompanhar a propagação da onda e a evolução do gráfico em tempo real, e não depender exclusivamente das imagens expressas no livro didático ou dos desenhos feitos pelo professor [62].

Esse cenário pode se tornar ainda menos prazeroso ao aluno no ensino de batimentos, um conteúdo que não pode ser perfeitamente ensinado utilizando somente instrumentos musicais, como é empregado em algumas salas de aula, ou ainda, com a leitura dos gráficos estáticos de ondas senoidais mostrados nos livros didáticos. Este cenário pouco desperta atenção dos jovens estudantes, implicando na carência de uma nova abordagem, em contrapartida aos recursos obsoletos citados acima [63, 64].

4.2.1 Modelando Ondas em uma Corda

As ondas podem ser classificadas em ondas mecânicas ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas são regidas pelas leis de Newton e necessitam de um meio material para se propagar. Diferentemente das ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagar e são descritas pelas equações de Maxwell. São classificadas ainda em transversais, quando o sentido de perturbação é perpendicular ao sentido de propagação, e em longitudinais, quando a onda se propaga no mesmo sentido da perturbação [59]³.

Uma onda que recebe perturbações em intervalos de tempos iguais recebe o nome de onda periódica. Isso fica mais claro quando imaginamos uma pessoa agitando a extremidade de uma corda de pular em intervalos de tempos iguais e de baixo para cima (como se estivesse executando um MHS), mantendo as propriedades dessa onda, tais como frequência e amplitude, bem definidas durante todo o movimento. Dessa forma, o resultado da oscilação dessa corda em

³Para mais detalhes, o leitor pode conferir as referências [58] e [59].

intervalos de tempos iguais resultará numa onda transversal periódica, onde cada partícula dessa corda descreverá um MHS em torno de sua posição de equilíbrio com frequências iguais [59].

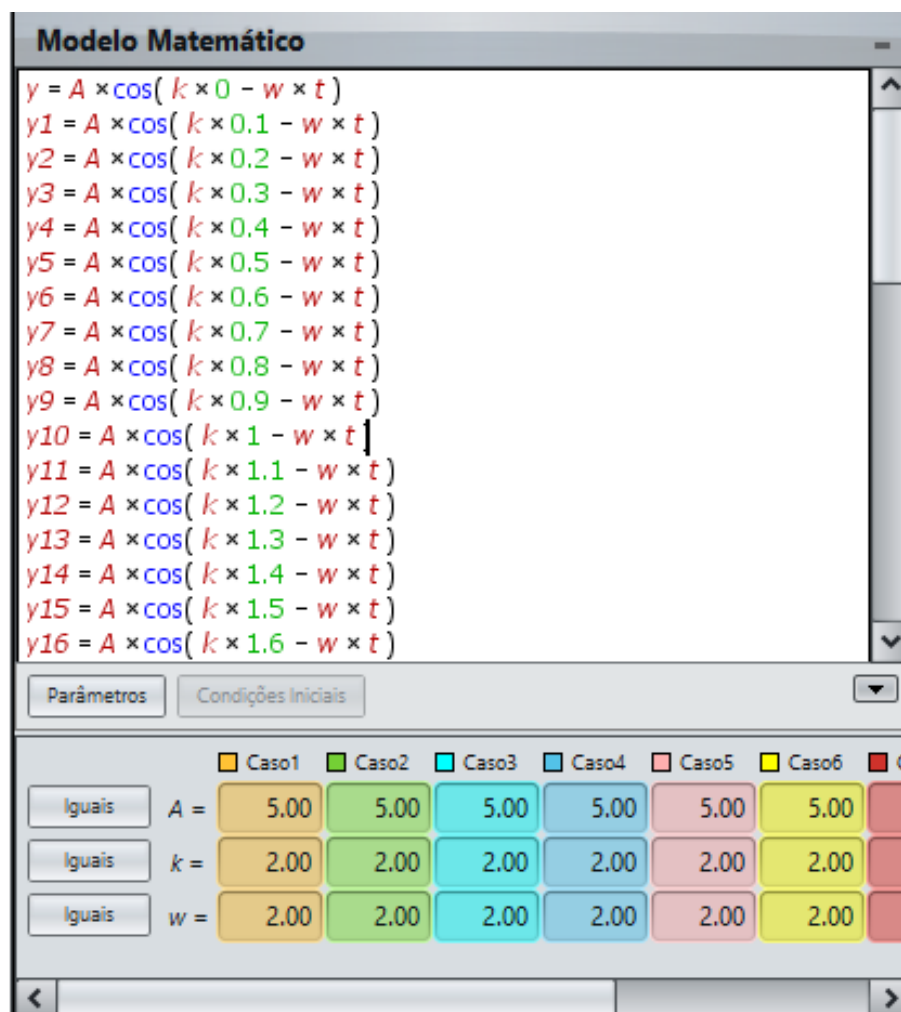
Através do *Modellus* pode-se “fracionar” essa corda em diversas partículas e estudar o movimento das mesmas individualmente. Para isso, consideraremos uma onda transversal que se desloca no sentido positivo do eixo x . Através da Função de Onda, Equação 4.18, encontraremos o deslocamento das partículas que compõem essa corda e sua respectiva velocidade e aceleração.

$$y = A \cdot \cos(k \cdot x - w \cdot t), \quad (4.18)$$

onde A representa a amplitude do movimento, k o número de ondas, x a posição, w a frequência e t o tempo. Dessa forma, diz-se que a Função de onda depende exclusivamente da posição x e do tempo t .

O leitor poderá inserir quantas partículas desejar para montar sua corda no *Modellus*, entretanto, quanto mais partículas inseridas, melhor será a visualização do fenômeno. Para esta modelagem, foram inseridas 50 partículas no *software* e para cada partícula, definiu-se uma função de onda com defasagem de 0.1 entre cada posição. A amplitude, o número de onda e a frequência receberam os valores 5, 2 e 2, respectivamente, conforme se vê na Figura 16.

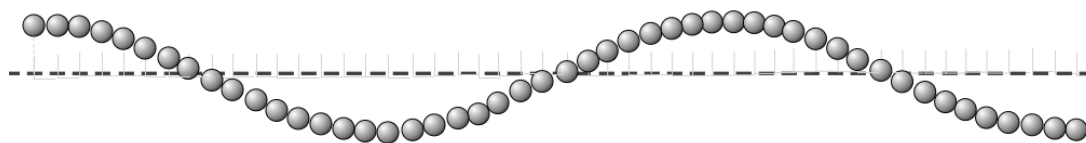
Figura 16 – Modelo Matemático contendo a Função de Onda com defasagem de 0.1 entre cada posição



Fonte: Print do *software Modellus*

Ao definir o número de funções desejadas, caberá ao usuário inserir o mesmo número de partículas. Para a primeira partícula, deverá ser atribuída a primeira Função de Onda, para a segunda partícula a segunda Função de Onda, e assim deverá seguir até findar as Funções escritas no Modelo Matemático. Sendo assim, para a primeira partícula, na aba de propriedades, o campo da coordenada x receberá a variável t e o campo da coordenada y , receberá a primeira Função de Onda. Para a segunda partícula, o campo da coordenada x receberá a variável t e o campo da coordenada y , receberá a segunda Função de Onda, e assim suscetivamente. A escala em x assume valor zero, já a escala em y poderá ser ajustada de acordo com as necessidades do usuário, devendo apenas se manter a mesma para todas as partículas (nesta simulação, a escala em y escolhida foi de 10 unidades). O usuário deverá organizar as partículas na tela de fundo do *Modellus* de forma que as origens permaneçam lado a lado. Por fim, pode-se ainda traçar uma linha pontilhada por meio da função “Texto”, disponível na janela “Animação”, assim, a posição de equilíbrio ($x = 0$) poderá ser melhor observada, a Figura 17 é o esboço final da modelagem.

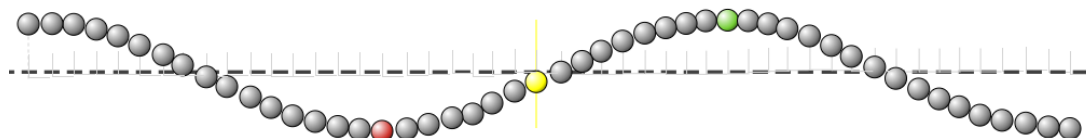
Figura 17 – Modelando a propagação transversal de uma onda em uma corda



Fonte: Print do *software Modellus*

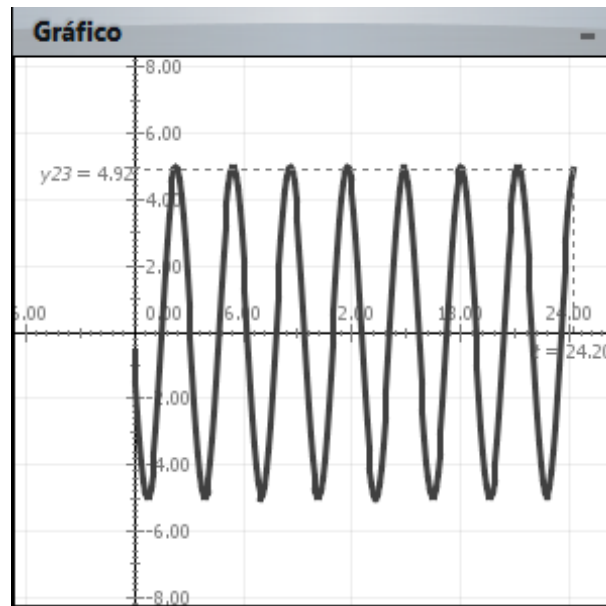
Com a corda montada, dividida em 50 partículas e com o valor do “Passo” definido em 0,1 segundos, o leitor já poderá executar a simulação. O primeiro ponto a se destacar seria a diferença de fase expressa pela defasagem inserida na posição de cada partícula. Isso fica claro ao tomarmos duas partículas na corda, uma com amplitude máxima (partícula verde) e uma com amplitude mínima (partícula vermelha). Por essa observação, pode-se ainda constatar que somente as partículas da corda, separadamente, descrevem um MHS, e não o movimento de toda a onda na corda, conforme se vê na trajetória demarcada pela partícula amarela, na Figura 18 e no gráfico descrito pela mesma partícula na Figura 19.

Figura 18 – Diferença de fase entre as partículas verde e vermelha e a descrição do MHS pela partícula amarela



Fonte: Print do *software Modellus*

Figura 19 – Gráfico do MHS descrito pela partícula amarela



Fonte: Print do software *Modellus*

A equação Fundamental da Ondulatória ($v_{\text{onda}} = \lambda \cdot f$) descreve a velocidade de propagação da onda na corda. Como procuramos a velocidade de propagação das partículas que compõem essa onda, derivamos a Equação 4.18 uma vez, ficando com

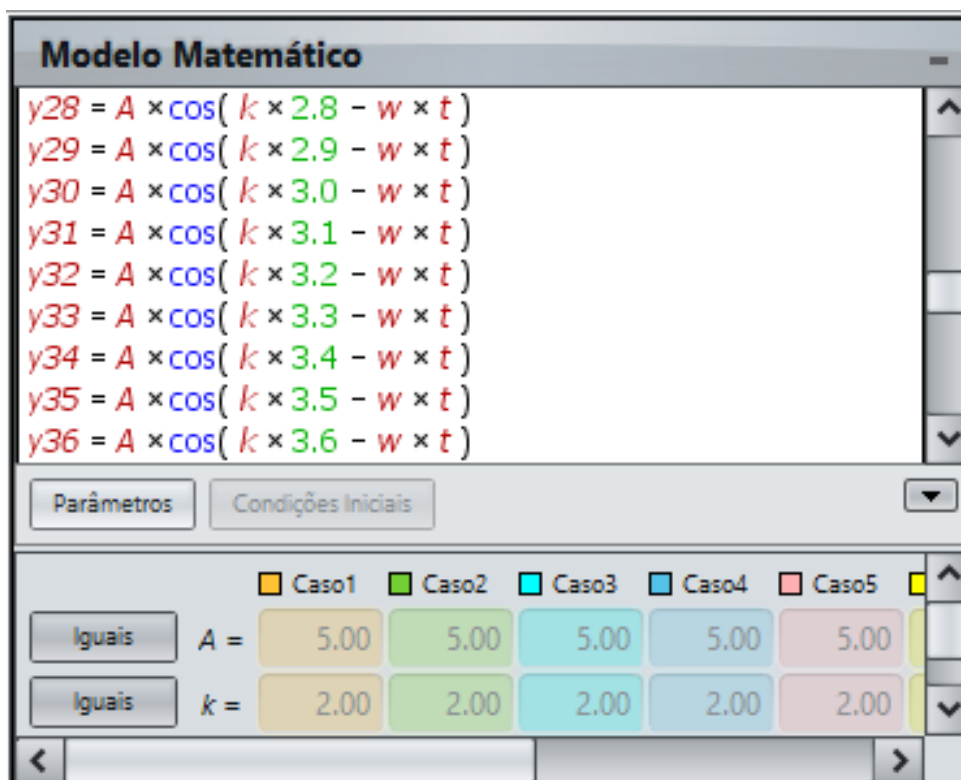
$$v = \frac{dy}{dt}. \quad (4.19)$$

Da mesma maneira, para encontrarmos a aceleração dessa partícula, derivamos a Equação 4.18 duas vezes, ou derivamos a equação encontrada para a velocidade (Equação 4.19). Dessa forma

$$a = \frac{dv}{dt}. \quad (4.20)$$

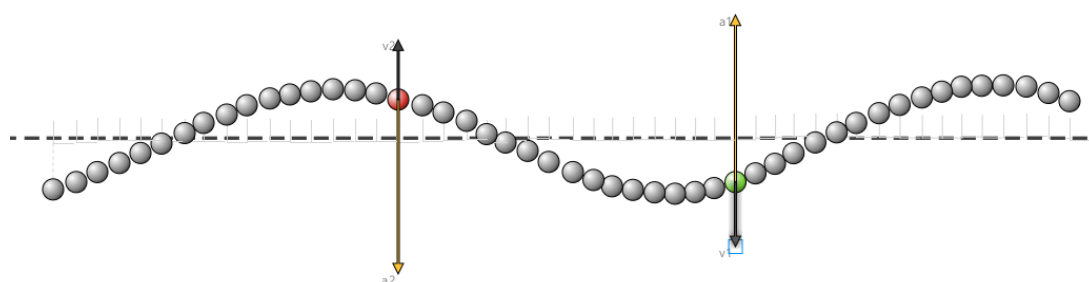
Inserindo as Equações 4.19 e 4.20 no *Modellus*, pode-se definir os vetores velocidade e aceleração seguindo os mesmos passos demonstrados em itens anteriores. A Figura 20 representa a janela “Modelo Matemático” com as equações da velocidade e aceleração definidas para duas partículas, já a Figura 21 é uma representação dos vetores aceleração e velocidade para as partículas verde e vermelha.

Figura 20 – Janela “Modelo Matemático” com as equações de velocidade e aceleração para as partículas na corda



Fonte: Print do software *Modellus*

Figura 21 – Disposição dos vetores velocidade, em preto e aceleração, em amarelo, para as partículas verde e vermelha



Fonte: Print do software *Modellus*

Os resultados encontrados para essas grandezas são expressos na Tabela. Caso queira, o aluno ou professor poderá alterar os valores do “Passo” afim de que o programa realize seus cálculos em intervalos maiores ou menores de tempo.

Por envolver uma quantidade significativa de funções e partículas, esta simulação requer um tempo adicional para ser montada, mas que poderá ser salva e aberta em outros computadores, ou ainda projetada em um *datashow* pelo professor na sala de aula. Para esse tipo de utilização, caberá ao professor instigar a discussão em sala de aula, levantando perguntas sobre os parâmetros

definidos e, principalmente, as alterações sofridas na modelagem ao modificar esses parâmetros, por exemplo. A partir do *Modellus* diversas ideias expressas verbalmente pelo professor em sala de aula ganharão significado, um exemplo disso pode ser notado na Figura 18 e 19, onde o aluno conseguirá visualizar com clareza o MHS descrito pela partícula que compõe a Onda transversal.

Ao utilizar o *Modellus* para modelar uma onda transversal em uma corda, o professor oferece ao seu aluno uma nova forma de estudar o fenômeno, possibilitando a ele repetir a modelagem quantas vezes achar necessário, fazendo com que o fenômeno estudado faça sentido para o estudante. Através dessa simulação, pode-se, de acordo com Medeiros e Medeiros [50], aperfeiçoar o que já se sabe sobre o conteúdo, gerar e testar novas hipóteses, principalmente modificando os parâmetros definidos no início da modelagem, incentivando o método científico por meio do raciocínio crítico demandado pela análise da modelagem. Além disso, promove o trabalho em grupo, gerando um ambiente de interatividade entre os alunos e entre o aluno e o professor.

4.2.2 Modelando os Batimentos

Dadas duas ondas de mesma amplitude e com frequências próximas, a sobreposição dessas duas ondas é denominada batimento. Essa interferência pode ser classificada como construtiva, quando as ondas estão em fase e se reforçam, ou destrutiva, quando as duas ondas estão defasadas e se anulam. Geralmente, os batimentos são estudados nos capítulos destinados as ondas sonoras, tomando como seu principal exemplo a afinação de instrumentos musicais [59]⁴.

Estudar o batimento através de instrumentos musicais, ou por meio de diapasones, demandaria do aluno uma boa percepção auditiva, e ainda, uma certa perícia para manusear e afinar os instrumentos afim de que se perceba o fenômeno. Da Silva *et al.* [64], sugere algumas alternativas para que este fenômeno possa ser trabalhado experimentalmente em sala de aula, entretanto, alguns *softwares* podem ser pagos, e outros, por não serem desenvolvidos para fins educacionais, podem complicar ainda mais o estudo do fenômeno. Por fim, os autores citam o *software* Batimento, específico para este fenômeno, entretanto, não foi possível encontrá-lo na *web*.

Sendo assim, o *Modellus* configura-se como uma excelente opção para a modelagem dos batimentos. Uma das vantagens da utilização deste programa para a modelagem deste fenômeno é a capacidade de simular uma onda por vez. Isso possibilita a análise individual desta onda por parte do aluno ou do professor. Além disso, ainda é possível simular a onda resultante, dada pela sobreposição das duas ondas e alterar os parâmetros das grandezas que as definem.

Tendo sido escolhido o fenômeno desejado para se modelar, podemos então alocar as equações que regem este fenômeno no Modelo Matemático. Dado duas ondas sonoras de mesma amplitude A e valores próximos de frequência w , o deslocamento y dessa onda será dado por

⁴Para mais detalhes, o leitor pode conferir as referências [58] e [59].

$$y_1 = A \cdot \cos w_1 \cdot t \quad (4.21)$$

e

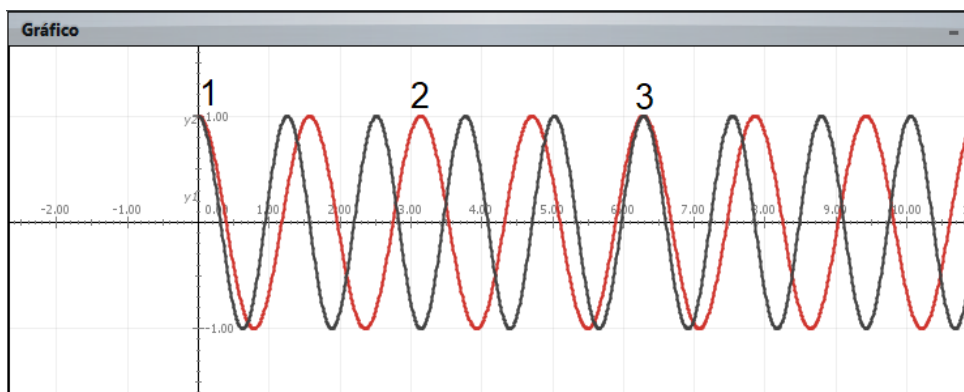
$$y_2 = A \cdot \cos w_2 \cdot t. \quad (4.22)$$

A soma dos deslocamentos y_1 e y_2 resultará no deslocamento resultante Y da onda, dado por

$$Y = y_1 + y_2 \quad (4.23)$$

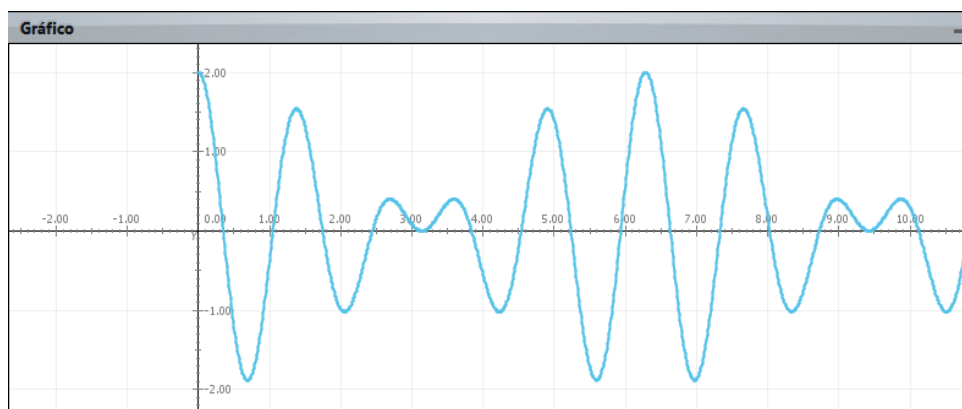
Alocando estas equações no modelo matemático podemos definir os parâmetros para as frequências w_1 e w_2 , para esta simulação em específico, os valores escolhidos foram 4 e 5, respectivamente. Definiu-se valor 1 para a grandeza amplitude A . Após isso, o gráfico formado pelas ondas y_1 e y_2 pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Visualização gráfica das ondas y_1 , em vermelho e y_2 , em preto

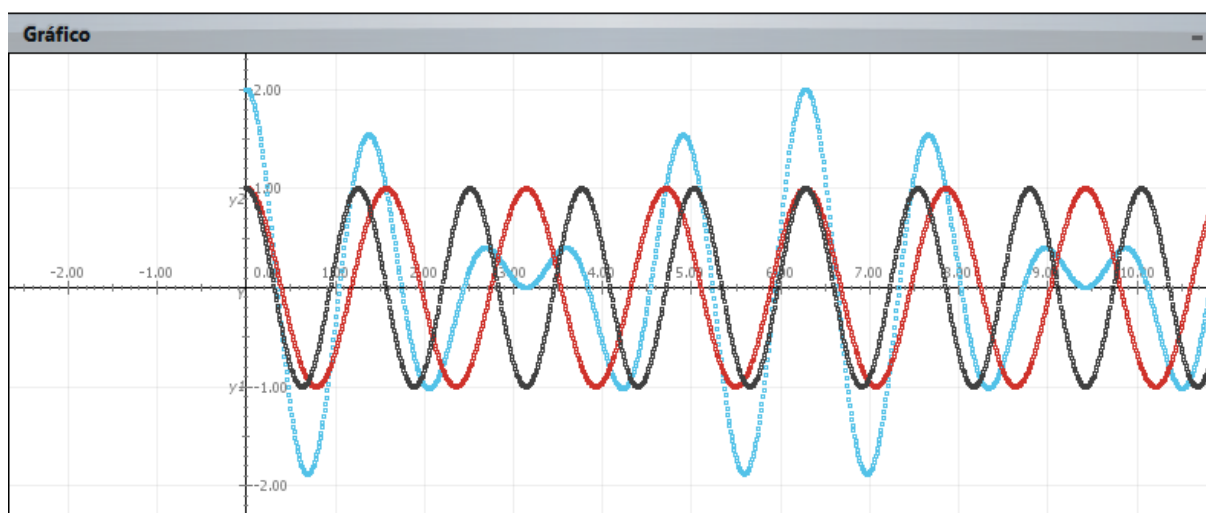


Fonte: Print do software *Modellus*

Observe que, a partir do gráfico gerado no *Modellus*, pode-se perceber alguns pontos importantes e que devem ser debatidos em sala de aula pelo professor. No ponto 1, as ondas saem em fase, e com o decorrer do tempo, vão se defasando, no ponto 2, ocorre a defasagem completa das ondas, ou interferência destrutiva, onde a crista da onda y_1 coincide com o vale da onda y_2 , neste ponto, em se tratando de uma onda sonora, o som reproduzido será baixo, ou até mesmo nulo. No ponto 3, ocorre a interferência construtiva entre as ondas y_1 e y_2 , somando-se, neste caso, ocorrerá um aumento na intensidade sonora, aumentando a amplitude. A sobreposição da ondas y_1 e y_2 pode ser observada na Figura 23.

Figura 23 – Sobreposição das ondas y_1 e y_2 Fonte: Print do *software Modellus*

Os pontos de maior amplitude da onda na Figura 23 representam os pontos de interferência construtiva visualizados na Figura 22, da mesma maneira, os pontos de menor amplitude, representam os pontos de interferência destrutiva, onde ocorre o cancelamento das ondas. Esse efeito pode ser melhor visualizado comparando os dois gráficos. A linha tracejada em azul representa a onda resultante Y , as linhas tracejadas em vermelho e preto representam as ondas y_1 e y_2 , respectivamente.

Figura 24 – Comparação gráfica entre a onda resultante Y e as ondas y_1 e y_2 Fonte: Print do *software Modellus*

Ao sobrepor as ondas, podemos perceber os pontos de interferência construtiva e destrutiva que antes foi observado separadamente nas ondas y_1 e y_2 . Através desse modelo, o professor poderá, também, revisar ou aplicar os conceitos de interferência destrutiva e construtiva, mostrando ao seu aluno o comportamento característico de cada interferência no gráfico.

O professor, caso queira, poderá combinar o uso do *Modellus* com *sites* geradores de tons disponíveis na *web*, para que o aluno possa ver e ouvir o fenômeno trabalhado.

Por se tratar de uma modelagem com equações similares as apresentadas no livro didático, os próprios alunos podem montar e explorar os batimentos através do *Modellus*. Como exemplo, ele poderá manipular os valores das frequências w_1 e w_2 , diminuindo ou aumentando a diferença entre elas, relatar os valores alterados no gráfico e sua respectiva analogia com o mundo real, ou ainda com os tons gerados nos *sites* de apoio, fazendo do *Modellus* um verdadeiro ambiente de formulação e teste de hipóteses [60].

A análise da evolução do gráfico no decorrer do tempo possibilita ao aluno uma maior interação com o fenômeno estudado. Isso permite uma melhor visualização das características deste fenômeno, promovendo um aprendizado mais dinâmico e interativo, diferenciando-se das imagens e gráficos estáticos apresentados nos livros didáticos e ainda poupando o tempo gasto com as ilustrações no quadro branco, que pouco contribuem para o aprendizado do conteúdo [50].

5 Considerações finais

O uso da modelagem no ensino da Física é uma maneira de facilitar a construção de significados, ajudando a romper o paradigma de que esta é uma ciência difícil de ser aprendida. Buscando uma alternativa para a falta de recursos destinados à construção de laboratórios de ciências nas escolas públicas brasileiras, os laboratórios virtuais se apresentam como uma excelente ferramenta para que esses alunos não deixem o EM sem a devida formação técnico-científica que lhes deve ser proporcionada. Embora não representem uma cópia fiel dos acontecimentos reais, sua utilização pode enriquecer o ambiente pedagógico, auxiliar na demonstração de situações abstratas ou ainda de fenômenos rápidos de mais para serem observados, além de promover práticas de ensino mais atualizadas [53, 65].

Os conteúdos modelados neste trabalho foram escolhidos pelo autor levando em consideração a dificuldade de visualização deste fenômeno pelo aluno. O MHS, por exemplo, demanda do aluno uma capacidade de abstração elevada para que se possa compreender os conceitos e aplicações do mesmo no cotidiano. Na Física, é importante que o aluno possa visualizar o fenômeno para que o aprendizado aconteça de maneira satisfatória, ao contrário, toda tentativa de ensino terá como resposta dos estudantes a “pouca aplicação prática do que se estuda”.

O uso de *softwares* educacionais, como o *Modellus*, na sala de aula, ainda é rodeado de dúvidas e inseguranças, em sua maioria, por parte do professor. Isso porque o docente pode se sentir acuado ao trabalhar com tecnologias que não lhe foram devidamente apresentadas durante sua graduação, ou ainda, por trazer para o ambiente pedagógico uma ferramenta que seus alunos podem possuir mais perícia ao manusear do que o professor. Outros fatores como a escassez de recursos tecnológicos enfrentados por algumas escolas e a resistência a mudança de metodologia, podem representar fatores relevantes para a não utilização desses *softwares*.

A aplicação do *Modellus* no ensino do MHS pode ajudar o aluno a compreender, por exemplo, os conceitos de força restauradora ao modelar o sistema massa-mola, e ainda a orientação do vetor que representa esta grandeza quando comparado ao deslocamento da partícula, deixando claro o sinal negativo presente na Lei de Hooke. A modelagem do pêndulo simples, além de representar uma abordagem mais didática deste conteúdo, pode ser mais aprofundada pelo professor inserindo o período de oscilação deste pêndulo, podendo ainda revisar os conteúdos de vetores aprendidos no primeiro ano do EM.

Carecendo de uma abordagem menos estática para o ensino de Ondulatória, o *Modellus* se configura como uma excelente ferramenta para exemplificar os conceitos por trás da propagação de uma onda transversal. Através dele, e principalmente através do seu vasto número de ferramentas disponíveis, o estudante consegue diferenciar o MHS realizado por uma única partícula ao longo da corda, do movimento realizado pela corda como um todo, que descreve uma onda propagando-

se. Além disso, pode-se fazer o estudo da velocidade e aceleração sofrida por uma partícula ao longo dessa corda, além de oferecer ao estudante os valores dessas grandezas para cada instante de tempo desejado, reservando a ele somente o trabalho de interpretar e modificar o fenômeno modelado.

No ensino de batimentos, o *Modellus* desempenha um papel de facilitador para visualizar e entender os gráficos formados pelas ondas. Esses gráficos só eram vistos pelos estudantes de maneira estática nos livros didáticos, através do *Modellus* o aluno pode visualizar sua evolução no decorrer do tempo, podendo ainda observar separadamente o gráfico formado pelas duas ondas, simultaneamente e, ao fim, mostrar graficamente a sobreposição de duas ondas, determinando os batimentos. Uma ferramenta do programa que se fez bastante útil nesta modelagem foi a capacidade do *Modellus* de exibir o gráfico formado pelas duas ondas simultâneo ao gráfico formando pela sobreposição de ambas, conforme se observou na Figura 24.

É importante destacar que o *Modellus*, ou qualquer outro *software* educacional, não resolverá todos os problemas inerentes ao ensino de Física, nem tampouco do ensino de ciências em geral. O uso dessas ferramentas deverá representar uma fuga didática ao professor, tanto para o que dispõe de outros recursos quanto para o que leciona Física em escolas com pouca ou nenhuma estrutura. Isto porque, o uso das TIC é uma forma de trazer as tecnologias, que se fazem presentes na vida do estudante, para dentro da sala de aula, tornando o espaço pedagógico um ambiente propício para a aprendizagem.

Assim, é recomendável que o professor esteja familiarizado com as diferentes ferramentas disponíveis no software e saiba como utilizá-las de forma eficiente e adequada aos objetivos de sua aula. Afinal, o *Modellus* oferece um grande potencial para a construção de modelos matemáticos e a visualização de fenômenos complexos.

Referências

- 1 PARNAIBA, C. dos S.; GOBBI, M. C. Os jovens e as tecnologias da informação e da comunicação: aprendizado na prática. *Anagrama*, v. 3, n. 4, p. 1–14, 2010. Citado na página 14.
- 2 VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino: aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 24, p. 87–96, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- 3 MENDES, J. F.; COSTA, I. F.; SOUSA, C. M. de. O uso do software modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 34, 2012. Citado na página 14.
- 4 ROSA, C. W. da; ROSA, A. D. Ensino de física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las ciencias*, v. 4, n. 1, 2005. Citado na página 14.
- 5 RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 29, p. 251–266, 2007. Citado na página 14.
- 6 MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: uma ilusão perdida em uma cultura de ensino para a testagem. In: *Conferência de encerramento do VII Encontro internacional sobre Aprendizagem significativa. Burgos, Espanha*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 13. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.
- 7 MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de física. *Estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 32, p. 73–80, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 16, 18 e 21.
- 8 TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 9, n. 3, p. 209–214, 1992. Citado na página 16.
- 9 MENDES, G. H. G. I.; BATISTA, I. d. L. Matematização e ensino de física: uma discussão de noções docentes. *Ciência & Educação (Bauru)*, SciELO Brasil, v. 22, p. 757–771, 2016. Citado na página 16.
- 10 PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno brasileiro de ensino de física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 19, n. 1, p. 93–114, 2002. Citado na página 16.
- 11 CHIQUETTO, M. J. O currículo de física do ensino médio no brasil: discussão retrospectiva. *Revista e-curriculum*, v. 7, n. 1, 2011. Citado na página 16.
- 12 MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 24, n. 1, p. 112–131, 2007. Citado na página 16.
- 13 MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 43, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.
- 14 FREIRE, P. Pedagogia do oprimido. 1971. Citado na página 17.

- 15 MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do professor de física*, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 19.
- 16 REIS, J. C. dos; SANTANA, I. L.; LEMOS, L. S. A relação entre física e matemática: Uma abordagem teórico-metodológica. *Revista Binacional Brasil-Argentina: Diálogo entre as ciências*, v. 11, n. 02, p. 112–135, 2022. Citado na página 18.
- 17 COSTA, G.; TOKARNIA, M. Pandemia de covid-19 fez ensino e papel do professor mudarem. *Agência Brasil*. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/educacao/noticia/2020-10/pandemia-de-covid-19-fez-ensino-e-papel-do-professor-mudarem>> Acesso em: 15 de abr. de, 2023. Citado na página 18.
- 18 ROSA, S. S. d. et al. A pandemia e a adaptação do ensino remoto em uma escola do/no campo de nova santa rita/rs. *Studies in Education Sciences*. Curitiba, PR. Vol. 3, n. 1 (2022), p. 68-84, 2022. Citado na página 18.
- 19 MEC. Censo escolar da educação básica 2022: Resumo técnico. *Diretoria de Estatísticas Educacionais (DEED)*. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2022.pdf> Acesso em: 15 de abr. de, 2022. Citado na página 18.
- 20 MIZUKAMI, M. d. G. N. *Ensino: as abordagens do processo*. [S.l.]: Editora Pedagógica e Universitária São Paulo, 1986. Citado na página 19.
- 21 SILVA, J. C. X.; LEAL, C. E. d. S. Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 39, 2016. Citado na página 19.
- 22 BLOSSER, P. E. Matérias em pesquisa de ensino de física: O papel do laboratório no ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 5, n. 2, p. 74–78, 1988. Citado na página 19.
- 23 MEC. Censo escolar da educação básica 2018: Notas estatísticas. *Diretoria de Estatísticas Educacionais (DEED)*. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/notas_estatisticas/2018/notas_estatisticas_censo_escolar_2018.pdf> Acesso em: 15 de abr. de, 2018. Citado na página 19.
- 24 ODORICO, E. K. et al. Análise do não uso do laboratório de informática nas escolas públicas e estudo de caso. In: SBC. *Anais do XVIII Workshop de Informática na Escola*. [S.l.], 2012. p. 38–46. Citado na página 20.
- 25 TEIXEIRA, D. A. de O.; NASCIMENTO, F. L. Ensino remoto: o uso do google meet na pandemia da covid-19. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, v. 7, n. 19, p. 44–61, 2021. Citado na página 20.
- 26 ARAUJO, R. S.; VIANNA, D. M. A história da legislação dos cursos de licenciatura em física no brasil: do colonial presencial ao digital a distância. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 32, p. 4403–1, 2010. Citado na página 20.
- 27 GOBARA, S. T.; GARCIA, J. R. B. As licenciaturas em física das universidades brasileiras: um diagnóstico da formação inicial de professores de física. *Revista brasileira de ensino de física*, SciELO Brasil, v. 29, p. 519–525, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

- 28 NASCIMENTO, T. R. A criação das licenciaturas curtas no brasil. *Revista histedbr On-line*, v. 12, n. 45, p. 340–346, 2012. Citado na página 20.
- 29 BRASIL et al. *Lei de diretrizes e bases da educação nacional*. [S.l.]: Conselho de Reitores das Universidades Brasileiras, 1997. Citado na página 20.
- 30 PLENO, C. Resolução cne/cp 2, de 19 de fevereiro de 2002. *Institui a duração*. Citado na página 20.
- 31 EDUCAÇÃO, B. C. N. de; EDUCAÇÃO, B. C. N. de. Resolução nº. 2, de 1º de julho de 2015. define as diretrizes curriculares nacionais para a formação inicial em nível superior (cursos de licenciatura, cursos de formação pedagógica para graduados e cursos de segunda licenciatura) e para a formação continuada. *Diário Oficial da União*, p. 11–13, 2015. Citado na página 20.
- 32 MEC. Censo da educação superior 2021: Notas estatísticas. *Diretoria de Estatísticas Educacionais (DEED)*. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/notas_estatisticas_censo_da_educacao_superior_2021.pdf> Acesso em: 15 de abr. de, 2021. Citado na página 21.
- 33 OLIVEIRA, V. A. d.; SILVA, A. C. d. Uma revisão da literatura sobre a evasão discente nos cursos de licenciatura em física. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, SciELO Brasil, v. 22, 2020. Citado na página 21.
- 34 MEC. Resumo técnico do censo da educação superior 2021. *Diretoria de Estatísticas Educacionais (DEED)*. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_da_educacao_superior_2021.pdf> Acesso em: 15 de abr. de, 2021. Citado na página 21.
- 35 NESI, E. R. et al. Perspectivas e desafios atuais no ensino de física. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 17285–17298, 2021. Citado na página 21.
- 36 BORGES, O. Formação inicial de professores de física: formar mais! formar melhor! *Revista Brasileira de ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 28, p. 135–142, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- 37 GODINHO, J. S. Modellus como ferramenta de ensino da física. In: *5ª JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO*. [S.l.: s.n.], 2014. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 27.
- 38 BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais. Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Ministério da Educação, 2000. v. 2. Acessado em 12 de abr. de 2023. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- 39 BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio-Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. [S.l.]: Ministério da Educação/Sentec Brasília, 2000. Citado na página 23.
- 40 MARTINES, R. D. S. et al. O uso das tics como recurso pedagógico em sala de aula. *CIET: EnPED*, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 26.
- 41 MACHADO, N. L. R.; PASTORIO, D. P. Uma revisão da literatura sobre a integração das tecnologias da informação e comunicação com atividades experimentais no ensino de física. *Revista Dynamis*, v. 28, n. 1, p. 164–185, 2022. Citado na página 24.

- 42 RICARDO, E. C. Problematização e contextualização no ensino de física. *Ensino de Física*. São Paulo: Cengage Learning, p. 29–48, 2010. Citado na página 24.
- 43 SANTOS, G. H.; ALVES, L.; MORET, M. A. Modellus: animações interativas mediando a aprendizagem significativa dos conceitos de física no ensino médio. *RICAM Revista Interdisciplinar de Ciências Aplicadas à Atividade Militar*, v. 1, n. 1, p. 83–102, 2006. Citado na página 24.
- 44 SENA, E. M. F. de et al. A evolução da educação por meio da tecnologia. Citado na página 24.
- 45 FIOLEAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 25, p. 259–272, 2003. Citado na página 24.
- 46 MARTINHO, T.; POMBO, L. Potencialidades das tic no ensino das ciências naturais—um estudo de caso. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, v. 8, n. 2, p. 527–538, 2009. Citado na página 26.
- 47 TEODORO, V. Modelação no ensino da física: seis idéias básicas. *Simpósio Nacional*, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- 48 VIEIRA, P. D.; KOZLOVA, V.; VALENTE, J. P. *Impacto da ferramenta Modellus X a nível mundial*. [S.l.]: Portugal, 2016. Citado na página 26.
- 49 GUTERRES, D. H. S. et al. A utilização de plataformas didáticas virtuais no ensino de física. *CIET: EnPED*, 2018. Citado na página 27.
- 50 MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. d. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 24, p. 77–86, 2002. Citado 4 vezes nas páginas 27, 45, 52 e 55.
- 51 MACHADO, A. F.; COSTA, L. de M. A utilização do software modellus no ensino da física. *Interagir: pensando a extensão*, n. 14, 2009. Citado 4 vezes nas páginas 27, 35, 36 e 45.
- 52 TEODORO, V. M. N. D.; VIEIRA, J. P. D.; CLÉRIGO, F. C. Introdução ao modellus. 1999. Citado 3 vezes nas páginas 28, 36 e 41.
- 53 FEITOSA, F. J. B. O uso do software modellus no ensino de cinemática na 1ª série do ensino médio com a abordagem da aprendizagem significativa. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 28, 38 e 56.
- 54 FERREIRA, D. B.; VILLANI, A. Uma reflexão sobre prática e ações na formação de professores para o ensino de física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 2, n. 2, 2002. Citado na página 35.
- 55 PEDUZZI, L. O. de Q. Sobre a resolução de problemas no ensino da física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 14, n. 3, p. 229–253, 1997. Citado na página 35.
- 56 PINHEIRO, D. M. et al. Uso do software de simulação interactive physics como ferramenta de apoio ao professor em sala de aula no ensino de oscilações mecânicas. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 41. Citado na página 35.

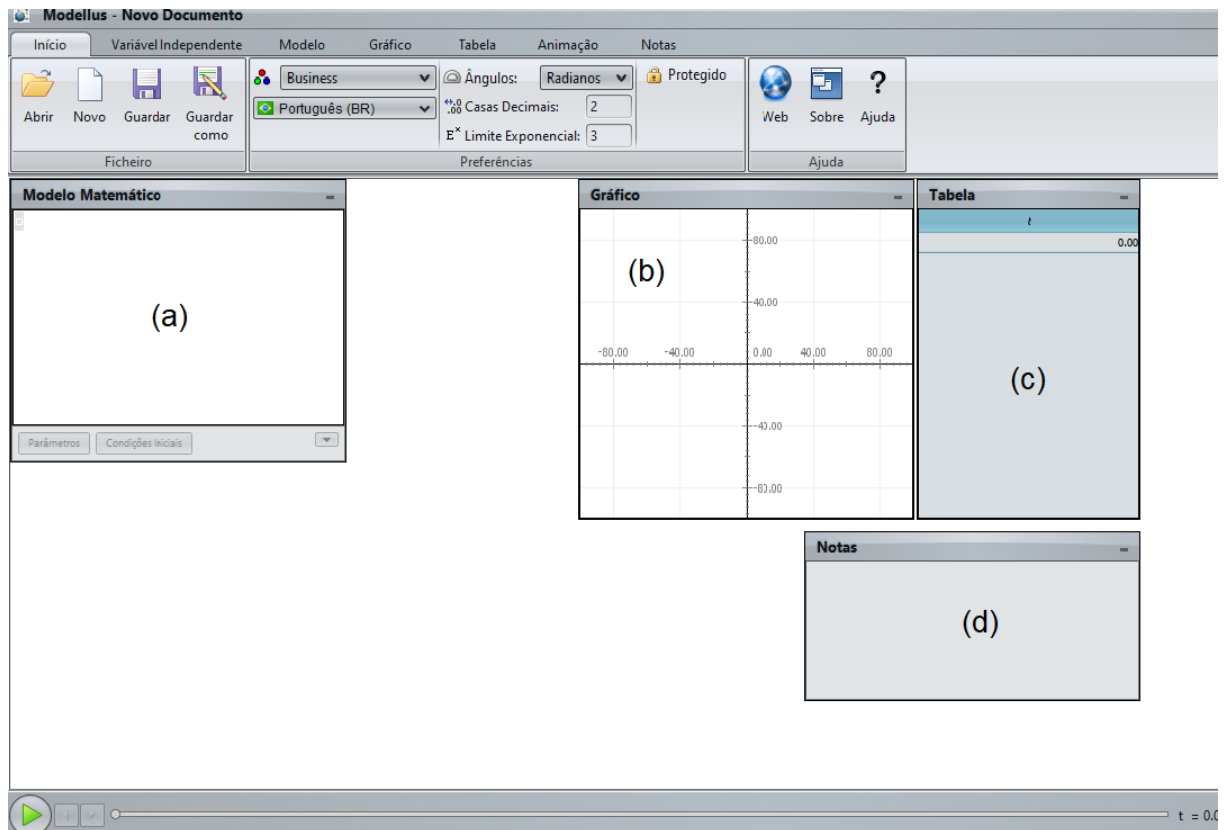
- 57 BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Ministério da Educação, 2018. Acessado em 30 de mai. de 2023. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Citado na página 35.
- 58 HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Gravitação, ondas e termodinâmica: fundamentos de física*. [S.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2016. Citado 5 vezes nas páginas 36, 39, 41, 46 e 52.
- 59 YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física II, Sears e Zemansky: Termodinâmica e ondas*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Pearson, 2016. Citado 7 vezes nas páginas 36, 37, 39, 41, 46, 47 e 52.
- 60 DOMINGOS, J. L. C. Uma análise do processo de modelagem computacional aplicada ao ensino de tópicos de mecânica teórica com o uso do software modellus. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 55.
- 61 CAINELLI, W. P. O uso da modelagem computacional para o ensino de oscilações e ressonância por meio do software modellus. In: *XVIII FÓRUM DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 41.
- 62 FRANCISCO, L. S. et al. Ondas mecânicas transversais: uma aplicação com simulações computacionais no ensino médio. Universidade Estadual da Paraíba, 2012. Citado na página 46.
- 63 CHIQUITO, A. J.; RAMOS, A. C. A. Batimentos e ressonância de diapasões analisados usando um osciloscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 27, p. 219–223, 2005. Citado na página 46.
- 64 SILVA, W. P. da et al. Um software para experimentos sobre batimento de ondas sonoras. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 21, n. 1, p. 103–110, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 52.
- 65 SILVA, S. R. X. da; BARRETO, L. P. Desenvolvimento de um laboratório virtual para ensino de física em cursos de engenharia através de physlets. In: *Anais: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. Blumenau: FURB. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 56.

Apêndices

.1 Como funciona o *Modellus*

Ao finalizar a instalação, o usuário poderá começar a utilizar o programa. A Figura 25 mostra a interface inicial do *Modellus X*, que apresenta as abas e as janelas: Modelo Matemático, Gráfico, Tabela e Notas.

Figura 25 – Interface do *Modellus X*



Fonte: Print do *software Modellus*

A janela “Modelo Matemático”, Figura 3-a, é o local onde o usuário deve inserir as equações que descrevem o comportamento do fenômeno em questão. Nesta janela, o usuário pode criar o modelo matemático do sistema que deseja visualizar e interagir com as variáveis, alterando seus valores e analisando o comportamento do fenômeno. Nesta janela, as equações matemáticas do modelo podem ser escritas da maneira usual e até mesmo extenso. Por exemplo, a equação

$$x = A \cdot \cos(wt + \phi) \quad (1)$$

pode ser escrita como

$$\text{deslocamento} = \text{amplitude} * \cos(\text{frequencia_angular} * \text{tempo} + \text{angulo_da_fase}) \quad (2)$$

ou ainda como

$$x = A * \cos(w * t + \phi) \quad (3)$$

Deve ser levado em consideração na escrita por extenso, que o *software* não aceita o algarismo ζ , devendo este ser substituído na escrita do modelo por c . O sinal gráfico Til (~) também não é aceito pelo *Modellus*. Caso necessite inserir algum símbolo, ou letra grega, convém ao usuário escrevê-la por extenso, como exemplo, a letra grega ϕ deverá ser escrita nesta janela como “phi”, ou ainda como “angulo_da_fase”. A Figura 26 apresenta a janela “Modelo Matemático” com a equação escrita por extenso, juntamente com o campo parâmetros disponível para edição.

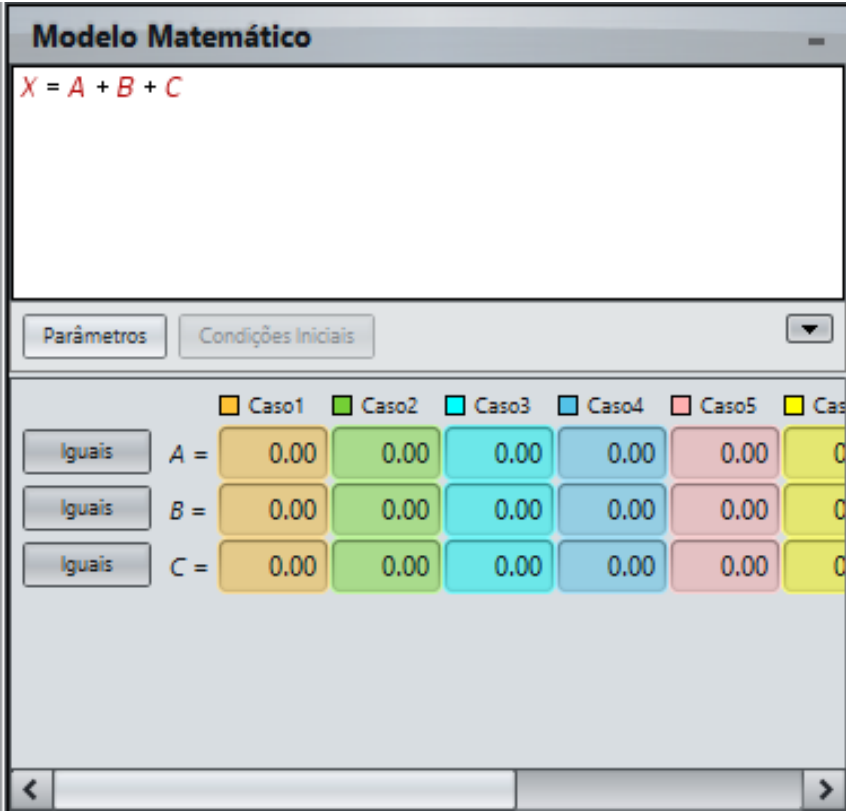
Figura 26 – *Print* da janela Modelo Matemático com a equação 2

	Caso1	Caso2	Caso3	Caso4	Caso5	Caso6	Caso7	Caso8	Caso9	Caso10
amplitude =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
frequencia_angular =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
tempo =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
angulo_da_fase =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Print do *software Modellus*

Ao inserir uma equação na janela “Modelo Matemático” o campo “Parâmetros”, Figura 27, estará disponível para edição. Neste campo, o operador deverá inserir os valores dos parâmetros, ou seja, as constantes que aparecem no conjunto de equações que formam o modelo matemático, sem a necessidade de inserir esses valores nas próprias equações do modelo. Além disso, o usuário pode inserir até 10 conjuntos diferentes de parâmetros, sendo que cada um deles corresponde a um caso identificado pelo *software*.

Figura 27 – Janela “Modelo Matemático” com o campo “Parâmetros” na parte inferior



Fonte: Print do *software Modellus*

As tabelas 1 e 2 apresentam alguns atalhos e funções aceitas pelo *software* na escrita do modelo matemático. Note que a grafia de algumas funções pode ser diferente da grafia usual encontrada nos livros, a função *seno*, por exemplo, deve ser escrita como *sin*.

Tabela 1 – Comandos utilizados para inserir equações no *Modellus*

Comando	Resultado
^	Expoente
* ou Espaço	Multiplicação
-	Subtração
+	Adição
/ (do teclado numérico)	Divisão
=	Igual
pi	π
e	Exponencial
sqrt() ou <i>shift</i> + 3	Raiz Quadrada
<i>shift</i> + 4	Taxa de Variação (Derivada)
<i>shift</i> + 5	Delta

Tabela 2 – Comando para inserir funções no *Modellus*

Comando	função
sin	Seno
cos	Cosseno
tan	Tangente
sec	Secante
arcsin	Arco Seno
arccos	Arco Cosseno
arctan	arco Tangente
ln	Logaritmo Natural
log	Logaritmo na base 10
sinh	Seno Hiperbólico
cosh	Cosseno Hiperbólico
tanh	tangente Hiperbólica
fact	Fatorial

A janela “Gráfico”, Figura 3-b, apresenta, de forma visual, o comportamento das variáveis modeladas ao longo do tempo, fornecendo informações de maneira intuitiva e permitindo que o usuário analise os padrões e comportamentos do modelo matemático inserido. Esta janela oferece uma relação entre as variáveis simuladas que podem ser previamente escolhidas pelo operador no desenvolver da simulação, além de ter sua escala alterável arrastando o ponteiro do *mouse* sobre o eixo desejado.

A janela “Tabela”, Figura 3-c, por sua vez, apresenta em números todos os resultados obtidos pelo modelo em diferentes instantes de tempo, sendo fundamental para a resolução de problemas, uma vez que exibe os valores das variáveis ao longo da simulação. Nesta janela, é possível selecionar quais e quantas variáveis devem ser exibidas na tabela, além de escolher o intervalo entre cada medição.

Já a janela “Notas”, Figura 3-d, pode ser utilizada para anotações, registros de questões e resultados encontrados, tornando-se uma excelente ferramenta para inserir informações adicionais sobre a simulação. Esta janela também permite a utilização de atalhos para facilitar seu uso, podendo o usuário copiar o texto de outro lugar e colar na janela. A tabela 3 apresenta alguns desses comandos e seu respectivo resultado.

Tabela 3 – Comandos aceitos pelo *Modellus* na janela “Notas”

Comando	função
Ctrl + c	Copiar
Ctrl + v	Colar
Ctrl + x	Recortar

Todas as janelas possuem tamanho alterável, sendo necessário somente arrastar o ponteiro do *mouse* até o canto da aba e arrastar até o tamanho desejado. Pode-se ainda minimizar todas

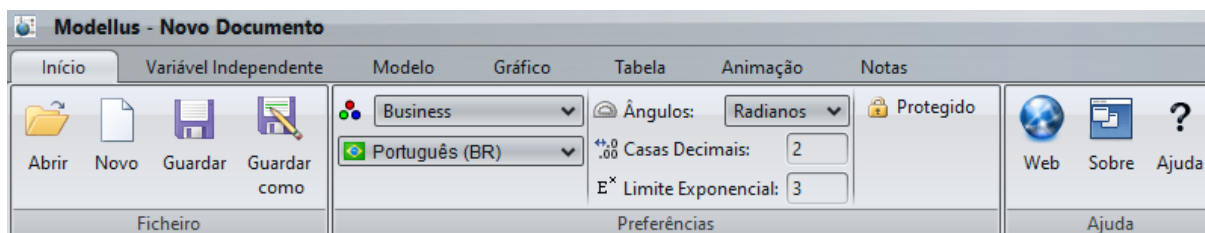
as janelas, deixando a pagina de fundo *software* em branco e liberando mais espaço para a visualização do fenômeno modelado, para isso, basta clicar no ícone (-) no canto superior esquerdo de cada janela.

Na aba “Início”, Figura 28, o usuário poderá alterar o idioma do programa, podendo escolher entre 13 idiomas distintos, a cor da interface do *software* e também a unidade de medida de ângulo, com o programa disponibilizando ao usuário as medidas em graus e radianos. O ícone “Guardar” é utilizado para salvar uma simulação já montada pelo usuário na extensão *.modellus* que pode ser aberta novamente para edição, já o ícone “Guardar como” permite salvar uma simulação na mesma extensão mas em uma pasta diferente. O ícone “Novo” permite a criação de uma nova simulação sem a necessidade de abrir novamente o programa ou apagar as equações inseridas no modelo matemático.

Ainda nesta aba, encontra-se o ícone “Protegido”, através dele, a simulação montada pode ser salva criptografada e só poderá ser modificada por usuários que tiverem acesso a senha previamente cadastrada. O campo “Casas Decimais” é utilizado para definir o número de casas decimais que irão aparecer nos valores exibidos pelo programa no Gráfico e na Tabela. Já o campo “Limite Exponencial” é utilizado para definir a partir de quantas casas decimais o programa começará a adotar o uso de uma notação exponencial. Por fim, clicando no ícone “Web”, o programa redirecionará o usuário para a página do *software* na *web*, no ícone “Sobre”, será apresentada a versão atual do programa utilizada pelo usuário, e clicando no ícone “Ajuda”, será mostrado um guia rápido sobre algumas das funções disponíveis nesta versão.

Além disso, uma diversidade de simulações prontas podem ser encontradas na *web*¹ e salvas no computador do usuário, que poderá utilizá-las em seu *software* através do comando “Abrir”.

Figura 28 – Aba “Início”



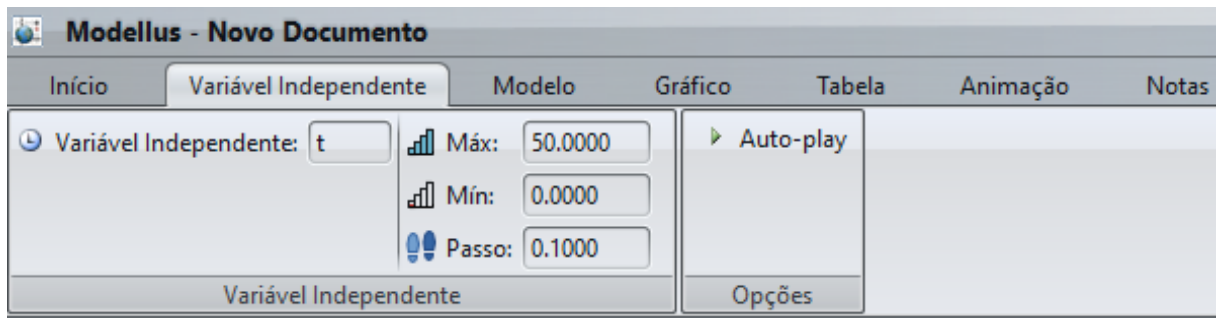
Fonte: Print do *software Modellus*

Através da aba “Variável Independente”, Figura 29, o usuário poderá definir qual será a variável a ser controlada a fim de que se observe as alterações sofridas pelas demais variáveis ao longo do tempo. Por padrão, o *Modellus* define o tempo representado por t como a variável independente. O campo “Máx” determina o tempo de duração da simulação, o campo “Mín”

¹O diretório a seguir apresenta diversos modelos criados e de autoria de Albino Rafael que podem ser baixadas e abertas no *Modellus X* <<https://fisicanalixa.blogspot.com/2012/08/modellus-x.html>>.

determina o tempo de começo da simulação, se inserirmos o valor 2 neste campo, por exemplo, a simulação começará no instante igual a 2, com a Tabela passando a exibir seus valores a partir deste instante. No campo “Passo” pode-se definir o intervalo de tempo em que cada cálculo será realizado pelo *software* no decorrer da simulação, para cada intervalo de tempo o *Modellus* retornará um calculo diferente na janela “Gráfico” e “Tabela”.

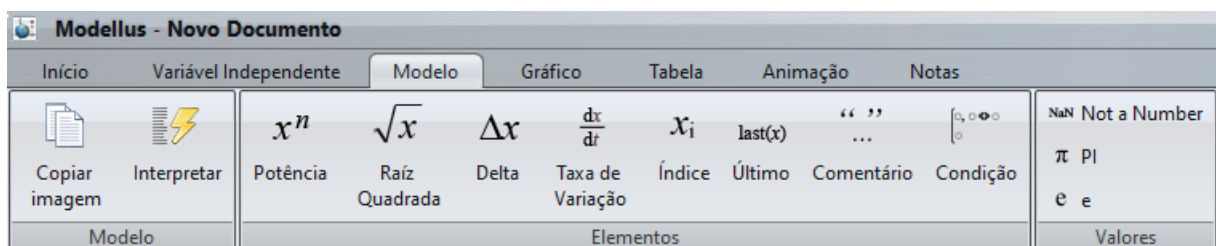
Figura 29 – Aba “Variável Independente”



Fonte: Print do *software Modellus*

A aba “Modelo”, Figura 30, apresenta diversas ferramentas matemáticas que podem ser utilizadas para montar o modelo matemático escolhido. A primeira função a ser destacada é a opção “Copiar Imagem”, que permite ao usuário fazer uma cópia das equações escritas no modelo matemático na área de transferência do usuário. O ícone “Interpretar” é usado para verificar se o modelo matemático inserido está correto ou se precisa de alterações, outra forma de obter essa resposta é clicando com o botão esquerdo fora da janela “Modelo Matemático”. Pode-se ainda inserir potências, raiz quadrada, delta, derivadas ou taxa de variação e um índice na forma de subscrito através de seus respectivos ícones. O ícone “Last(x)” é utilizado para ler o último valor de uma variável, já o ícone “Comentário” permite ao usuário escrever alguma informação ou nota no modelo matemático sem que o programa entenda como parte do modelo, através do ícone “Condição” pode-se delimitar o domínio das funções matemáticas inseridas no modelo. Por fim pode-se inserir mecanicamente o número pi e a função exponencial através de seus respectivos ícones π e e , o ícone “Not a Number” é utilizado para indicar que o resultado do cálculo é um número inválido ou indefinido.

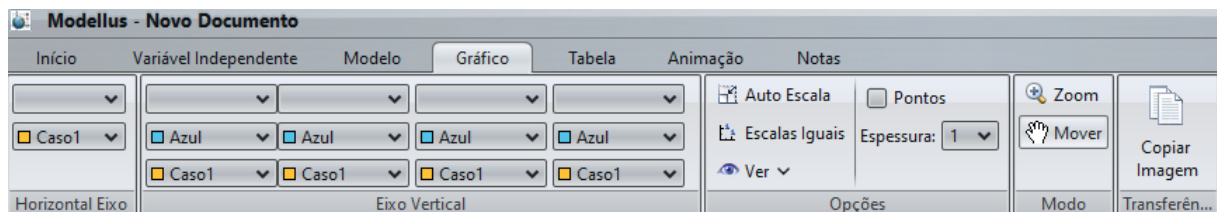
Figura 30 – Aba “Modelo”



Fonte: Print do *software Modellus*

Na aba “Gráfico”, Figura 31, o usuário pode configurar as variáveis exibidas na janela “Gráfico”. No Eixo Horizontal o *software* adota a variável independente tempo t como padrão, mas pode ser alterada. No eixo vertical, o usuário pode escolher quais variáveis serão exibidas no gráfico. Além disso, o usuário poderá selecionar a opção “Pontos” para que a curva exibida fique pontilhada e, através da função “Espessura” e “Copiar Imagem” o usuário pode alterar a espessura da curva e salvar uma imagem em tempo real do gráfico, que ficará disponível na área de transferência do usuário, respectivamente. Utilizando o ícone “Auto escala”, a escala do gráfico acompanhará a simulação e aumentará conforme o modelo evolui com o tempo, já o ícone “Escala igual”, adota uma escala padrão para a visualização do gráfico independente da evolução do fenômeno no tempo.

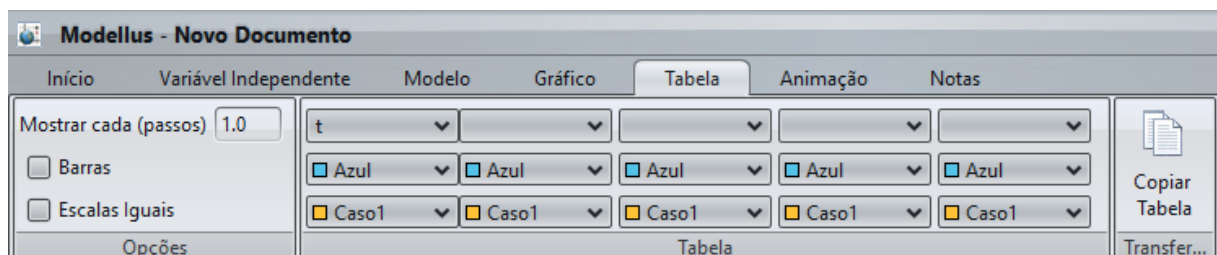
Figura 31 – Aba “Gráfico”



Fonte: Print do *software* Modellus

A aba “Tabela”, mostrada na Figura 32, funciona de maneira semelhante à aba “Gráfico”. Ela exibe os valores dos cálculos realizados em cada “Passo” ao longo da simulação. O usuário pode configurar a tabela inserindo ou excluindo colunas. Utilizando a ferramenta “Copiar Tabela”, o usuário poderá exportar todos os dados para uma planilha.

Figura 32 – Aba “Tabela”



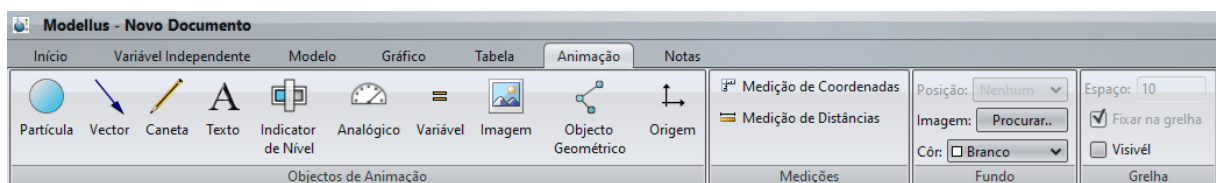
Fonte: Print do *software* Modellus

Na aba “Animação”, Figura 33, o usuário dispõe de diversas opções para personalizar sua simulação. Através da função “Partícula” o usuário pode inserir desde uma imagem disponível no programa até mesmo importar uma de sua máquina. Dentre as diversas ferramentas, destaca-se ainda a função “Vetor”, que indica a direção do movimento, ao selecioná-lo, o usuário poderá selecionar as escalas e as coordenadas, além de selecionar uma variável para seus componentes. Tem-se ainda o ícone “Indicador de Nível” para controlar as variáveis mecanicamente, o ícone “Analogico” para adicionar um medidor analógico, que pode ter seu tipo alterado entre indicador,

transferidor e relógio, o ícone “Objecto Geométrico” que permite inserir retas, segmentos de retas, círculos e pontos e, ao selecioná-lo, o usuário poderá escolher as escalas e as coordenadas, além de selecionar uma variável para seus componentes e a espessura da linha.

Por fim, destaca-se ainda o ícone “Medição de Coordenadas” que permite, partindo de um ponto pré-determinado, medir a coordenada x e y no ponto desejado, já o ícone “Medição de distâncias” permite ao usuário medir a distância de um ponto pré-determinado até outro ponto determinado pelo usuário. A caixa “Visível” é responsável por inserir uma grelha no fundo do *software* deixando o fundo quadriculado.

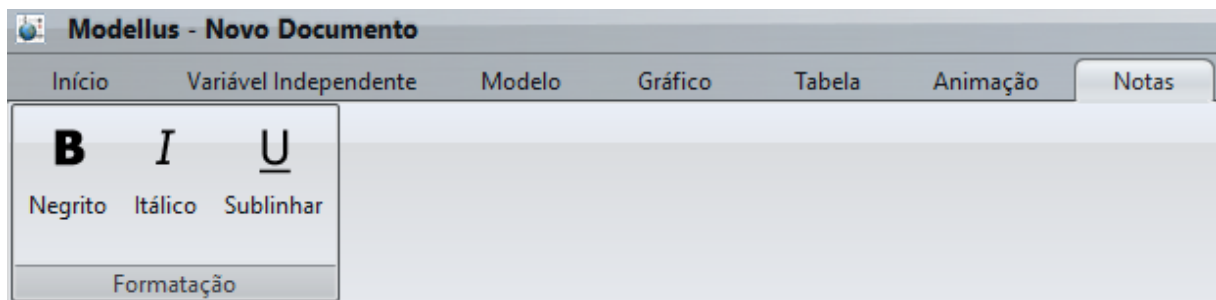
Figura 33 – Aba “Animação”



Fonte: Print do *software Modellus*

Na aba “Notas”, Figura 34, o usuário pode formatar o texto inserido na janela “Notas”, podendo alterar sua fonte para negrito, itálico ou sublinhado.

Figura 34 – Aba “Notas”



Fonte: Print do *software Modellus*

O fundo em branco do *software* é destinado as simulações, ou seja, onde os elementos das simulações são exibidos. Através da função “Cor” e “Imagem”, exibidas mediante um clique com o botão direito do *mouse* no plano de fundo do programa, ou através da aba “Animação”, o usuário pode alterar a cor do plano de fundo do *software* e inserir Figura, respectivamente.