



# INVESTIGAÇÃO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA UTILIZANDO A MODELAGEM COMPUTACIONAL DO MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES COM O SOFTWARE MODELLUS

## INVESTIGATION OF MEANINGFUL LEARNING USING COMPUTATIONAL MODELING OF SIMPLE HARMONIC MOTION WITH THE SOFTWARE MODELLUS

JOERBED DOS SANTOS GONÇALVES<sup>1</sup>, EDSON FIRMINO VIANA DE CARVALHO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Maranhão, Cidade Universitária Dom Delgado, São Luís, MA, CEP 65085-580

---

### Resumo

O uso de softwares educacionais tem se destacado como uma ferramenta eficaz para melhorar a qualidade do ensino, especialmente no contexto da inserção da informática na sala de aula. Neste estudo, investigamos evidências de aprendizagem significativa por meio da modelagem computacional no ensino do Movimento Harmônico Simples (MHS). Para alcançar esse objetivo, desenvolvemos uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) que faz uso do software Modellus, com o propósito de promover a aprendizagem significativa nos alunos. O procedimento metodológico adotado envolveu: 1) identificação dos conhecimentos prévios dos alunos em oscilações; 2) aulas expositivas para consolidar os conceitos relevantes; 3) preparação do material da SEI baseado no organizador prévio de Ausubel; e 4) aplicação da SEI em grupos de alunos em diferentes circunstâncias. Este estudo fundamentou-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e pesquisadores construtivistas, e os resultados indicaram que a metodologia aplicada promoveu uma aprendizagem significativa no ensino do MHS, bem como uma melhora na predisposição dos alunos para aprender. Concluímos que a utilização da SEI e do software Modellus são práticas pedagógicas favoráveis que podem auxiliar no ensino e aprendizagem dos conteúdos de Física, destacando o potencial das tecnologias educacionais para melhorar o processo de ensino e aprendizagem na disciplina.

**Palavras-chave:** Modelagem computacional. Movimento Harmônico Simples. Aprendizagem significativa. Sequência de Ensino Investigativa.

---

---

### Abstract

*The use of educational software has emerged as an effective tool to improve the quality of teaching, especially in the context of integrating informatics into the classroom. In this study, we investigated evidence of meaningful learning through computational modeling in teaching Simple Harmonic Motion (SHM). To achieve this goal, we developed an Investigative Teaching Sequence (ITS) using the Modellus software to promote meaningful learning in students. The methodological procedure involved: 1) identifying students' prior knowledge in oscillations; 2) providing expository lessons to consolidate relevant concepts; 3) preparing the ITS material based on Ausubel's previous organizer; and 4) applying the ITS in student groups under different circumstances. This study was based on Ausubel's theory of meaningful learning and constructivist researchers, and the results indicated that the applied methodology promoted meaningful learning in SHM teaching, as well as an improvement in students' predisposition to learn. We conclude that the use of ITS and Modellus software are favorable pedagogical practices that can assist in the teaching and learning of Physics content, highlighting the potential of educational technologies to enhance the teaching and learning process in the discipline.*

**Keywords:** *Computational modeling. Simple Harmonic Motion. Meaningful learning. Investigative Teaching Sequence.*

---

## I. INTRODUÇÃO

A utilização de softwares educacionais tem sido reconhecida como uma ferramenta promissora no ensino e aprendizagem de diversos conceitos de Física (GONÇALVES, 2018; ARAUJO, 2002). Esses softwares proporcionam uma abordagem interativa e visualmente estimulante, permitindo aos alunos uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos oscilatórios. Diversos estudos, como os realizados por Resnick (1993) e Pastana (2018), têm investigado o uso dessas tecnologias no contexto educacional, destacando sua eficácia em facilitar a compreensão dos princípios fundamentais sobre ondas e oscilações.

Um estudo relevante conduzido por Ramos (2011) explorou o impacto do uso de simulações computacionais no ensino de ondas e oscilações. Os resultados revelaram que os alunos que utilizaram as simulações apresentaram uma compreensão significativamente maior dos conceitos de oscilação em comparação com aqueles que foram expostos a métodos tradicionais de ensino. Este estudo contribui significativamente para a compreensão do papel dos softwares educacionais no aprimoramento do ensino e aprendizagem desses conceitos.

Além disso, o trabalho de Jimoyiannis e Komis (2001) ressaltou a importância das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) no ensino e aprendizagem da Física. Eles destacaram que os softwares educacionais podem proporcionar um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e interativo, estimulando o interesse dos alunos pelo estudo das oscilações.

O estudo de Carvalho (2013) destaca a integração de softwares educacionais, como o Modellus, no ensino de Física sob uma abordagem construtivista. Esses softwares facilitam

uma aprendizagem ativa e significativa, permitindo que os alunos construam seu próprio conhecimento por meio de atividades práticas e interativas. O Modellus se destaca por oferecer uma experiência envolvente e interativa, permitindo aos usuários explorar modelos matemáticos sem exigir conhecimento profundo de programação. Com sua interface amigável e distribuição gratuita na internet (<https://modellus-x.software.informer.com/download/>), o Modellus torna-se acessível a todos os interessados em promover uma aprendizagem mais significativa e envolvente na área da Física (MENDES, 2012).

Em conformidade com os princípios do construtivismo, a aprendizagem significativa demanda que o material de ensino seja lógico e relevante para o aluno (PIAGET, 1970). A introdução da modelagem computacional como elemento lógico e atrativo é fundamental, conforme proposto por Carvalho (2013). Além disso, é crucial que o aluno tenha a oportunidade de construir o conhecimento, o que pode ser iniciado por meio de atividades manipulativas, como experimentos ou jogos.

A busca por uma experiência educacional mais significativa, que envolva os alunos de maneira ativa, relevante e progressiva no processo de construção do conhecimento, evidencia a estreita relação entre a aprendizagem significativa e a aplicação da Sequência de Ensino Investigativa (SEI) (CARVALHO, 2018). A SEI, como um conjunto meticuloso e sequencial de atividades educacionais, é concebida para engajar os alunos em uma investigação ativa e participativa, explorando a interação entre conceitos teóricos e práticos em um fenômeno específico. Além disso, a SEI estimula a troca de ideias e o diálogo entre alunos e professores, mediante discussões científicas e atividades de interação social, proporcionando uma plataforma para os alunos expressarem seus conhecimentos prévios, desenvolverem ideias próprias e compartilhá-las com colegas e professores. Dessa forma, a SEI facilita a progressão do conhecimento dos alunos, permitindo que avancem do conhecimento espontâneo ao científico, e adquiram a capacidade de compreender e aplicar conhecimentos previamente estruturados.

Antes da aplicação da SEI, é fundamental identificar os conhecimentos prévios dos alunos e estabelecer subsunçores relevantes e específicos que sirvam de base para a aprendizagem significativa. Os organizadores prévios, conforme definidos por Ausubel (2003), desempenham um papel crucial ao funcionarem como "pontes cognitivas" entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento a ser adquirido. Essa etapa inicial de identificação e organização dos conhecimentos prévios dos alunos é essencial para garantir uma transição suave e eficaz da aprendizagem espontânea para a aprendizagem científica estruturada durante a implementação da SEI.

## II. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO E PROCEDIMENTO

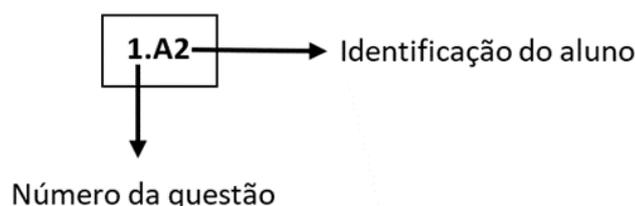
A proposta educativa foi implementada com trinta e três alunos de uma turma da segunda série do Ensino Médio, no turno matutino, em uma escola pública estadual localizada no município de Pinheiro - MA. A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa, com o objetivo de quantificar os dados e generalizar os resultados da amostra para a população-alvo, conforme descrito por Malhotra (2006). Além disso, houve uma análise qualitativa para compreender o fenômeno em sua intensidade, conforme definido por

Appolinário (2006, p. 159).

O estudo foi conduzido como pesquisa-ação, seguindo a definição de Mailhiot (1970), que parte de uma situação social concreta a ser modificada e se inspira constantemente nas transformações e novos elementos que surgem durante o processo de pesquisa.

Para aplicar a SEI, foi fundamental compreender e avaliar as possíveis dificuldades dos alunos em relação aos fenômenos ondulatórios. Foi realizado um questionário contendo nove questões baseadas em conceitos físicos relacionados à frequência, período, força restauradora e amplitude, que são conceitos relacionados ao estudo de oscilações harmônicas simples. Os alunos foram agrupados em equipes de cinco a seis componentes para verificar sua compreensão sobre o tema.

A coleta de dados foi realizada utilizando as respostas do questionário para analisar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo de oscilações. As respostas foram identificadas e transcritas usando códigos específicos, como por exemplo, 1.A1, 4.A2, 6.A3, em que 1, 4 e 6 representam o número da questão e A1, A2, A3 identifica os alunos, conforme ilustra a Figura 1.



**Figura 1:** Representação dos códigos de identificação dos alunos nas respostas do questionário sobre oscilações.

Após essa avaliação inicial, foram conduzidas aulas expositivas e dialogadas, incorporando recursos como quadro negro, pincel, projetor, slides e livro didático. Isso sugere que a abordagem educacional foi projetada para construir sobre o que os alunos já sabiam, facilitando assim a compreensão e a internalização de novos conceitos, conforme proposto por Ausubel (2003), cuja conclusão desta etapa é crucial para promover a ocorrência da aprendizagem significativa.

Com os conhecimentos fundamentais já estabelecidos, avaliamos a aprendizagem significativa dos alunos por meio da SEI em dois diferentes contextos. A avaliação foi baseada na habilidade dos alunos em resolver os problemas apresentados ao longo da sequência de ensino. Na primeira etapa, cinco questões foram propostas sem o uso de qualquer software. Em uma segunda fase, repetimos o processo, desta vez incluindo a modelagem computacional que simulou os movimentos do sistema massa-mola, utilizando o software educacional Modellus.

A utilidade do software nesse processo de aprendizagem foi evidenciada pela apresentação da interface gráfica do ambiente de simulação computacional (ver Figura 2), contendo as equações de movimento do sistema massa-mola. Por meio dela, os alunos puderam ajustar os valores da massa e da constante elástica, além de iniciar a simulação para obter informações necessárias para resolver o problema apresentado.

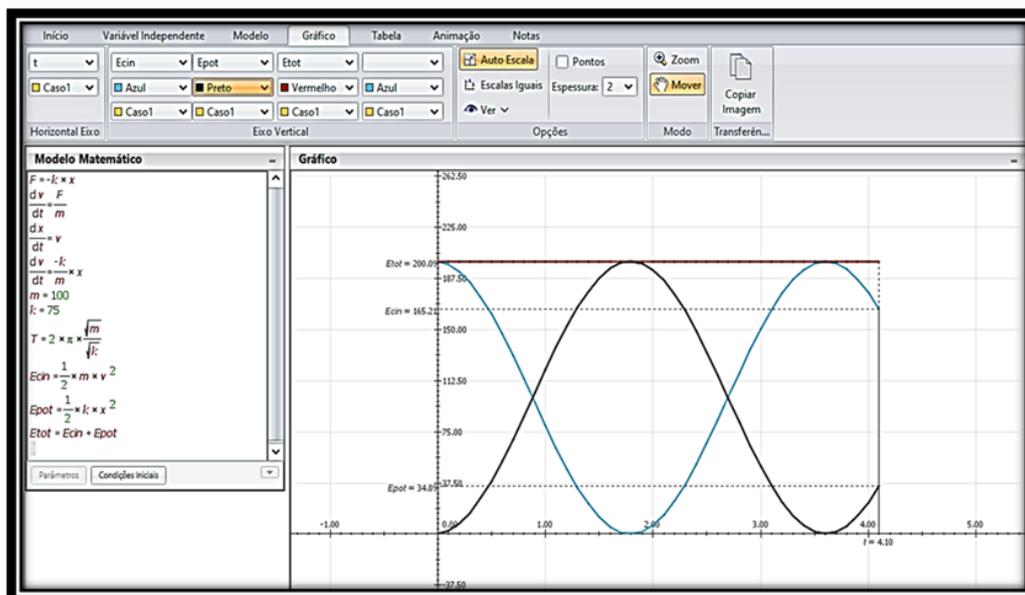


Figura 2: Interface do Modellus para modelagem do Oscilador Harmônico Simples.

A Figura 2 ilustra que no lado esquerdo da interface gráfica estão dispostas as equações referentes ao oscilador harmônico, abrangendo elementos como a força elástica ( $F$ ), a massa ( $m$ ), a velocidade ( $v$ ), a constante elástica ( $k$ ), o período de oscilação ( $T$ ), a energia cinética ( $E_{cin}$ ), a energia potencial elástica ( $E_{pot}$ ) e a energia mecânica total ( $E_{tot}$ ) do sistema. Dentro desse ambiente, os alunos tiveram a oportunidade de modificar os valores da massa e da constante elástica, além de acionar o botão de execução da simulação, com o intuito de obter informações para resolver o problema proposto.

Na barra de ferramentas, foi possível escolher as grandezas físicas desejadas, as quais foram exibidas no centro da interface do software. Essas representações foram acessíveis por meio de gráficos e tabelas.

Os dados da pesquisa foram obtidos por meio da aplicação de questionários para traçar o perfil da turma, identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo de oscilações, verificar a aprendizagem significativa e obter a opinião dos alunos sobre o uso de tecnologias no ensino de Física.

Os resultados do questionário de conhecimentos prévios e da verificação da aprendizagem significativa foram analisados em quatro níveis: acerto total, acerto parcial, erro total e não souberam responder, relacionados com as questões da sequência e fundamentados nos referenciais teóricos estudados.

### III. ANÁLISE DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS EM FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

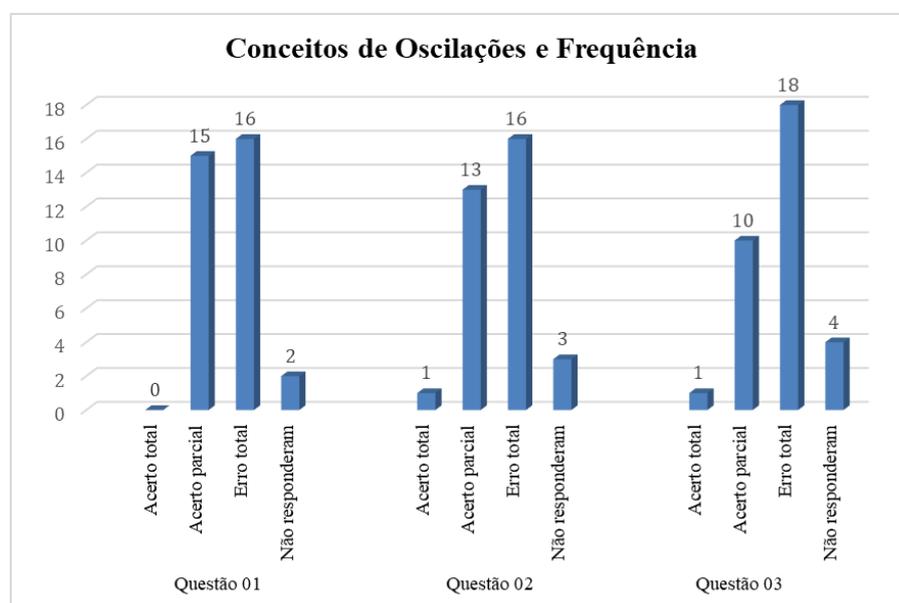
Ao analisarmos os resultados da aplicação do questionário sobre os conhecimentos prévios dos alunos, identificamos a ausência de subsunçores adequados e específicos para o desenvolvimento da SEI. Isso indica que os alunos apresentavam lacunas na aprendizagem que precisavam ser abordadas para avançarmos com a pesquisa. Essa conclusão foi obtida

por meio da análise dos dados de cada questão proposta, conforme detalhado a seguir.

As duas primeiras perguntas do questionário visavam avaliar os conhecimentos prévios dos alunos sobre oscilação: (1) "O que você entende por oscilação?" e (2) "O que significa uma oscilação?" As respostas dos alunos variaram consideravelmente, desde definições vagas até conceitos parcialmente corretos. Por exemplo:

- 1.A1 - "A oscilação é um movimento no corpo de uma pessoa";
- 1.A2 - "A oscilação é o movimento de um corpo suspenso que vai e vem alternadamente pela mesma posição";
- 1.A3 - "A oscilação é uma ferramenta de Física que balança para os lados";
- 2.A4 - "A oscilação significa uma variação de um estado para outro";
- 2.A5 - "A oscilação significa uma movimentação";
- 2.A6 - "A oscilação ocorre quando algo vai e volta repetidamente".

Na representação gráfica apresentada na Figura 3, é perceptível que nenhum aluno conseguiu responder completamente à primeira pergunta, e os acertos parciais foram escassos. Quanto à segunda questão, apenas uma resposta foi considerada totalmente adequada, enquanto as demais apresentaram uma variação entre erros significativos e respostas parcialmente corretas, sugerindo uma compreensão superficial do conceito por parte dos alunos.



**Figura 3:** *Nível de compreensão conceitual sobre o conceito oscilação e frequência.*

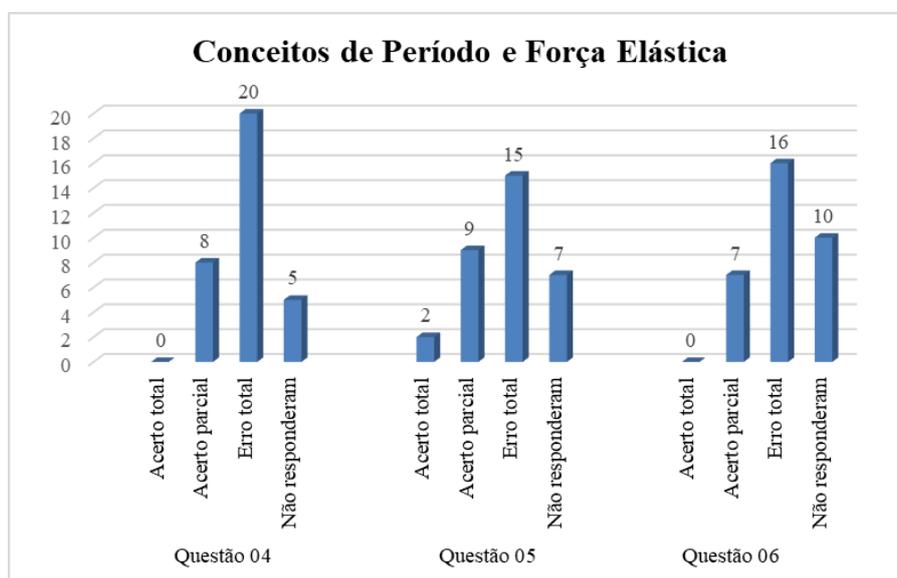
A questão três (Qual sua compreensão sobre o conceito de frequência?) também revelou dificuldades dos alunos em compreender o conceito de frequência. As respostas variaram entre definições imprecisas e uma única resposta que refletia uma compreensão mais próxima do conceito científico. Alguns desses alunos responderam:

- 3.A7 “A frequência é quando uma pessoa frequenta muito os lugares”;
- 3.A8 “A frequência é quando um som continua no mesmo ritmo, ou seja, na mesma frequência”;
- 3.A9 “A frequência é número de vibração por unidade de tempo, em um fenômeno periódico, ou o inverso do período”.

Após analisarmos as respostas à questão 3, constatamos que o aluno A9 responde de acordo com a descrição científica apresentada por Halliday (2016). No entanto, as outras respostas não estão em conformidade com os conceitos físicos discutidos na literatura. Isso sugere a necessidade de aplicar organizadores prévios para facilitar a interação entre os novos conceitos e os já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011, p. 5).

Com base nessas informações, o resultado geral das três questões iniciais foi o seguinte: 2,02% de acerto total; 38,40% de acerto parcial; 50,50% de erro total e 9,08% dos alunos não responderam às questões ou deixaram-nas em branco.

As questões quatro, cinco e seis exploraram os conceitos de frequência, período e força restauradora. As respostas, conforme mostra a Figura 4, indicaram que esses conceitos prévios também não estavam bem consolidados entre os alunos, com muitos oferecendo definições imprecisas ou inadequadas.



**Figura 4:** Respostas dos alunos no questionário referente às questões quatro, cinco e seis, abordando período, frequência e força restauradora, respectivamente.

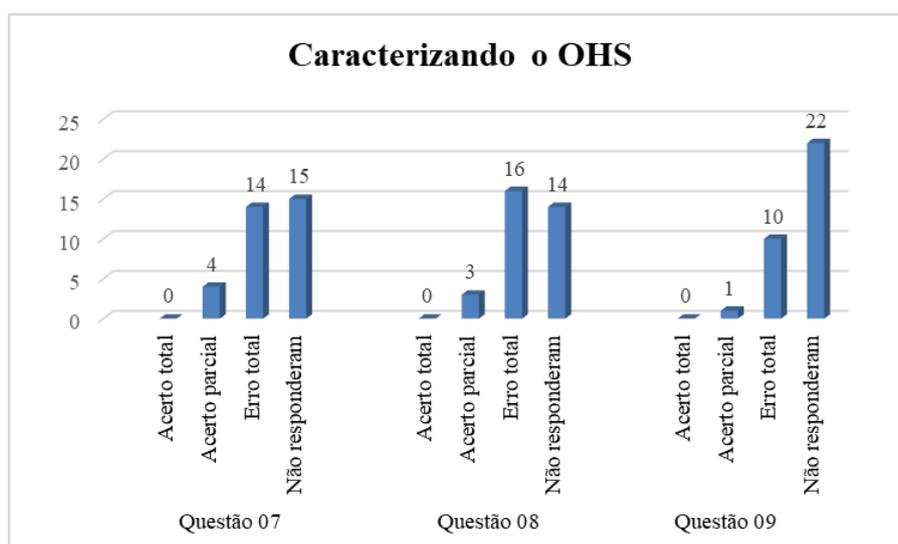
Em relação ao questionamento cinco, embora o percentual de acerto para o significado do período de oscilação não seja satisfatório, destacam-se as respostas dos alunos A14 e A15, consideradas adequadas para o tema proposto. Isso sugere que, mesmo que alguns alunos não tenham compreendido completamente o conceito, ainda assim houve evidências

de entendimento correto por parte de alguns estudantes. Essa situação indica uma heterogeneidade de compreensão entre os alunos e aponta para a necessidade de reforçar o ensino desse conceito para melhorar a compreensão geral da turma.

De posse dos resultados pouco expressivos na Figura acima, Moreira (2021, p. 4) orienta que

É muito mais útil desenvolver atividades iniciais que levem os alunos a externalizarem seus conhecimentos prévios certos ou errados ou mesmo a ausência deles. Atividades desse tipo podem incluir mapas mentais, mapas conceituais, tarefas em pequenos grupos, discussões a partir de vídeos ou textos, tecnologias digitais de informação e comunicação. Sejam quais forem, o importante é que os alunos externalizem seus conhecimentos prévios.

Ao considerar os resultados das questões sete, oito e nove, que abordaram a amplitude, a oscilação de um sistema massa-mola e o significado de um oscilador harmônico simples, observamos uma tendência semelhante. A maioria dos alunos não conseguiu oferecer respostas corretas ou coerentes com os conceitos físicos, conforme destaca a Figura 5.



**Figura 5:** Identificação dos conceitos e grandezas físicas do oscilador harmônico simples e seus significados.

Apesar das respostas ao questionário prévio estarem abaixo do esperado, Lemke (1997, p. 105) nos informa que

ao ensinar ciência, ou qualquer matéria, não queremos que os alunos simplesmente repitam as palavras como papagaios. Queremos que sejam capazes de construir significados essenciais com suas próprias palavras (...) mas estas devem expressar os mesmos significados essenciais se não de ser cientificamente aceitáveis.

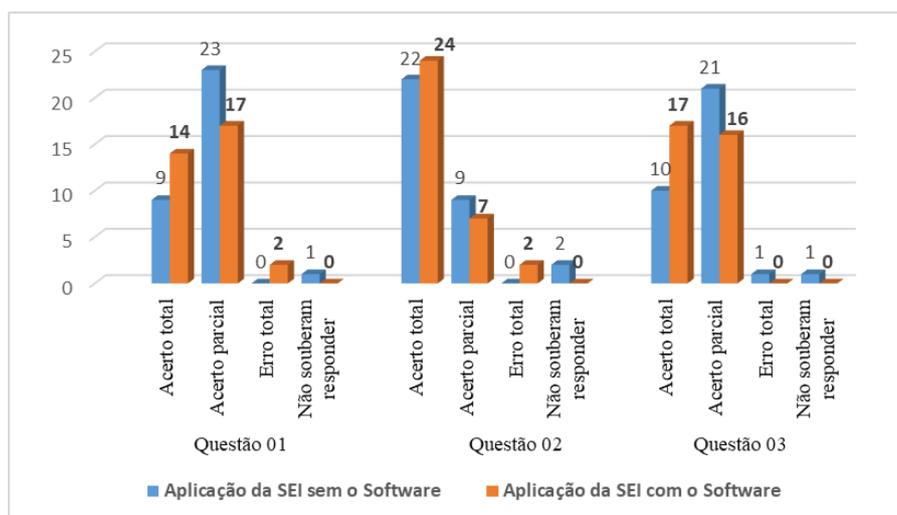
A falta de respostas corretas ou coerentes dos alunos em relação aos conceitos físicos no questionário prévio sugerem a necessidade de abordagens pedagógicas que ajudem os alunos a reconstruir ou reorganizar seu conhecimento prévio de forma a facilitar a aprendizagem significativa dos conceitos físicos propostos.

#### IV. VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Seguindo a proposição metodológica deste trabalho, analisaremos os resultados da aplicação da SEI, tanto com quanto sem o uso do software Modellus para modelagem computacional.

Na aplicação da SEI sem o uso do software, os alunos responderam a questões sobre os conceitos básicos do oscilador harmônico. Os resultados indicam que a segunda questão obteve um acerto total de 66,67%, enquanto as porcentagens de acertos totais para a primeira e terceira questões foram de 27,27% e 33,30%, respectivamente. A média percentual de acertos nas três questões foi de 41,41%, com 53,54% de acertos parciais, 1,01% de erro total e 4,04% de alunos incapazes de responder. Esses dados percentuais estão relacionados com a quantidade de alunos envolvidos na pesquisa, conforme ilustrado na Figura 6.

A análise desses resultados revela um progresso razoável na aprendizagem dos alunos em relação aos conceitos básicos do oscilador harmônico, evidenciando um aumento significativo nos acertos totais em comparação com o questionário sobre conhecimentos prévios. Isso indica que a metodologia utilizada para estabelecer os conhecimentos prévios dos alunos foi bem sucedida. No entanto, os percentuais de acertos permaneceram aquém do esperado para caracterizar uma aprendizagem significativa. Essa constatação está alinhada com os princípios do construtivismo, conforme descrito por Moreira (2021), que ressalta que a aprendizagem significativa é progressiva, ocorrendo gradualmente à medida que os conhecimentos são adquiridos com significado dentro do contexto da matéria de ensino.



**Figura 6:** Resultado de aplicação da SEI antes e depois do uso do software Modellus.

Quando aplicadas as mesmas questões utilizando a modelagem computacional no software, os resultados revelaram-se promissores, conforme ilustrado na Figura 6. Nesse

contexto, houve um aumento significativo no número de acertos totais, o que sugere uma aprendizagem mais eficaz por parte dos alunos. Alguns exemplos de respostas obtidas foram:

- 1. A1 Frequência: é o número de oscilações por unidade de tempo;
- 1.A2 Amplitude de oscilação: é o valor máximo do deslocamento a partir da posição de equilíbrio;
- 1.A3 A frequência representa o número de vezes que a mola oscila por unidade de tempo;
- 1.A4 A amplitude de oscilação corresponde ao deslocamento da mola a partir da origem.

Para facilitar a compreensão desses conceitos no software Modellus, os alunos executaram a simulação na interface gráfica. Em seguida, foram orientados a interpretar o significado do pico da curva gerada e o número de oscilações realizadas na simulação, conforme mostrado na Figura 7. Essa abordagem resultou em uma compreensão mais profunda dos fenômenos em estudo, capacitando-os melhor para a resolução das questões propostas. Este método, destacado por Pontes Neto (2006), enfatiza a importância do papel do professor como mediador, que auxilia os alunos na construção de uma aprendizagem significativa ao organizar o conteúdo de forma lógica e hierárquica, utilizando recursos didáticos apropriados e promovendo a interação entre eles.

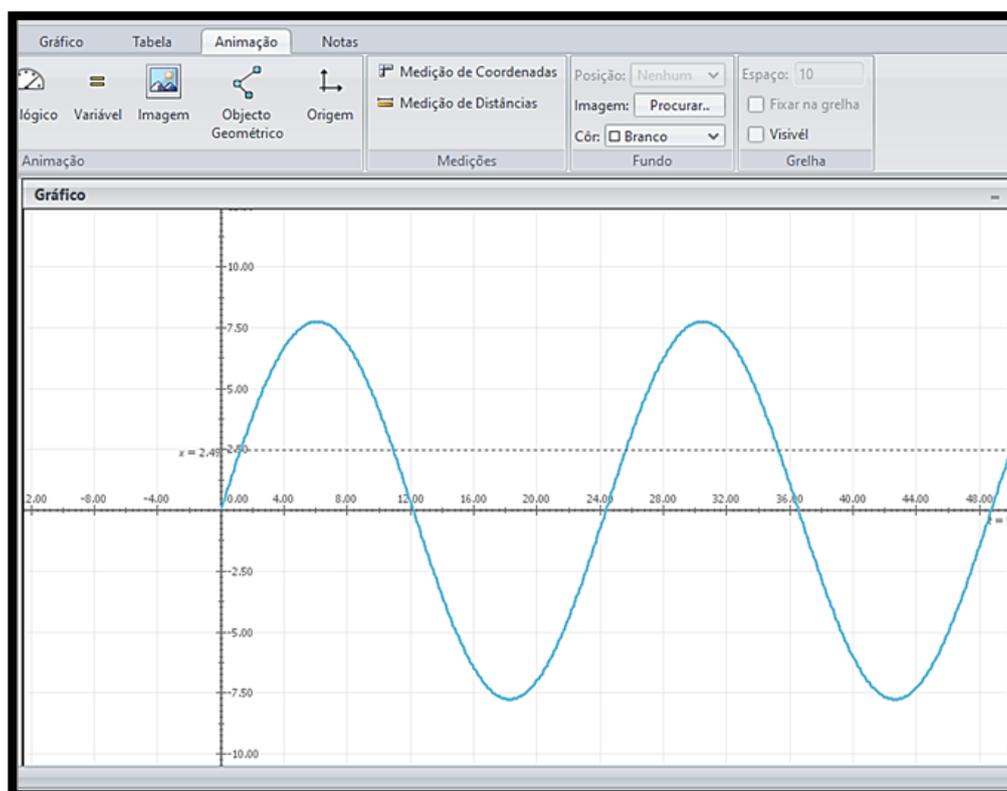


Figura 7: Conceituando frequência e amplitude de oscilação.

Com a simulação já realizada, a segunda questão explorou a relação da constante elástica  $k$  da mola (rigidez da mola) com a frequência e amplitude de oscilação de um veículo. Algumas das respostas dos alunos foram:

- 2.A5 A rigidez das molas determina a frequência e amplitude máxima dos movimentos verticais da suspensão, sendo um elemento determinante do veículo;
- 2.A6 A deformação da mola aumenta conforme a carga imposta, levando a uma variação da característica elástica da mola;
- 2.A7 A rigidez da mola está relacionada com a frequência e amplitude de movimento vertical do veículo;
- 2.A8 Quanto mais rígida a mola, menor é a oscilação do veículo.

A terceira questão visava atribuir significado à constante elástica da mola com base em uma situação problema fundamentada no material da SEI. Alguns alunos responderam:

- 3.A9 As molas acumulam a energia dos impactos da pista sobre a roda de acordo com sua constante elástica, determinando se o veículo é mais voltado para o conforto ou para a dirigibilidade;
- 3.A10 As molas absorvem os impactos dos obstáculos das ruas e facilitam a dirigibilidade dos veículos;
- 3.A11 A energia que as molas absorvem nos impactos depende da rigidez e do comprimento delas;
- 3.A12 Cada tipo de mola funciona de forma diferente e possui características distintas, definindo que tipo de mola será utilizado em determinada categoria de veículos.

Os alunos se empenharam em analisar minuciosamente a estrutura textual da Estrutura de Ensino Interativo (SEI), identificando e relacionando informações relevantes como meio de resolver o problema proposto. Após receberem orientações sobre o uso do software, observou-se uma melhoria substancial nos resultados de acertos totais e parciais. Nesse contexto, 55,56% dos alunos alcançaram acertos totais, enquanto 40,40% obtiveram acertos parciais. É importante destacar que nenhum aluno enfrentou dificuldades para responder às questões propostas após a utilização do software. Esse aspecto positivo decorre da ênfase dada aos conceitos em detrimento das fórmulas; conceitos esses que formam a base da Física e estão fundamentados na compreensão humana. A conceptualização representa o cerne do desenvolvimento cognitivo (MOREIRA, 2021, p. 7).

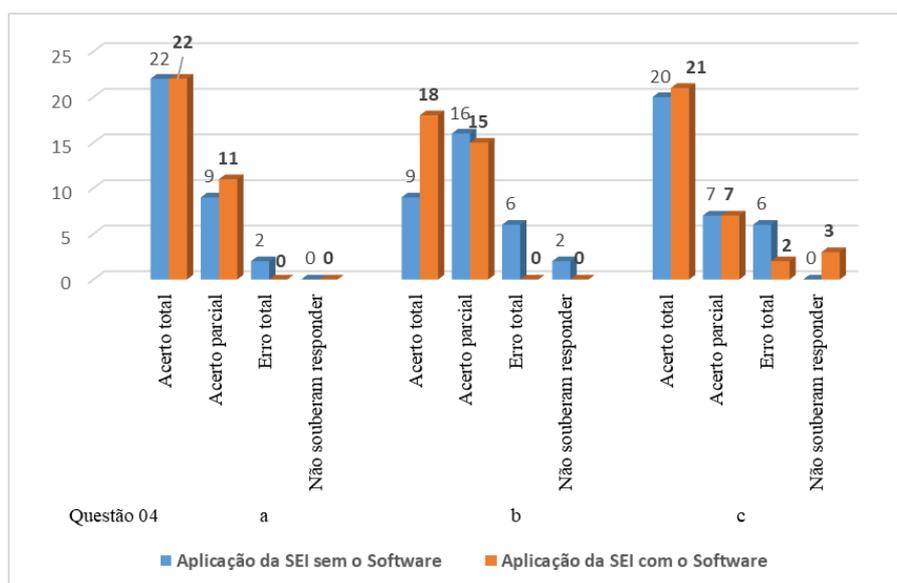
A análise comparativa revelou resultados promissores e eficazes no uso da modelagem computacional como ferramenta educativa na aprendizagem significativa dos alunos. Segundo Ausubel (2003), a importância da repetição ajuda a fortalecer as conexões entre os neurônios cerebrais, enquanto a revisão ajuda a consolidar os conhecimentos na memória de longo prazo.

No segundo conjunto de questões, sem o uso do software, os alunos foram desafiados da seguinte maneira: (4a) "Com base nas informações do texto, qual a força peso que atua

sobre a mola?"; (4b) "Determine a constante elástica da mola" e (4c) "Calcule a amplitude do Movimento Harmônico Simples (MHS) realizado pelo sistema massa-mola".

Essas questões foram planejadas para explorar vários aspectos das grandezas físicas envolvidas no sistema massa-mola, avaliando as habilidades conceituais e de cálculo dos alunos. Após a aplicação, os resultados revelaram uma média de acerto total de 51,52%, com 32,32% de acertos parciais, 14,14% de erro total e 2,02% dos alunos não respondendo ou não compreendendo as perguntas. Estes dados estão representados Figura 8, que ilustra os níveis de acerto por aluno.

Ao analisarmos a quantidade de erros totais e o número de alunos que não conseguiram responder às perguntas, surge uma questão: o que levou os alunos a apresentarem certas dificuldades neste nível de questões? Segundo Pontes Neto (2006), os alunos não internalizaram os significados físicos necessários para alcançar a aprendizagem significativa. De acordo com Ausubel (2003), os alunos foram expostos a uma quantidade de material que exigiu um tempo de aprendizagem relativamente curto, impossibilitando-os de realizar totalmente as tarefas de aprendizagem significativa.



**Figura 8:** Resultado de aplicação da SEI antes e depois do uso do software Modellus.

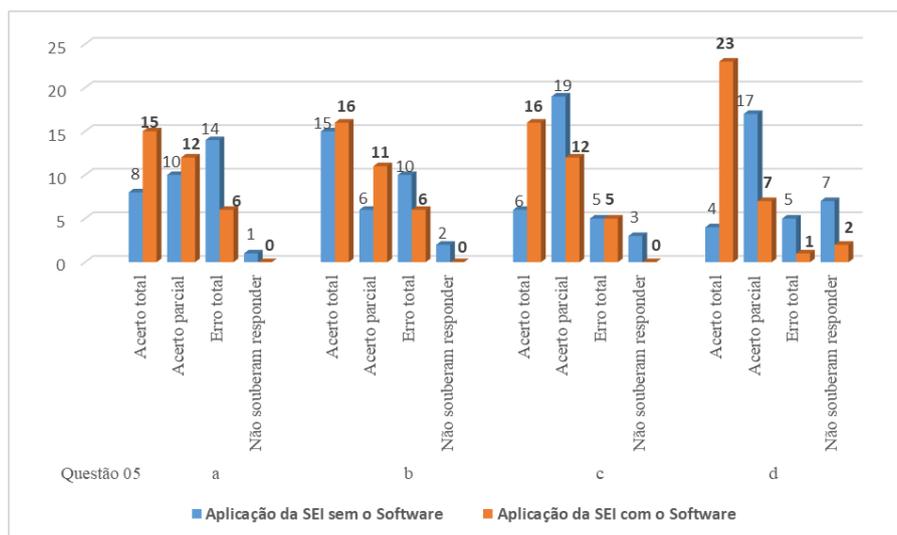
Na Figura 8, é possível observar um aumento no índice de acertos totais para 61,62%, com 33,33% de acertos parciais, 2,02% de erro total e 3,03% de alunos que não responderam à questão (c) proposta. Esses resultados destacam claramente a eficácia da aprendizagem significativa dos alunos ao empregar uma modelagem computacional adequada para assimilar novos conceitos físicos.

Essa abordagem na aprendizagem dos alunos utilizando ferramentas tecnológicas reflete o que Moreira (2021) enfatiza: "Em vez de simplesmente 'achar' uma fórmula para resolver uma situação-problema, por que não construir um modelo computacional para essa situação-problema?". Por outro lado, Pontes Neto (2006) destaca que a aprendizagem envolve estratégias que incluem ações mentais e comportamentais, proporcionando aos alunos as condições necessárias para alcançar um melhor desempenho nas atividades escolares.

No terceiro e último bloco de questões, os alunos foram investigados com foco na compreensão dos conceitos abordados. Foram apresentadas questões como: (5a) "Como o período de oscilações está relacionado à amplitude?"; (5b) "Calcule o período (T) e a frequência (f) de oscilação do sistema"; (5c) "Quais fatores podem causar alterações no período de oscilação do sistema massa-mola?"; e (5d) "Desenhe um diagrama representando as energias cinética, potencial elástica e mecânica do sistema massa-mola, explicando suas variações."

Os alunos responderam a essas questões sem utilizar o software, e os resultados são apresentados Figura 9. Uma análise percentual dos dados revela que 25,10% dos alunos responderam corretamente a todas as questões, enquanto 39,30% obtiveram respostas parciais. Por outro lado, 25,75% cometeram erros e 9,85% não responderam ou não compreenderam completamente as questões. Este índice de erro e o número de alunos com dificuldades para responder às questões são mais elevados em comparação com os blocos anteriores.

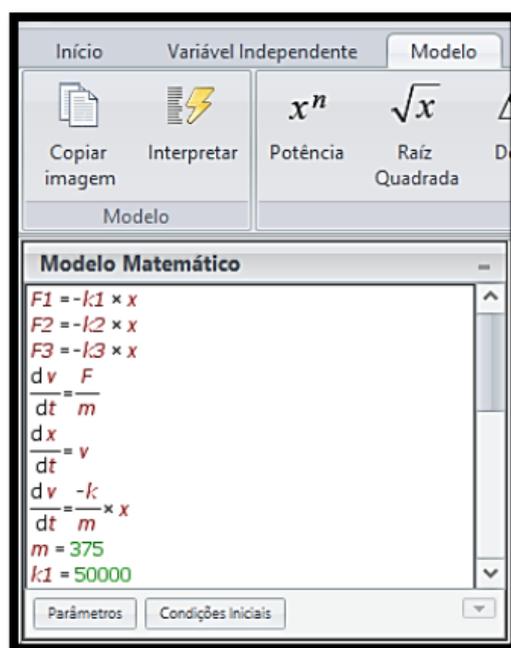
Esses resultados sugerem que muitos alunos enfrentam dificuldades em relacionar as informações apresentadas com seus conhecimentos prévios. De acordo com Moreira (2011), é comum que os alunos tenham dificuldades em transformar seu conhecimento implícito em compreensão explícita; ou seja, nem sempre conseguem interpretar e expressar algo que está subentendido em um fenômeno físico (GONÇALVES, 2018, p. 18).



**Figura 9:** Resultados da aplicação da SEI antes e após a utilização do software Modellus.

Com base no exposto, é notável que os softwares educacionais têm o potencial de desmitificar a suposta "incapacidade" frequentemente associada pelos alunos ao estudo da Física, uma disciplina muitas vezes temida por eles. Nesse contexto, o papel do professor como mediador foi essencial para que os alunos pudessem interpretar, compreender e responder às questões usando o software. Assim, os estudantes foram orientados no uso dessa ferramenta, incluindo dados sobre o modelo matemático que descreve um sistema oscilatório massa-mola, conforme mostra a Figura 10, expandindo, dessa maneira, sua experiência de aprendizado significativo.

Após o ambiente do software ser adequadamente configurado e explicado pelo professor, os estudantes procederam à inserção dos valores das constantes elásticas ( $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$ ). Em



Fonte: Autor da pesquisa, 2018.

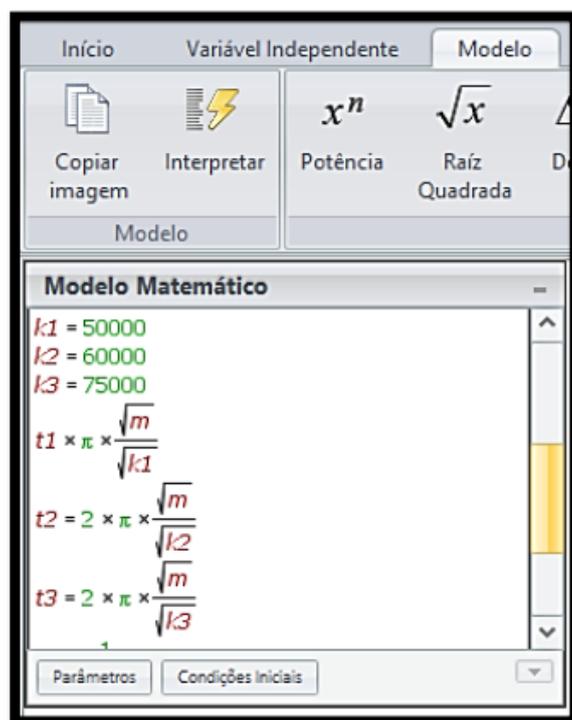
**Figura 10:** À esquerda, as forças que agem no sistema massa-mola; à direita, as informações sobre o período de oscilação do sistema massa-mola.

seguida, selecionaram as variáveis da força elástica ( $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ ) na barra de ferramentas do Modellus, resultando na geração dos gráficos mostrados na Figura 11 por meio da execução da simulação computacional.

A partir desses procedimentos, foi possível observar que o período de oscilação é o mesmo, apesar das amplitudes serem distintas. Assim, o aluno pode dar significado a algo que estava implícito no fenômeno físico proposto, concluindo que o período de oscilação do sistema é independente da amplitude (GONÇALVES, 2018, p. 18).

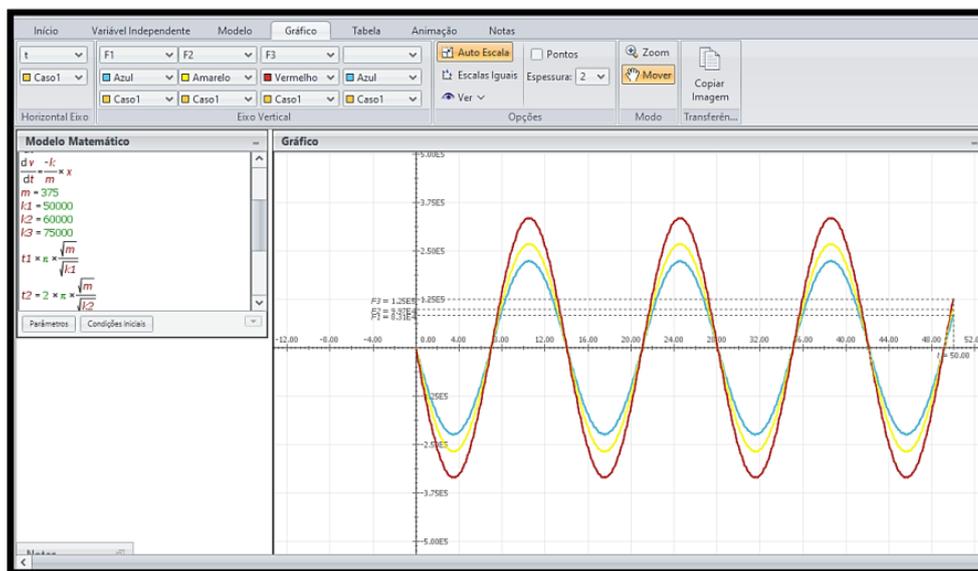
Para responder o questionamento (5b), os alunos foram orientados a inserir os dados no modelo matemático presente no software. O valor da massa acoplada foi de 375 kg e o valor da constante elástica foi de 75.000 N/m, conforme o cálculo previsto na questão (4.b). Após a inserção dos dados no software, foi realizada a simulação e o valor do período correspondente foi revelado como 0,44 s, ao selecionar o botão tabela. Esse resultado está na primeira coluna da Figura 12, obtido por meio de simulação. Para obter o valor da frequência, os alunos foram orientados a calcular o inverso do período, isto é,

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$



Fonte: Autor da pesquisa, 2018.

Figura 11: Gráficos descrevendo o movimento harmônico com período constante.



Fonte: Autor da pesquisa, 2018.

Figura 12: Calculando o período de oscilação do sistema massa-mola do veículo.

Na investigação conduzida no questionamento (5.c), os alunos foram desafiados a

justificar como o período de oscilação do sistema massa-mola poderia ser modificado. Utilizando o conhecimento prévio da equação que define o período de oscilação como base, foram orientados a ajustar os valores da massa ou da constante elástica no software de simulação e, em seguida, a executar a simulação pressionando o botão play na interface do programa.

Após esta etapa, o professor incentivou-os a comparar os resultados obtidos, com o objetivo de compreender as razões pelas quais o período variava de acordo com as alterações nesses parâmetros.

Essa abordagem permitiu que os alunos não apenas observassem os efeitos das mudanças nos parâmetros do sistema, mas também os encorajou a formular hipóteses, tomar decisões e, finalmente, alcançar a conclusão correta em relação ao problema proposto. Isso demonstra uma das características da aprendizagem significativa, como definida por Ausubel (2003): a predisposição para aprender.

Para responder o questionamento (5d), os alunos selecionaram na barra de ferramentas do software as variáveis que representam as energias do sistema massa-mola. Após a seleção das variáveis, foi realizada a simulação, como representado na Figura 13.

$\tau$	$k$	$m$
0.44	7.50E4	375.00

Figura 13: Representação da energia mecânica no sistema massa-mola.

Após a representação das energias do sistema, o professor facilitou uma análise conjunta com os alunos sobre a variação da energia cinética durante o processo de compressão e expansão da mola. Durante essa análise, os alunos utilizaram a interface do software para selecionar as variáveis da energia cinética, destacando sua dinâmica durante a oscilação do sistema. Nesse contexto, foi observado que o ponto mais alto da curva azul correspondia ao

valor máximo da energia cinética, conforme expresso na equação:

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

Indicando que o conjunto massa-mola passa pela origem do sistema. Entretanto, os pontos mínimos dessa curva, representam a energia cinética mínima conforme a mola atingia a compressão total ou expansão máxima.

O mesmo procedimento foi aplicado para analisar a energia potencial elástica, representada por

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2}kx^2 \quad (3)$$

Após a execução da simulação e a obtenção da curva correspondente, os alunos examinaram os valores máximos e mínimos dessa energia. Notou-se uma inversão em relação ao gráfico da energia cinética, indicando que o ponto mais alto desta curva representava o máximo valor de energia potencial, quando a mola atingia a compressão ou expansão máxima. Os valores mínimos de energia potencial ocorriam quando a mola passava pela origem do sistema, conforme ilustra as curvas em amarelo na Figura 13.

Após a utilização do software, houve uma nítida melhoria no desempenho dos alunos. O total de acertos alcançou 53,07%, com 31,82% de acertos parciais, enquanto os erros totais representaram 13,60%. Apenas 1,51% dos alunos demonstraram não compreender ou não souberam responder às questões. Embora o percentual de erros totais tenha sido maior em comparação com os outros blocos de questões, no caso específico da questão cinco, o progresso foi promissor. Antes do uso da ferramenta computacional, essa questão apresentava um percentual de acerto total de apenas 25,75%. O mesmo padrão de melhoria foi observado no percentual de alunos que não souberam responder às questões, antes da aplicação do software.

Sob a perspectiva da aprendizagem significativa de Ausubel, o avanço gradual na compreensão dos alunos é essencial. Ausubel et al. (1980) postulam que, para aprender de forma significativa ou mecânica, o aluno deve estar motivado a fazê-lo. Novak (1999) destaca que essa motivação é uma escolha consciente e voluntária por parte do aluno. Portanto, cabe ao aluno decidir o modo como deseja aprender, o que implica que, além das características do material de estudo e da estrutura cognitiva, há um fator adicional que influencia a aprendizagem significativa.

Após a realização das atividades com os alunos, foi conduzida uma pesquisa de satisfação como proposta de validar a abordagem pedagógica adotada, pois por meio dela é possível observar que os alunos estão percebendo benefícios tangíveis em sua aprendizagem. Os alunos foram questionados: "Na sua opinião, o software Modellus auxiliou na resolução dos problemas propostos na Sequência de Ensino Investigativa (SEI) sobre o tema de oscilações?" Em resposta, 100% dos alunos afirmaram que o software foi extremamente útil na resolução dos problemas propostos, destacando que as aulas foram percebidas como diferenciadas.

Um outro aspecto relevante para os alunos na compreensão de fenômenos físicos é o uso de definições matemáticas na resolução de problemas. Quando questionados sobre esse

aspecto, 81,81% dos alunos relataram que o software facilitou significativamente os cálculos, uma vez que as simulações auxiliaram na justificação dos fenômenos físicos investigados.

Nesse contexto, concordamos com Araújo (2002) ao afirmar que há um interesse natural dos alunos em utilizar os microcomputadores, o que pode influenciar positivamente no processo de aprendizagem significativa.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao adotar uma abordagem metodológica centrada na aprendizagem significativa por meio de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), apoiada por um software educacional, conseguimos estruturar os processos didáticos de forma sequencial e com objetivos bem definidos em relação ao conteúdo apresentado aos alunos. Nossas considerações sobre a utilização da SEI e do software Modellus convergem de maneira positiva, destacando o potencial dessas ferramentas como prática pedagógica capaz de facilitar o ensino e a aprendizagem dos conceitos de Física.

Durante esse processo de aprendizagem, observamos a interação, participação e troca de ideias dos alunos na busca por soluções para os problemas propostos em cada atividade realizada. Isso, sem dúvida, contribuiu para o desenvolvimento do trabalho colaborativo, senso de liderança, autonomia e criatividade entre nosso público-alvo, alinhando-se com os princípios subjacentes à concepção e aplicação da SEI.

Esses resultados positivos foram corroborados pela pesquisa de satisfação realizada com os alunos, na qual 100% deles reconheceram a importância do software como suporte à SEI. Além disso, 60,60% dos participantes afirmaram que a ferramenta contribuiu para sua aprendizagem, 21,22% destacaram a melhoria na compreensão dos conceitos matemáticos, 9,09% relataram uma melhor interpretação gráfica e outros 9,09% ressaltaram a rapidez das soluções proporcionadas pelo software.

Diante do exposto, podemos afirmar que esta investigação evidencia resultados favoráveis à utilização da simulação computacional no contexto da aprendizagem baseada no desenvolvimento de uma SEI. Essa abordagem possibilita que os alunos aprendam de forma mais significativa, contextualizada e interativa, por meio de uma metodologia que integra Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC).

## REFERÊNCIAS

APPOLINÁRIO, F. Metodologia da Ciência: Filosofia e Prática da Pesquisa. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2006.

ARAÚJO, I. Um estudo sobre o desempenho de alunos de Física usuários da ferramenta computacional Modellus na interpretação de gráficos em Cinemática. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre; 2002.

AUSUBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva. Rio de Janeiro, Editora Plátano, 2003.

- AUSUBEL, D.P. Algumas limitações psicológicas e educacionais da aprendizagem por descoberta. In: NELSON, L. N. O ensino: textos escolhidos. Trad. de Joshuah de Bragança Soares. São Paulo: Saraiva, 1980.
- CARVALHO, A. M. P. (Org). Calor e temperatura: um ensino por investigação. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2014.
- CARVALHO, A. M. P.; CUNHA, C. M.; OLIVEIRA, L. P. Revista Ensaio, 20, 3, 445 (2018).
- CARVALHO, P. C. Rev. Bras. Ens. Fís. 35, 3 (2013).
- GONÇALVES, J. S. Softwares educacionais aplicados ao ensino de Física: uma proposta didática para o ensino do oscilador harmônico. São Luís MA. 218 f. [Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/CCET). Universidade Federal do Maranhão. 2018.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R., & WALKER, J. Fundamentos de física. Volume 1: Mecânica, LTC Editora, 2016.
- JIMOYIANNIS, A.; KOMIS, V. Teacher Dev. 5, 1 (2001).
- LEMKE, J. L. Aprendendo a hablar ciencias: linguagem, aprendizagem y valores, Paidós. Barcelona, 1997.
- MAILHIOT, G. Educação e Pesquisa. 4, 1 (1970).
- MALHOTRA, N. K. Pesquisa de Marketing: Uma Orientação Aplicada. Porto Alegre, Bookman, 2006.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo, Centauro, 2011.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, suppl. 1, 2021.
- MENDES, J. F., COSTA, I. F., de SOUSA, C. M. S. G. Rev. Bras. Ens. Fís. 34, 2, 2402 (2012).
- NOVAK, J. D. Notas sobre a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica. Revista Vertentes, UNESP-Assis, p.65-78, 1999
- PASTANA, C. O.; NEIDE, I. G. Rev. Bras. Ens. Fís. 40, 1, 1402 (2018).
- PIAGET, J. Psicologia e pedagogia. Trad. Dirceu A. Lindoso; Rosa M.R. da Silva. Rio de

Janeiro: Forense Universitária, 1970.

PONTES NETO, J. A. DA S. Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas. *Série-Estudos (UCDB)*, v. 21, p. 117-130, 2006.

RAMOS, A. G. *Rev. Bras. Ens. Fís.* 33, 3 (2011).

RESNICK, M.; WILENSKY, U. Beyond the black box: Talk-in-interaction in the computer science classroom. In *Proceedings of the international conference of the learning sciences*. 2, 2, 1993. pp. 169-176.