

Laboratório Virtual Móvel para o Experimento do Pêndulo com uma Abordagem Piagetiana

Delfa Mercedes Huatuco Zuasnábar^{1,2}, Miguel Raymundo Flores Santibanez^{1,2}, Patrícia Fernanda da Silva¹, Raquel Salcedo Gomes¹, José Valdeni de Lima¹

¹Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

²Departamento de Ciência da Computação (DCC) - Universidade Federal de Roraima
Boa Vista, Roraima, Brasil

delfa.zuasnabar@ufr.br, miguel.santibanez@ufr.br, patriciafsilva@ufrgs.br, raquel.salcedo@ufrgs.br, valdeni@inf.ufrgs.br

ABSTRACT

In this study, two groups (control and experimental) of students aged 11 to 15 years were studied to determine the role of mobile virtual laboratories in the development of understanding of Physics concepts, more specifically of the simple pendulum, under the Piagetian approach, with the objective of to observe the formal operational thinking skills of adolescent students, using active learning Ciclo-PODS (Prediction, Observation, Discussion and Synthesis). Both groups received traditional classroom instruction on the simple pendulum; pre- and post-test questionnaires were applied, the experimental group used the mobile virtual laboratory. The results showed that students who interacted with the mobile virtual lab using Ciclo-PODS active learning had higher scores on all cognitive aspects according to Bloom's Taxonomy Revised. Our findings strongly support that mobile virtual labs can be used as a supporting tool in building knowledge in order to help students address their cognitive constraints and develop a deeper understanding of physics concepts.

Key words

mobile virtual laboratory, active learning, cycle-PODS, simple pendulum, physics.

RESUMO

Neste estudo, dois grupos (controle e experimental) de alunos de 11 a 15 anos foram estudados para determinar o papel dos laboratórios virtuais móveis no desenvolvimento da compreensão dos conceitos de Física, mais especificamente do pêndulo simples, sob a abordagem piagetiana, com o objetivo de observar as habilidades do

pensamento operacional formal de alunos adolescentes, utilizando a aprendizagem ativa Ciclo-PODS (Predição, Observação, Discussão e Síntese). Ambos os grupos receberam instrução tradicional em sala de aula sobre o pêndulo simples; foram aplicados questionários pré e pós-teste, o grupo experimental utilizou o laboratório virtual móvel. Os resultados mostraram que os alunos que interagiram com o laboratório virtual móvel utilizando a aprendizagem ativa Ciclo-PODS apresentaram pontuações mais altas em todos os aspectos cognitivos de acordo com a Taxonomia de Bloom Revisada. Nossas descobertas apoiam fortemente que os laboratórios virtuais móveis podem ser usados como uma ferramenta de apoio na construção do conhecimento, a fim de ajudar os alunos a enfrentar suas restrições cognitivas e desenvolver uma compreensão mais aprofundada de conceitos da física.

Palavras Chave

laboratório virtual móvel, aprendizagem ativa, ciclo-PODS, pêndulo simples, física.

ACM Classification Keywords

Applied computing~Interactive learning environments,
Applied computing~E-learning.

INTRODUÇÃO

A tecnologia permite o desenvolvimento de laboratórios virtuais que viabilizam práticas experimentais via simulações que replicam, com alto grau de fidelidade, aquelas realizadas em um laboratório físico tradicional. Os laboratórios virtuais têm por objetivo explorar a natureza da ciência, desenvolver habilidades de trabalho em equipe, cultivar o interesse pela ciência, promover a compreensão conceitual e desenvolver habilidades de investigação, além de oferecer oportunidades de aprendizagem flexível que podem superar barreiras financeiras, de tempo, de espaço e de ritmo, emergindo como uma solução para contextos adversos, como o foi do distanciamento físico necessário devido às condições de emergência impostas pela pandemia COVID-19, por exemplo.

O laboratório virtual móvel é um recurso tecnológico educacional para simulação de fenômenos físicos, como o experimento do pêndulo simples e tem por objetivo dar suporte aos professores que visam inovar em sua

Paste the appropriate copyright/license statement here. ACM now supports three different publication options:

- ACM copyright: ACM holds the copyright on the work. This is the historical approach.
- License: The author(s) retain copyright, but ACM receives an exclusive publication license.
- Open Access: The author(s) wish to pay for the work to be open access. The additional fee must be paid to ACM.

This text field is large enough to hold the appropriate release statement assuming it is single-spaced in Times New Roman 8-point font. Please do not change or modify the size of this text box.

Each submission will be assigned a DOI string to be included here.

abordagem pedagógica, proporcionando a manifestação visual de conceitos abstratos, tornando o experimento lúdico e mais interativo, propiciando rápida repetição dos experimentos, com possibilidade de acompanhar seus processos em ritmo personalizado. Além disso, capacita os alunos a construir a própria aprendizagem por meio de livre exploração, de modo mais autônomo, tomando iniciativas, analisando, sintetizando e avaliando seu conhecimento e compreensão, o que alinha-se ao proposto na teoria construtivista [2].

O principal objetivo deste estudo foi explorar o efeito do uso do laboratório virtual móvel na compreensão conceitual do aluno relacionado ao tópico de pêndulo simples com uma abordagem piagetiana em uma escola de Ensino Médio. Um segundo objetivo foi explorar as percepções do aluno sobre sua aprendizagem utilizando as práticas da aprendizagem ativa ciclo-PODS no laboratório virtual de física. Para tanto, incentivou-se o trabalho em equipe de apoio à aprendizagem e discussão entre pares, focadas em *feedback* e avaliação formativa e em relatórios focados na reflexão. O envolvimento pôde ser fortalecido pelo apoio aos alunos antes e durante os experimentos.

Para nortear o estudo, foram criadas duas perguntas de pesquisa:

1. Qual é o efeito do uso de laboratório virtual móvel na compreensão conceitual do aluno relacionado ao tópico de pêndulo simples?
2. Como os alunos avaliam as práticas da aprendizagem ativa ciclo-PODS em sua aprendizagem de laboratório virtual de Física?

Este artigo descreve as práticas pedagógicas aplicadas ao ensino do pêndulo simples no Ensino Médio. Apresenta-se um laboratório virtual móvel dinâmico e interativo para realizar experiências com o pêndulo simples sob a abordagem piagetiana, utilizando a aprendizagem ativa ciclo-PODS para jovens estudantes entre 11 e 15 anos. O restante do texto está dividido como segue: apresentamos sucintamente o processo de desenvolvimento cognitivo de Jean Piaget (Seção 2); o pêndulo simples (Seção 3); em seguida, destacamos a aprendizagem ativa em Física - Ciclo PODS (Seção 4); na metodologia é apresentando o laboratório virtual móvel interativo para o experimento do pêndulo simples, as sequências metodológica e didática (Seção 5); na análise de dados é realizada uma comparação do número de acertos dos alunos em todos os aspectos cognitivos seguindo a Taxonomia de Bloom Revisada (Seção 6) e, por fim, elencamos as conclusões (Seção 7).

O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE JEAN PIAGET

Para Piaget (1976), o desenvolvimento cognitivo é a mudança radical que experimenta nossa função de pensamento. As crianças se desenvolvem progredindo em sua estrutura cognitiva através de estágios caracterizados por maneiras únicas de compreender o mundo. No estágio

sensorio-motor (de 0 a 2 anos), as crianças pequenas desenvolvem esquemas de coordenação olho-mão e permanência do objeto. O estágio pré-operacional (de 2 a 7 anos) inclui o crescimento do pensamento simbólico, conforme evidenciado pelo incremento no uso da linguagem. No estágio operacional concreto (de 7 a 11 anos), as crianças podem realizar operações básicas, como classificação e ordenação serial de objetos concretos. No estágio operacional formal (de 11 anos à idade adulta), os seres humanos desenvolvem a capacidade de pensar abstrata e metacognitivamente, bem como raciocinar hipoteticamente. Considera-se que este tipo de pensamento é aquele que fundamenta o raciocínio científico e, portanto, aquele que tem permitido o progresso científico e tecnológico da humanidade. Raciocinar bem permite uma melhor adaptação ao mundo, por isso, conhecer a natureza desse pensamento, seus limites e suas potencialidades também é de grande utilidade para o educador [1, 8]. A Figura 1 apresenta os estágios de desenvolvimento cognitivo de Piaget.



Figura 1. Estágio de Desenvolvimento Cognitivo de Piaget

Em geral, o conhecimento dos estágios de Piaget ajuda o professor a entender o desenvolvimento cognitivo da criança à medida que o professor planeja atividades adequadas ao estágio para manter os alunos ativos. Existem quatro fatores que afetam o desenvolvimento cognitivo, eles são maturidade, experiências sociais, interação social e acomodação cognitiva. De acordo com Sequeira [11], é de vital importância determinar o desenvolvimento cognitivo dos alunos no ensino de ciências e outras disciplinas para passar a praticar métodos e estratégias de ensino de qualidade adequadas aos objetivos previstos nos programas de educação no ensino de ciências, de acordo com os níveis de conhecimento dos alunos.

Cada estágio é caracterizado teoricamente por um conjunto de processos cognitivos específicos e empiricamente por um conjunto de tarefas piagetianas para detectar esses processos. Por exemplo, o nível operacional formal é caracterizado por processos mais complexos, como isolamento e controle de variáveis, raciocínio proporcional e lógica proposicional. Os processos característicos de cada nível incorporam e integram processos de nível anterior,

portanto, o desenvolvimento cognitivo progride sequencialmente de um nível para o próximo [13].

O mais alto nível de desenvolvimento cognitivo é a etapa piagetiana das operações formais, na qual os adolescentes desenvolvem a capacidade de pensamento abstrato. Podem pensar em termos do que poderia ser, não só do que é, podem imaginar possibilidades e submeter à prova as hipóteses. No período de pensamento operacional formal da teoria de desenvolvimento cognitivo de Piaget, o aluno pode formar hipóteses sem manipular objetos concretos e testá-las cognitivamente, o aluno está ciente de seus próprios processos de pensamento, critica-os seus próprios pensamentos e testa a correção de seus pensamentos, comparando-os com os critérios das verdades geralmente conhecidas [5].

Uma pessoa desenvolve o raciocínio formal apenas por meio do processo de autorregulação. A autorregulação refere-se ao processo pelo qual o raciocínio de um indivíduo avança de um nível a outro, um avanço que é sempre de um nível menor para um mais integrado e melhor adaptado. Assim, o raciocínio concreto envolvendo inclusão de classe, ordenação serial e conservação sobre objetos, eventos e situações reais é um pré-requisito para o desenvolvimento do raciocínio formal. O processo de autorregulação é aquele em que uma pessoa busca ativamente relacionamentos e padrões para resolver contradições ou trazer coerência a um novo conjunto de experiências [4].

O PÊNDULO SIMPLES

O pêndulo entrou na pesquisa educacional e na psicologia cognitiva com a publicação do livro “O crescimento do pensamento lógico da infância à adolescência” por Bärbel Inhelder e Jean Piaget [5]. O Capítulo Quatro trata sobre as oscilações do pêndulo e as operações de exclusão. O objetivo é que as crianças possam verificar até que ponto elas poderiam isolar e manipular variáveis potenciais (comprimento, peso, impulso, altura) que afetam a periodicidade do pêndulo. Apenas uma das quatro variáveis potenciais têm impacto sobre a duração da oscilação. Realizar a tarefa de isolar e desacoplar (controlar) as variáveis foi visto como uma janela para as estruturas ou capacidades cognitivas da criança e seu sequenciamento de desenvolvimento. As tarefas posteriormente se tornaram um lugar-comum em testes de diagnóstico, sendo rotuladas de ‘Tarefas de raciocínio piagetiano’; por envolver extensivamente a criança, o procedimento do teste foi chamado de ‘*Methodes Cliniques*’ (ou Método Clínico). A conclusão bem-sucedida das tarefas foi vista como indicativo da mudança do pensamento operacional concreto para o formal.

Os subtítulos do capítulo indicam o sequenciamento cognitivo:

Estágio I Não diferenciação entre as ações do sujeito e os movimentos do pêndulo.

Estágio II Sérias e correspondências sem dissociação de fatores.

Estágio IIIa Dissociação possível, mas não espontânea.

Estágio IIIb A dissociação dos fatores e a exclusão dos fatores inoperantes

A experiência do pêndulo pode ser usada para avaliar as capacidades mentais de ordem superior e a habilidade das crianças para raciocinar proporcionalmente, para controlar variáveis, para fazer inferências, para tirar conclusões sobre a verdade de hipóteses dadas certas evidências - em suma, para pensar cientificamente.

Segundo Michael Matthews [7], o estudo do pêndulo permite que os alunos aprendam:

- Conhecimento científico básico, como as leis da queda, as leis do movimento e as leis da conservação do momento e da energia.
- Características essenciais da investigação científica como observação, medição, coleta de dados, controle de variáveis, experimentação, idealização e o uso de várias representações matemáticas.
- Aspectos importantes de como a ciência se inter-relaciona com a sociedade, cultura e tecnologia, conforme se manifesta no uso do pêndulo na marcação do tempo, navegação, padrões de comprimento e assim por diante.

Analisar a influência de distintos fatores implica dissociá-los e examinar a contribuição de cada um deles independente dos outros. Inhelder e Piaget (1976) estudaram o problema da dissociação de fatores através de diversas experiências, detalhadas no livro “Da lógica da criança à lógica do adolescente”. Uma destas experiências é o problema da oscilação do pêndulo, em que os autores procuraram perceber o pensamento formal das crianças através de perguntas que relacionam o período de oscilação do pêndulo com outras grandezas físicas. Para isso, lhes proporcionam pêndulos de pesos distintos que estão atados a fios de comprimentos distintos. Os fatores que se consideram são: a) o comprimento do fio; b) o peso do pêndulo; c) a amplitude da oscilação, é dizer, a altura da qual se solta o pêndulo; e d) o impulso que dá o sujeito ao soltar o pêndulo. Se sabe, porém, que o único fator responsável pela oscilação do pêndulo é o comprimento do fio, enquanto que os outros fatores são irrelevantes.

No problema piagetiano clássico, o problema do pêndulo, a uma criança é mostrado um pêndulo que é um objeto que se pendura em um fio. Após isso, é mostrado como pode trocar qualquer dos fatores: o comprimento do fio, o peso do objeto, a altura a partir da qual é liberado o objeto e a quantidade de força que utiliza para impulsionar o objeto.

Em seguida, pede-se que determine qual fator ou combinação de fatores define a velocidade com que oscila o pêndulo, [1]. A Figura 2 apresenta o problema do pêndulo formado por uma corrente, que pode ser encurtada ou alongada, e um conjunto de pesos diferentes. As outras variáveis que inicialmente poderiam ser consideradas importantes são as seguintes: a altura do ponto em que se solta o peso e a força do impulso dado pelo sujeito.

Para Redisch [9, 3], a criança na etapa pré-operacional enfrenta o desafio por tentativa e erro. Primeiro coloca um peso ligeiro num fio comprido e lhe impulsiona; após isso, trata de oscilar um peso maior com um fio de pequeno comprimento; logo, tira o peso. Devido a que seu método é aleatório não pode chegar a uma conclusão lógica.

Na etapa das operações concretas a criança descobre que mudar o comprimento do fio e o peso do objeto afeta a velocidade da oscilação. No entanto, visto que muda ambos os fatores ao mesmo tempo, não se pode dizer se ambos ou apenas um deles é essencial.

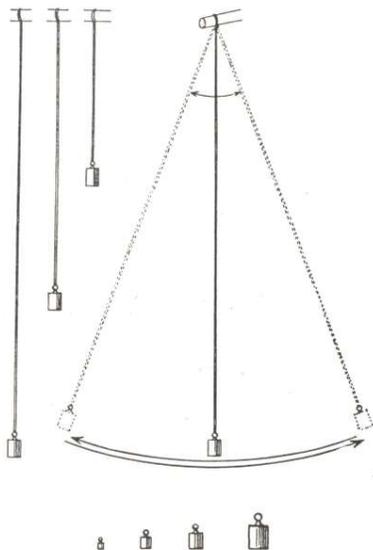


Figura 2. O Pêndulo Simples de Inhelder e Piaget (1976) [5].

Na etapa das operações formais, o adolescente enfrenta o problema de maneira sistemática. Enuncia todas as hipóteses possíveis mudando um fator cada vez (primeiro o comprimento do fio, a continuação o peso do objeto, logo a altura a partir da qual se libera o objeto e, finalmente, a quantidade de força que se utiliza para dar-lhe impulso), mantendo constantes em cada ocasião os outros três fatores. Deste modo, descobre que só um fator, o comprimento do fio, determina a velocidade do pêndulo.

A solução do adolescente mostra que tem a capacidade de raciocínio hipotético dedutivo: pode desenvolver uma hipótese e desenhar um experimento para submetê-la à prova. Considera todas as hipóteses que possa imaginar e as

examina uma a uma para eliminar aquelas que são falsas e chegar à verdadeira.

APRENDIZAGEM ATIVA EM FÍSICA - CICLO PODS

A aprendizagem ativa conecta o aluno com experiências autênticas, baseadas em campo e na prática. Ele se concentra tanto no processo quanto no conteúdo, e busca a interdisciplinaridade e a colaboração. As estratégias de ensino para a aprendizagem ativa incluem discussões em grupo, resolução de problemas, estudos de caso ou grupos de aprendizagem estruturados. Os professores assumem um papel facilitador, ao converter a aprendizagem em um processo autêntico e significativo. A aprendizagem ativa é construída com base na avaliação formativa com reflexão, feedback e apoio, e não na avaliação somativa. Os benefícios relatados são, por exemplo, habilidades aprimoradas de pensamento crítico, maior retenção e transferência de novas informações, maior motivação e habilidades interpessoais aprimoradas [12].

A Organização das Nações Unidas para a Educação (UNESCO) tem apoiado melhorias no processo de ensino-aprendizagem de ciências, nesse sentido tem incentivado o uso da metodologia da aprendizagem ativa em Física, a qual promove a implementação da aprendizagem centrada no aluno tanto no seu raciocínio (“*minds-on*”) como mão na massa (“*hands-on*”), o que pode levar a uma melhoria significativa na aprendizagem dos alunos.

Nesta estratégia de aprendizagem ativa, os alunos constroem seu conhecimento dos conceitos de Física por observação direta do mundo físico. É realizado um ciclo de aprendizagem incluindo previsões, discussões em pequenos grupos, observações e comparações de resultados observados com as previsões [14]. A Figura 3 apresenta o ciclo de aprendizagem ativa PODS que promove nos alunos uma aprendizagem significativa a partir de atividades como a Predição, Observação, Discussão e Síntese.



Figura 3 – Aprendizagem Ativa PODS

A seguir, apresenta-se as atividades realizadas no PODS [12]:

- Os alunos constroem seus conhecimentos de observações mão na massa. As observações reais do mundo físico são as autoridades.
- Usa um ciclo de aprendizagem no qual os alunos são provocados a comparar predições (baseadas em suas crenças) com observações dos experimentos reais.
- As crenças dos alunos mudam quando eles são confrontados pelas diferenças entre suas observações e suas crenças.
- O papel do professor é como um guia no processo de aprendizagem.
- A colaboração com os pares é encorajada.
- Os resultados dos experimentos reais são observados de modo compreensível.
- Trabalho de laboratório é usado para aprender conceitos básicos.

Segundo David Sokoloff e Ronald Thornton [12], as Aulas de Demonstração Interativa (ADI) melhoram a aprendizagem conceitual em aulas expositivas. Foi formalizado um procedimento para as ADI com o objetivo de engajar os alunos no processo de ensino-aprendizagem e, portanto, converter o ambiente de aulas usualmente passivo para um mais ativo. Este procedimento consiste em oito passos. O envolvimento dos alunos no entendimento destas demonstrações conceituais simples é obviamente constatado das observações em sala de aula. Mesmo em uma sala de aula numerosa, muitos alunos fazem suas predições individuais atentamente (passo 2), e participam ativamente do pequeno grupo de discussão (passo 3). Entretanto, se for dado tempo em excesso, após o relato das predições, a discussão pode começar a perder-se em assuntos estranhos ao trabalho. De acordo com Sanchez [10], o professor deve observar os alunos cuidadosamente, e escolher um tempo apropriado para ir para o próximo passo.

Procedimento das Aulas ADI

1. Os alunos devem anotar suas predições individuais na Folha de Predições, a qual será recolhida ao final da aula e onde o aluno deve colocar seu nome. Deve-se assegurar aos alunos que estas predições não serão avaliadas, embora uma parte da nota final da disciplina possa ser atribuída pela presença e participação nas aulas interativas demonstrativas.
2. Os alunos discutem suas predições em pequenos grupos com dois ou três alunos.
3. O professor extrai as predições comuns dos alunos da sala.
4. Os alunos registram suas predições finais na Folha de Predição.
5. O professor realiza a demonstração mostrando claramente os resultados.
6. Solicita-se a alguns alunos que descrevam os resultados, os discutam no contexto da demonstração, anotem estes

resultados na Folha de Resultado, a qual fica com os alunos para estudos posteriores.

7. Os alunos (ou professor) discutem situação(ões) física(s) análoga(s) com aspectos “aparentemente” diferentes. (isto é, situação(ões) física(s) diferente(s) baseada(s) no(s) mesmo(s) conceito(s).)

METODOLOGIA

Esta pesquisa quase experimental com desenho de grupo controle pré-teste e pós-teste foi realizada em uma escola de Porto Alegre-RS no componente curricular de Física, no ano letivo de 2021. A amostra foi escolhida pela técnica de amostragem intencional, totalizando 57 amostras distribuídas em grupo experimentais 26 e controle 31. O grupo experimental recebeu um tratamento de aprendizagem com o uso do laboratório virtual móvel e as tarefas baseadas na aprendizagem ativa ciclo-PODS, conforme descrito acima, enquanto o grupo controle recebeu o tratamento de aprendizagem convencional. O laboratório virtual móvel aplicado ao tópico de pêndulo simples com as práticas da aprendizagem ativa ciclo-PODS. Foram realizadas 2 sessões de 60 minutos cada.

Laboratório Virtual Móvel: Pêndulo

Este laboratório virtual móvel sobre o pêndulo foi desenvolvido durante a disciplina Software Educacional para Dispositivos Móveis, no Programa de Pós-Graduação da UFRGS com auxílio do App inventor [16] tendo em conta o ciclo de vida de desenvolvimento de laboratórios virtuais móveis como mostrado na Figura 4:

- **Concepção:** Criação da ideia do laboratório virtual móvel.
- **Desenvolvimento:** Codificar o programa tendo em conta os recursos de software e hardware e
- **Teste:** Realizar os testes dos componentes implementados nos dispositivos a serem utilizados.



Figura 4. Ciclo de Vida do Desenvolvimento do Laboratório Virtual Móvel

A Figura 5 apresenta a interface do laboratório virtual móvel, na parte superior, o desenho de um pêndulo e os parâmetros, os *sliders* para manipular os valores de forma individual e/ou conjunta (dois ou mais parâmetros), realizar

os cálculos e verificar o resultado, a cada nova tentativa, pode-se limpar os valores calculados. A seguir apresenta-se uma sequência metodológica que guia o trabalho docente, considerando os conhecimentos prévios, a reflexão, observação, as atividades em grupo, atividades de síntese para alcançar os propósitos desejados em uma situação didática.

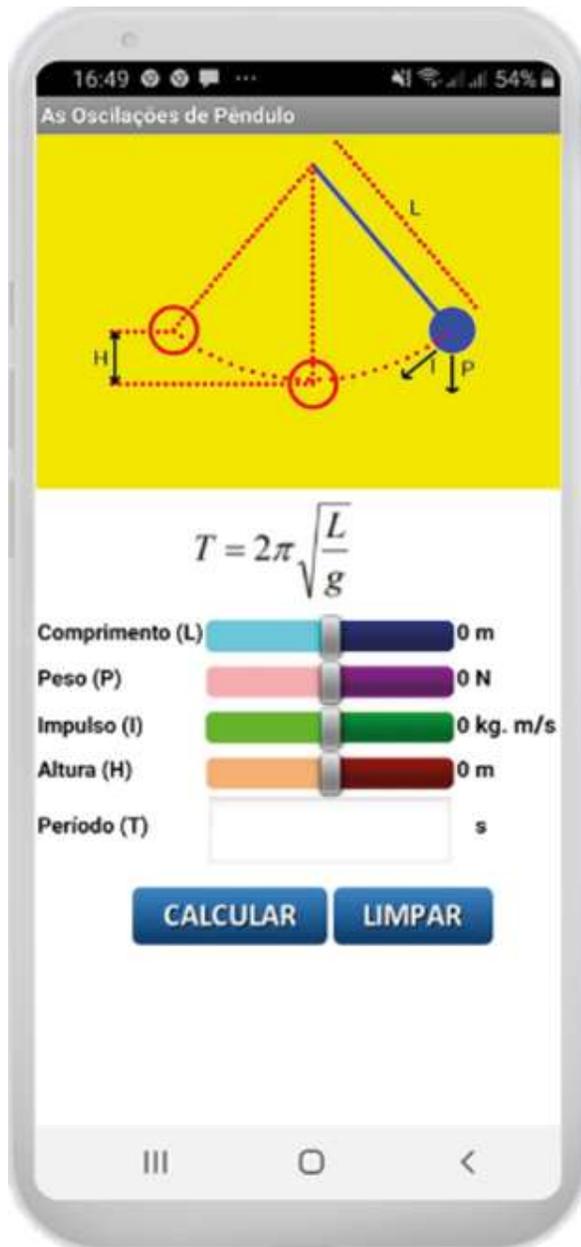


Figura 5 – Interface do Laboratório Virtual Móvel: Pêndulo Simples Tela Inicial e slider com os parâmetros (Comprimento (L), Peso (P), Impulso (I) e o cálculo do Período (T) e os botões (Calcular e Limpar).

Participantes

Adolescentes de 11 a 15 anos para apreciar os contrastes que ocorrem entre um estágio de desenvolvimento e outro: operações específicas (11 anos), para atingir o estágio de operações formais, divididas em subperíodo formal incipiente (13 anos) e avançado formal (15 anos).

Objetivo

Aprofundar em diferentes aspectos o desenvolvimento do pensamento formal durante a adolescência. Para isso, propõe-se um conjunto de características do pensamento do adolescente associadas a uma situação prática.

Pensamento Científico

Formulação de hipóteses, raciocínio hipotético dedutivo, dissociação de fatores. Para investigar essa característica do pensamento formal, o experimento do pêndulo é proposto. Este experimento permite investigar a capacidade de dissociar fatores e, assim, determinar o responsável pelo movimento de oscilação do pêndulo.

Sequência Metodológica

Ciclo PODS: Previsão, Observação, Discussão e Síntese.

Sequência Didática

Apresenta-se as atividades realizadas pelo professor e os alunos:

1. Atividades realizadas pelo professor:

- Aplicar o pré-teste aos alunos;
- Organizar a sala em grupos pequenos de 2 a 3 integrantes;
- Elaborar a folha das previsões;
- Orientar a busca de informação dos diferentes fatores do experimento do pêndulo;
- Explicar a instalação do aplicativo do pêndulo e o uso do aplicativo;
- Observar a reação dos alunos;
- Promover a discussão que enfatize os fatores: Peso, Comprimento, Impulso, Altura e Período do Pêndulo;
- Elaborar a folha de resultados.

2. Atividades realizadas pelo aluno:

- Reconhecer os fatores envolvidos no experimento do pêndulo, respondendo o pré-teste;
- Realizar o experimento do pêndulo usando o aplicativo móvel;
- Discutir em grupos descrevendo os fenômenos observados, planejar hipóteses e possíveis soluções que tratem de responder e explicar o comportamento dos diferentes fatores do experimento do pêndulo;
- Responder às perguntas das folhas das previsões e folha de resultados;
- Responder às perguntas do pós-teste;

- Responder as pesquisas de opinião sobre o experimento e, finalmente;
- Responder as pesquisas de opinião sobre o aplicativo.

Coleta de Dados

Os dados foram coletados a partir dos resultados dos pré e pós-testes, notas das observações das reuniões em grupos e entrevistas com o professor e com quatro alunos. Os resultados dos testes dos alunos e as entrevistas com os alunos forneceram informações sobre as experiências de aprendizagem dos alunos e o uso do laboratório móvel. Nos testes, os alunos foram questionados sobre o valor agregado percebido do laboratório virtual móvel para a disciplina, preferências por laboratórios virtuais móveis ou físicos e facilidade de uso e disponibilidade do laboratório virtual.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados conceituais do aluno são obtidos a partir de instrumentos de teste de múltipla escolha que foram testados quanto à validade, confiabilidade, diferenciação e dificuldade. O instrumento de teste incluiu seis aspectos cognitivos: lembrar, compreender, aplicar, analisar, avaliar e criar [15]. A comparação de compreensão conceitual de grupos experimentais e grupos de controle foi realizada com uma análise simples dos resultados do teste de compreensão conceitual dos alunos e o número de acertos dos alunos em todos os aspectos cognitivos. A Figura 6 mostra a comparação da compreensão conceitual dos alunos.

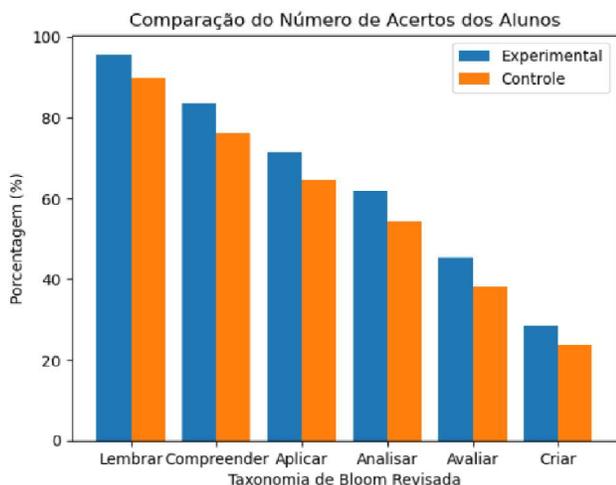


Figura 6. Comparação do número de acertos dos alunos em todos os aspectos cognitivos seguindo a Taxonomia de Bloom Revisada

A porcentagem de acertos que os alunos trabalharam com sucesso foi no aspecto cognitivo lembrar, ou seja, adquirindo 95,6% para o grupo experimental e 89,9% para o grupo controle. Esse resultado sugere que a maioria dos alunos do grupo experimental e do grupo controle consegue responder corretamente às questões da categoria

recordação. As questões para recordação de categorias ainda eram relativamente fáceis porque esta era a categoria mais baixa. Os problemas com a categoria de lembrança não envolviam um processo de pensamento de alto nível. Apenas reconhecia ou lembrava um termo, título e fórmula sem que ninguém alegasse entendê-lo ou usá-lo. No aspecto lembrar, os alunos precisavam apenas ter um conhecimento simples de sua memória. Portanto, deve ser que as questões desta categoria possam ser respondidas bem e corretamente pelos alunos.

Nas questões da categoria compreensão foi obtido 83,5% para o grupo experimental e 76,3% para o grupo controle. Na categoria de aplicação se obteve 71,3% para o grupo experimental e 64,5% para o grupo de controle, demonstrando que a maioria dos alunos do grupo experimental, assim como os alunos do grupo controle, ainda conseguiu responder adequadamente, esses aspectos eram relativamente fáceis. A compreensão é um nível mais alto de capacidade de pensamento do que de lembrar, neste caso, os alunos necessitam determinar o significado das mensagens de ensino, incluindo comunicações verbais, escritas e gráficas. No aspecto da categoria analisar, os alunos utilizam procedimentos que são entendidos antes em determinadas situações. Este aspecto cognitivo é um aspecto de nível superior de compreensão, porque os alunos devem ser capazes de coletar e selecionar adequadamente um determinado conceito, lei, proposição, regra, ideia ou método conhecido e compreendido para ser aplicado a uma nova situação.

A porcentagem de acertos dos alunos sobre os aspectos cognitivos de analisar para frente começa a cair em relação aos aspectos cognitivos anteriores. Nos aspectos cognitivos de analisar, o grupo experimental obteve o percentual de acertos de 61,1% e 54,2% para o grupo controle. Apesar disso, esse percentual ainda é bastante bom, pois mais da metade dos alunos consegue responder corretamente aos aspectos cognitivos de analisar. Os aspectos cognitivos de analisar e seguintes pertencem a um aspecto cognitivo alto. Os alunos precisam começar a usar suas habilidades de pensamento de alta ordem. No aspecto de análise, os alunos devem decompor a informação que foi compreendida antes em suas partes constituintes e detectar como as partes estão interconectadas entre si.

Nas questões de avaliar o grupo experimental obteve o percentual de acertos de 45,2% e 38,1% para o grupo controle e para a categoria de criação foi obtido 28,5% e 23,8%, esta porcentagem de acertos dos alunos cai, isso se deve claramente à capacidade de pensamento de alto nível dos aspectos de avaliar e criação. No aspecto da sintetização, os alunos devem considerar situações, valores, ideias ou métodos particulares com base em critérios e padrões existentes. Os processos cognitivos nesta categoria envolvem interpretar, considerar, examinar, decidir, argumentar e criticar. Enquanto na categoria de criação, os

alunos necessitam criar e combinar vários elementos em um formulário unificado, transformá-los em novos padrões ou estruturas. Portanto, é necessário ter excelentes habilidades de pensamento de alto nível para entender os aspectos cognitivos de avaliar e criar.

A análise das respostas dos alunos em cada aspecto cognitivo mostrou que a capacidade dos alunos em responder ao teste de compreensão conceitual foi maior nos aspectos cognitivos inferiores, e de outra forma estava ficando mais fraca nos aspectos cognitivos superiores. Neste estudo, a compreensão conceitual dos alunos sobre os aspectos cognitivos de lembrar e criar em geral foi boa. Isso foi indicado pelo percentual de acertos dos alunos em todos os aspectos cognitivos, que obtiveram mais de 50%, sendo o percentual do grupo experimental superior ao do grupo controle. Isso significa que a diferença numérica de 7,2% entre os grupos experimental e de controle na compreensão conceitual, sendo que o grupo experimental teve um melhor desempenho nos testes, consequência de um aprimoramento na sua aprendizagem. O uso de laboratórios virtuais no aprendizado experimental em grupo aumentou a motivação dos alunos para aprender, de modo que tiveram melhor compreensão conceitual do que o grupo controle. Os achados deste estudo revelam que quanto mais envolvente for o meio de aprendizagem utilizado, maior será a motivação dos alunos, aprimorando a compreensão conceitual de Física e suas habilidades de resolver problemas durante o processo de aprendizagem. O uso de laboratórios virtuais móveis permite que os alunos possam repetir os experimentos em qualquer lugar e em qualquer momento, assim como apoiá-los a atingir os níveis mais elevados de análise cognitiva, síntese e criação.

A Figura 7. Apresenta o boxplot dos grupos experimental e de controle. O boxplot mostra que quando comparado ambos grupos, o grupo experimental têm uma maior chance de atingir os diferentes níveis cognitivos de complexidade, a partir do boxplot do grupo experimental com mediana (66,2%) maior, quando comparado ao atributo porcentagem (%) com o grupo de controle com mediana (59,35%).

As práticas da aprendizagem ativa são apropriadas para material de ensino no domínio cognitivo superior, como aplicação, análise, síntese e criação. Por outro lado, o modelo é menos apropriado para uso no ensino de domínio cognitivo inferior: lembrar e compreender. A compreensão conceitual dos alunos se desenvolverá bem se as boas interações professor-aluno e aluno-aluno ocorrerem durante a aprendizagem, quanto melhor a interação, melhor a compreensão conceitual dos alunos.

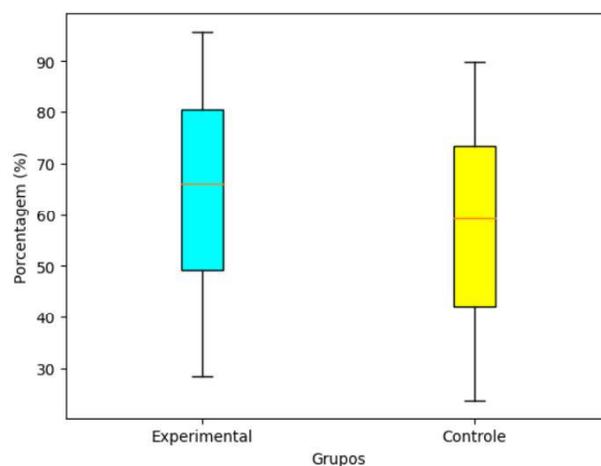


Figura 7. Boxplot dos Grupos Experimental e Controle

Em consonância com o objetivo do estudo, os dados foram analisados para identificar como o trabalho de laboratório virtual móvel contribuiu para o engajamento dos alunos. A análise de conteúdo qualitativa foi realizada nos resumos das avaliações da disciplina, e nas notas das observações das reuniões de andamento. Pontos específicos de atenção na análise de todos os dados qualitativos foram como a pedagogia apoiou o engajamento e os processos de aprendizagem contextuais e flexíveis. A análise de dados foi guiada pelos elementos de engajamento, incluindo os elementos da aprendizagem ativa ciclo-PODS no ensino de física, o laboratório virtual móvel, atividades e resultados. Os participantes atuaram voluntariamente e deram consentimento informado.

A compreensão conceitual pode ser interpretada como uma compreensão dos conceitos e sua aplicação na vida cotidiana. A compreensão conceitual não é apenas a compreensão de conceitos simples, mas também pode ser descrita como a capacidade de conhecer, compreender, aplicar, classificar, generalizar, avaliar e concluir as informações obtidas [10]. Neste estudo, o laboratório virtual móvel foi usado para melhorar a compreensão conceitual de conceitos de física realizados na escola de Ensino Médio. Os resultados indicam que houve diferenças na compreensão conceitual.

A maioria dos alunos (82%) relatou uma avaliação positiva da facilidade de uso do laboratório virtual móvel, enquanto mais de 79% relataram que a interface do usuário é intuitiva.

CONCLUSÃO

Os alunos do grupo experimental tiveram a pontuação média mais alta nos testes de compreensão conceitual do que os alunos do grupo controle. O resultado da análise da compreensão conceitual sobre cada aspecto cognitivo também mostrou que os alunos do grupo experimental responderam mais perguntas corretamente do que os alunos

do grupo controle. A porcentagem de acertos dos alunos nas respostas foi maior na categoria lembrar e menor na categoria criar. Os alunos foram capazes de responder questões com aspectos cognitivos de lembrar, compreender e aplicar e analisar; enquanto os aspectos cognitivos de sintetização e criação ainda precisam ser melhorados. Assim, com base no que foi apresentado, pode-se concluir que a integração do laboratório virtual móvel com as práticas da aprendizagem ativa Ciclo-PODS teve efeito positivo na compreensão conceitual de Física pelos alunos do grupo experimental.

REFERÊNCIAS

- 1 Trevor G. Bond. Piaget and the Pendulum. *Science & Education* 13, 2004, pag. 389–399.
2. Liu Chia-Yu; Wu Chao-Jung; Wong Wing-Kwong; Lien Yunn-Wen; Chao Tsung-Kai. Scientific modeling with mobile devices in high school physics labs, *Computers & Education*, v. 105, 2017, pag. 44-56.
3. da Silva, P.; Tarouco, L. A construção do pensamento formal pelo adolescente em Ambiente Virtual. *Renote. Revista novas tecnologias na educação*, v. 16, n. 1, 2018.
4. Robert Fuller; Robert Karplus; Anton Lawson. E. Can physics develop reasoning?. *Physics Today* v. 30, n.2, 1977, pag. 23-28.
5. Barbel Inhelder; Jean Piaget. *Da lógica da criança à lógica do Adolescente: ensaio sobre a construção das estruturas operatórias formais*. São Paulo Pioneira, 1976. 260 pp.
6. Ton Jong; Marcia Linn, Zacharias, C. Z. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education, *Science*, v. 340, <http://www.sciencemag.org>, 2013.
7. Michael Matthews; Colin Gauld; Arthur Stinner. The Pendulum: Its Place in Science, Culture and Pedagogy. *Science & Education* 13: 261–277. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 2004.
8. Diane Papalia; Sally Olds; Ruth Felma. *Psicologia del desarrollo: de la infancia a la adolescencia*. McGRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A, 2009, pp. 696.
9. Eduard Redisch. F. The Implications of Cognitive Studies for Teaching Physics. *American Journal of Physics* 62, 796, 1994.
10. Ruben Sanchez S. Influencia de la Teoría de Piaget en la enseñanza de la Física. *Latin-American Journal of Physics Education*, v. 13, n. 3, 2019.
11. Manuel Sequeira. Contributos e limitações da Teoria de Piaget para a Educação em Ciências. *Revista Portuguesa de Educação*, v. 3, n. 2, 1990, pag. 21-35.
12. David Sokoloff; Ronald Thornton K. *Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics*. published by Wiley 2006. pp. 384, ISBN: 978-0-471-48774-6.
13. Tomlinson-Keasey, C., Debra Eisert, Lynn Kahle; Hardy-Brown, K., & Keasey, B. *The Structure of Concrete Operational Thought*. *Child Development*, 50(4), 1153-1163, 1979.
14. Oscar Vasques, R. *El ciclo PODS: Método que permite generar aprendizajes significativos de electromagnetismo a alumnos de segundo grado de secundaria*. Diplomado en Aprendizaje Activo de la Física, Instituto Politécnico Nacional, México, 2009.
15. David Reading Krathwohl; A revisión of Bloom's Taxonomy: An overview. *Theory into Practice* 41:4 2002, pag. 212-218.
16. App Inventor. Massachusetts Institute of Technology <https://appinventor.mit.edu/>.