



SEÇÃO DOSSIÊ TEMÁTICO

Cinemática inclusiva

Inclusive kinematics

Rogério Junqueira Prado¹

Henrique Alberto Moura²

RESUMO

Neste artigo é apresentado um recorte de uma dissertação de mestrado, com os resultados de uma sequência didática de cinemática desenvolvida para o Ensino Médio regular com atendimento simultâneo de alunos com e sem deficiência visual. Para tanto foi utilizada como fundamentação teórica a Teoria Histórico-Cultural de Vygotsky e os princípios da didática multissensorial e do Desenho Universal para Aprendizagem (DUA). A pandemia COVID-19 provocou alguns desafios extras para a aplicação do produto desenvolvido, tendo sido necessário dividir sua aplicação em três momentos, sendo os dois primeiros numa escola estadual e o terceiro no Instituto dos Cegos do Estado de Mato Grosso – Icemat. A sequência didática foi dividida em seis planos de aula e, na tentativa de proporcionar a quebra de barreiras pedagógicas tão presentes na didática tradicional, foram confeccionados equipamentos multissensoriais para cada um deles. Esses equipamentos foram utilizados no processo de mediação dos principais conceitos de cinemática para uma melhor compreensão das equações trabalhadas. Para o último plano de aula foi construído um aparato experimental com o uso de plataforma Arduino®, para a aquisição de dados temporais de uma bola de bilhar em MRUV num plano inclinado. Nas análises qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos, ficou evidenciada a eficácia da sequência de ensino e equipamentos construídos, uma vez que alunos com deficiência visual ficaram em situação de igualdade no processo de construção do conhecimento.

Palavras Chave: Ensino de Física. Cinemática. Ensino Inclusivo. Teoria Histórico-Cultural de Vygotsky. Desenho Universal para Aprendizagem.

ABSTRACT

In this article, we present a part of a master's thesis, containing results of a didactic sequence on kinematics developed for a regular high school class with simultaneous care of students with and without visual impairment. For that, it was used as theoretical foundation Vygotsky's cultural-historical theory and principles of the multisensorial didactics and universal design for learning (UDL). The COVID-19 pandemic promoted some extra challenges for the application of the developed product; it was necessary to split the application into three different moments, both first and second at a public high school and the third at the Mato Grosso Institute for Blind People (Instituto dos Cegos do Estado de Mato Grosso – Icemat). The didactic sequence was divided into six lesson plans and, in an attempt to break pedagogical barriers so present in traditional didactics, multisensory equipments were made for each of them. These equipments were used in the mediation process of the main concepts of kinematics and for a better understanding of the worked equations. For the last lesson plan, an experimental apparatus was built using the Arduino® platform for the acquisition of temporal data of a billiard ball in uniformly varied rectilinear motion on an inclined plane. In the qualitative and quantitative analyses of

¹ Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) – Cuiabá, MT, Brasil

Doutor em Física pela Universidade de São Paulo (USP)

E-mail: rjprado@hotmail.com

² Secretaria de Estado de Educação de Mato Grosso (Seduc MT) – Porto Esperidião, MT, Brasil

Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)

E-mail: hmoura566@gmail.com



the results, the teaching sequence and equipment built effectiveness was evidenced, since visually impaired students were on an equal footing in the knowledge construction process.

Keywords: Physics Teaching. Kinematics. Inclusive Teaching. Vygotsky's Cultural-Historical Theory. Universal Design for Learning.

Introdução

Os trabalhos com atividades experimentais têm, cada vez mais, ocupado as revistas de Ensino de Física, como pode ser observado no artigo de Moraes e Silva Junior (2014) que demonstra a evolução vertiginosa de publicações do tipo em periódicos publicados no período de 1979 a 2011. Esse crescente número de publicações provém da tentativa de se superar o modelo tradicional de ensino, no qual o estudante é frequentemente visto como mero espectador e memorizador das informações levadas pelo professor, normalmente desconectadas dos conhecimentos prévios do estudante, apresentadas com utilização de método expositivo e uso excessivo do livro didático.

Nesse contexto, as atividades experimentais podem ser ferramentas didáticas muito importantes no processo de melhoria do Ensino de Ciências da Natureza e, particularmente, do Ensino de Física. No entanto, é necessário que essas práticas estejam fundamentadas em uma teoria de aprendizagem, como observam Moraes e Silva Junior (2014, p. 66): “[...] a maioria dos experimentos tem como fundamentação teórica apenas a Física relacionada com o experimento, não traz nenhuma teoria de aprendizagem, nenhum fundamento epistemológico, etc”.

Conseqüentemente, é possível observar que apesar de haver uma certa oferta de materiais/produtos didáticos com o objetivo de suprir a demanda por experimentação acessível e de baixo custo em sala de aula, também existe um grande lapso didático-metodológico.

Todavia, a situação é muito mais crítica no caso de estudantes com deficiência visual, uma vez que a grande maioria das metodologias, materiais e produtos didáticos desenvolvidos não foram elaborados para atender às necessidades desse público específico, sendo em geral embasados em estruturas visuais, conforme argumenta Camargo (2016, p. 30): “Esses fatos podem ser percebidos em todas as disciplinas relacionadas às Ciências da Natureza. Tanto na Física, quanto na Biologia e na Química, os elementos ligados à visão são fortemente utilizados”. Essa carência de materiais publicados para o ensino de pessoas com necessidades específicas também é destacada por Dickman e Ferreira (2008): “Sabemos que a literatura sobre o ensino de física a pessoas com necessidades educacionais especiais ainda é incipiente e ao mesmo tempo demanda pesquisas para melhor evidenciar tal situação”.

No escasso material disponível, apenas alguns estudos apresentam propostas metodológicas que contemplem a diversidade de uma sala de aula comum com a presença de estudantes com deficiência visual. É importante destacar aqui a contribuição de alguns trabalhos



(ARAÚJO; ABIB, 2003; BARBOSA; COSTA, 2004; CAMARGO, 2005, 2012, 2016; CAMARGO; NARDI, 2007; COSTA; NEVES; BARONE, 2006; FERREIRA; DICKMAN, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2007) que apresentam propostas buscando maximizar a oportunidade no processo de aprendizagem para todos os estudantes, ou seja, uma proposta que remova barreiras por meio da antecipação da necessidade dos estudantes, respeitando a diversidade existente em classe. Nesse sentido, Dickman e Ferreira (2008) afirmam que “[...] todas as iniciativas e pesquisas realizadas no sentido de garantir e ampliar o acesso das pessoas com deficiência à educação será, sempre, objeto de valor e destaque”.

Especificamente com relação a temas de mecânica, foram encontradas algumas publicações que propunham a realização de experimentação com plano inclinado, mas que se utilizam de metodologias e instrumentos elaborados para uma classe onde não há estudantes com deficiência visual. Podem ser destacadas aqui duas publicações bem-sucedidas que abordam a experimentação com planos inclinados (FETZNER, 2015; SANTOS, 2013), mas que não atendem às necessidades dos estudantes com deficiência visual, pois se utilizam de equipamentos baseados exclusivamente na visão.

Todavia, para que ocorra a socialização e o sucesso do estudante com deficiência visual no ensino de Física, precisa-se de uma metodologia que trabalhe com outros sentidos, bem como de outras dinâmicas nas quais a heterogeneidade dos estudantes não seja um fator de limitação. Como possibilidade, Camargo (2016) apresenta a didática multissensorial, na qual o tato, a audição, o paladar e o olfato podem compartilhar com a visão os canais de entrada de informações importantes. Outro princípio muito interessante seria o desenvolvimento de uma metodologia adequada que possa ser aplicada a todos, sem distinção entre estudantes com ou sem deficiência, como propõe o Desenho Universal para Aprendizagem – DUA (CAST, 2018).

Nessa perspectiva, este artigo – um recorte da dissertação de Mestrado *Cinémática Inclusiva* (MOURA, 2021) – apresenta uma sequência didática inclusiva, como determina a Constituição Federal, a LDB e o atual Plano Nacional da Educação, que pode atender uma classe comum do 1º bimestre do 1º ano do Ensino Médio com a presença de estudantes com e sem deficiência visual. Justamente nesse período inicial, muitos desses estudantes terão o seu primeiro contato com a disciplina de Física, o que torna o sucesso dessa abordagem ainda mais importante.

Para isso, desenvolveu-se uma sequência didática na qual foram trabalhados alguns dos principais conceitos de cinemática, tais como ponto material, corpo extenso, trajetória, velocidade e aceleração, dentre outros. Na sequência aqui proposta e utilizada, a didática multissensorial e o DUA estão fortemente presentes nos instrumentos criados para o processo de mediação e acessibilidade, bem como nas atividades experimentais, possibilitando um planejamento adequado para estudantes com e sem deficiência visual.



2 Marco teórico

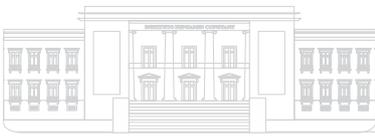
Este artigo se fundamenta na teoria histórico-cultural de Vygotsky (WÜRFEL, 2015) – que concebe o homem como um ser mutável e dinâmico, em um processo histórico permanente de construção potencializado pelas interações com o seu mundo sociocultural –, na didática multissensorial (CAMARGO, 2016), e na utilização dos princípios do Desenho Universal para Aprendizagem (DUA). Assim, aqui serão discutidas as principais contribuições de Vygotsky para o processo de inclusão de pessoas com deficiência no âmbito escolar, com ênfase para as pessoas com deficiência visual, bem como alguns dos fatores mais importantes da didática multissensorial e das contribuições do DUA no processo de quebra de barreiras pedagógicas.

Vygotsky descreve uma região denominada Zona de Desenvolvimento Proximal, que é definida como a região localizada entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo e o seu nível de possibilidades de aquisição de conhecimento por mediação do professor ou, por exemplo, pela colaboração de amigos mais experientes (MOREIRA, 1999, p. 109-122). Essa mediação também ocorre com signos e instrumentos utilizados durante todo o processo de aprendizagem (STRICHER, 2017). Como a construção desses dispositivos deve ser pensada para promover acessibilidade para todos, eles devem estar conectados aos princípios do DUA, que propõe que todos os estudantes aprendam utilizando os mesmos equipamentos educacionais (CAST, 2018).

Na sala de aula, por exemplo, as barreiras de cada estudante serão determinadas pela metodologia e estratégias adotadas pelo professor: a adoção de uma didática inadequada leva o indivíduo a vivenciar entraves, sejam eles impostos ou não pela deficiência. No entanto, quando o método se mostra apropriado, a deficiência deixa de ser uma barreira na construção do conhecimento do estudante.

Nesse contexto, alguns dos pesquisadores da área de ensino apresentam o DUA como mais uma possibilidade no processo de desenvolvimento de ambientes educacionais organizados para o enfrentamento e eliminação de barreiras na escolarização de todas as pessoas, dentre elas aquelas com deficiência (BOCK; GESSER; NUERNBERG, 2018, p. 144). Segundo Nunes e Madureira (2015, p. 5), o DUA preconiza práticas pedagógicas com o objetivo de permitir que todos os estudantes, com ou sem deficiências, tenham sua aprendizagem em uma sala comum com um único planejamento, proporcionando a inclusão de todos na aprendizagem e na vida escolar por ser mais uma ferramenta à disposição dos educadores na implementação de uma escola inclusiva e transformadora, com metodologias e estratégias que permitam quebrar barreiras pedagógicas, tão presentes no cotidiano escolar para as pessoas com deficiência.

Pode-se definir o DUA como um conjunto de estratégias e princípios que vão nortear o docente na construção do seu planejamento com a confecção de materiais que venham a proporcionar a equidade no processo de aprendizagem. Seguindo esse pensamento, são cria-



das soluções para atender às necessidades particulares de pessoas com deficiência, como, por exemplo, uma lupa eficiente para facilitar a leitura de pessoas com baixa visão ou a construção de equipamentos com marcações táteis e sonoras que permitam ao estudante com deficiência visual perceber as funcionalidades desses equipamentos.

Esse ideal se fundamenta no princípio de que o cérebro aprende por meio de três tipos de redes neurais: as redes afetivas, as de reconhecimento e as estratégicas. Essas redes têm sido determinantes para a neurociência (ALVES; RIBEIRO; SIMÕES, 2013, p. 132), que tem elaborado estudos eficazes para uma melhor compreensão do funcionamento do cérebro no processo de aprendizagem e para um melhor desempenho das funções cognitivas relacionadas ao desenvolvimento educacional. De acordo com a neurociência, cada pessoa é única, possuindo seu próprio funcionamento diferenciado das redes, ou seja, cada uma possui características próprias de desenvolvimento das suas redes que a diferencia das demais (NUNES; MADUREIRA, 2015, p. 6).

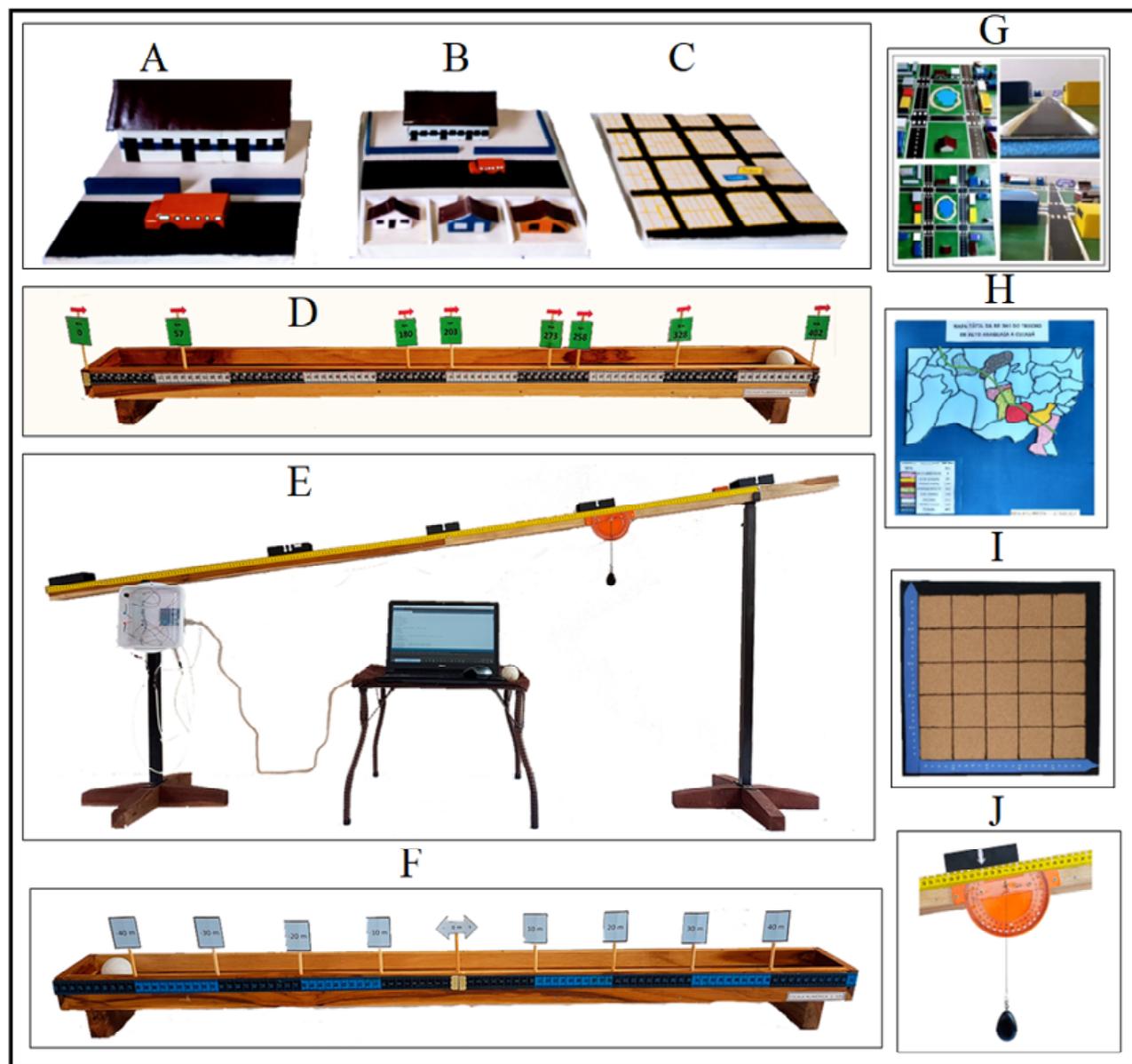
Nesse sentido, a teoria histórico-cultural de Vygotsky e os princípios do DUA se entrelaçam, alicerçando-se na compreensão da deficiência como fenômeno social e da mediação de signos e utilização de instrumentos adequados para a quebra de barreiras pedagógicas, o que possibilita a construção de uma escola inclusiva, na qual todos podem ter acesso a um currículo mais justo.

3 Descrição geral dos produtos educacionais

A sequência didática aplicada foi dividida em dez aulas de 50 minutos, nas quais foram trabalhados fundamentos da cinemática. Para tanto, foram desenvolvidos vários instrumentos de acessibilidade (MOURA, 2021), seguindo os princípios do DUA, com os quais foram trabalhados conceitos básicos, equações essenciais da cinemática e experimentação.

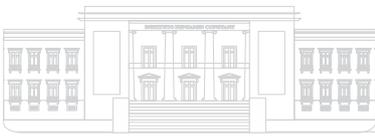
Os itens elaborados, e mostrados na figura 1, são: maquetes táteis de escola, ônibus e vizinhança, para o ensino dos conceitos de corpo extenso e ponto material; maquete tátil de cidade, para o ensino dos conceitos de referencial, repouso e movimento; régua graduada simulando a BR-364, para o ensino dos conceitos de posição, trajetória, deslocamento e variação de tempo; instrumento de acessibilidade cartográfica tátil (mapa tátil), para o ensino dos conceitos de posição, trajetória, deslocamento, variação de tempo e velocidade média; régua graduada para o ensino de movimento retilíneo uniforme; rampa inclinada acessível para o ensino dos conceitos de movimento retilíneo uniforme (MRU) e movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV); e instrumento tátil de acessibilidade gráfica.

Figura 1. Maquetes táteis de escola, ônibus e vizinhança ilustrando os conceitos e representações de corpo extenso (A e B) e ponto material (C); régua graduada, simulando a BR 364 (D); rampa equipada com plataforma Arduino (E); régua graduada, simulando uma reta numérica (F); maquete tátil de cidade (G); mapa tátil da BR 364 (H); instrumento tátil de acessibilidade gráfica (I) e transferidor tátil (J).



Fonte: Acervo pessoal.

Especificamente com relação à rampa inclinada (figura 1E), para experimentações de MRU e MRUV, o equipamento é constituído de régua em madeira de 230 cm de comprimento sustentada por dois pés reguláveis. No centro da régua, uma pequena calha permite que uma bola de bilhar (móvel) possa percorrer toda a rampa, simulando uma reta inclinada. Na parede lateral do equipamento há um transferidor em braile (figura 1J) com pêndulo, para a leitura do ângulo de inclinação do equipamento. Ao longo da rampa, há uma fita métrica com marcações táteis para o correto posicionamento dos quatro sensores de obstáculo reflexivo infraver-



melho conectados a uma placa de Arduíno Uno. Os sensores registram as medidas temporais da bola de bilhar ao percorrer a rampa e podem ser organizados em quaisquer posições, conforme o interesse da experimentação a ser realizada. O equipamento emite som e emite luz (LED) quando a bola de bilhar passa pelos sensores, podendo assim destacar a passagem da bola tanto aos estudantes com deficiência visual quanto aos com deficiência auditiva.

O código de programação Arduino utilizado (MOURA, 2021, p. 56-60), calcula o tempo gasto entre o primeiro e os demais sensores, ou seja: o primeiro intervalo ocorre entre o primeiro e o segundo sensor; o segundo intervalo ocorre entre o primeiro e o terceiro sensor; e o terceiro intervalo ocorre entre o primeiro e o quarto sensor.

3.1 Guia de atividades dos estudantes

O guia de atividades tem o formato de cartilha e serve como caderno de atividades dos estudantes. Além disso, estão inseridas nele as definições de conceitos básicos, exemplos de aplicações no cotidiano e os roteiros experimentais da sequência didática (MOURA, 2021, p 237-292).

Para uma maior acessibilidade dos estudantes com deficiência visual ao produto apresentado neste artigo, o material digital da dissertação (MOURA, 2021) foi concebido com acessibilidade, possibilitando acesso, utilização e compreensão facilitada.

4 Aplicação do produto educacional

A pandemia provocada pela COVID-19 provocou alguns desafios extras para a aplicação do produto apresentado neste artigo. Foi necessário dividir a aplicação em três momentos: os dois primeiros realizados em uma escola estadual, no município de Porto Esperidião/MT, e o terceiro momento em Cuiabá/MT no Instituto dos Cegos do Estado de Mato Grosso (Icemat), que cedeu uma sala de aula na instituição para a aplicação da sequência didática para uma aluna com baixa visão, de maneira a verificar a eficácia dos equipamentos e metodologias nos diferentes públicos. Todos os estudantes envolvidos cursavam, naquele momento, o primeiro ano do Ensino Médio.

4.1 Aspectos gerais das turmas

Na escola estadual, devido às normas estabelecidas pela SEDUC-MT para a pandemia COVID-19, somente poderiam ser reunidas turmas de até cinco estudantes, de maneira que o produto foi aplicado em dois grupos de estudantes sem deficiência visual: o primeiro com a presença de 4 estudantes (no período matutino, entre os dias 28 de junho e 2 de julho de 2021,



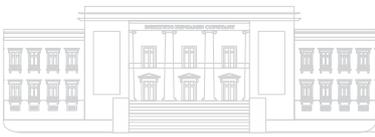
denominado turma "A") e o segundo com a presença de 5 estudantes (no período noturno, entre os dias 5 e 9 de julho de 2021, denominado turma "B"). Foram aplicadas duas aulas de 50 minutos por dia a ambos os grupos.

Para a terceira turma (denominada turma "C"), no Icemat, de uma única estudante com baixa visão congênita em função de atrofia do nervo óptico e acuidade visual inferior a 5%, seguiu-se a mesma distribuição de carga horária das demais turmas e o produto foi aplicado entre os dias 12 e 16 de julho de 2021, no período matutino. Apesar da aplicação ter sido realizada no Icemat, a aluna é matriculada em uma escola estadual em Cuiabá. Ela foi alfabetizada em braile e aprendeu a utilizar o soroban para a realização de cálculos, tendo recebido estimulação essencial a partir dos 2,5 anos de vida, o que foi certamente determinante para o seu desenvolvimento escolar. De uma maneira geral, a estimulação essencial tem por finalidade preparar a criança com deficiência visual antes de ingressar ao ensino regular comum, facilitando a sua aprendizagem em tempo real com as demais crianças. Carletto (2009, p. 1) reforça essa ideia ao afirmar que "[...] a estimulação essencial da criança cega, dos 0 aos 5 anos que, se feita adequadamente, assume extrema importância para diminuir déficits existentes acarretados pela falta de visão".

4.2 Organização e aplicação da sequência de ensino

A sequência de ensino foi organizada em seis planos de aula, sendo o último para a execução da experimentação. As atividades dos planos foram distribuídas em 10 aulas de 50 minutos. Por sua vez, as dinâmicas desse planejamento (MOURA, 2021, p. 64-86) apresentam os conteúdos trabalhados, os objetivos a serem alcançados, material utilizado e, por último, os critérios estabelecidos para a avaliação dos estudantes. Além disso, as dinâmicas de cada aula foram fundamentadas na teoria histórico-cultural de Vygotsky, na didática multissensorial e nos princípios do desenho universal para aprendizagem (DUA).

Ao início das aulas foi entregue aos estudantes das turmas "A" e "B" o guia de atividades, que foi recolhido ao final de cada aula para evitar que realizassem pesquisas sobre os assuntos a serem trabalhados nas aulas seguintes (MOURA, 2021, p. 237-292). Isso era necessário durante o desenvolvimento do produto educacional para não influenciar o conhecimento prévio da classe sobre os temas trabalhados em cada aula. À estudante da turma "C" foi entregue o arquivo digital do guia de atividades (em formato pdf), referente ao conteúdo a ser trabalhado em cada aula, que foi acessado no *smartphone* da estudante com o auxílio do aplicativo para leitura de tela *TalkBack*.



No início da sequência didática, e ao final de cada plano de aula, foram realizadas entrevistas estruturadas com todos estudantes, por escrito. Uma entrevista aberta, gravada em áudio, foi realizada ao término da sequência didática. Esta tinha o propósito de investigar as dificuldades da classe em relação ao ensino de Física, ao nível de inclusão ofertado pelo espaço escolar e pela metodologia de ensino correntemente adotada na escola e, também, identificar os conhecimentos prévios referentes aos conteúdos de cinemática e as expectativas com os conteúdos que seriam trabalhados na sequência didática.

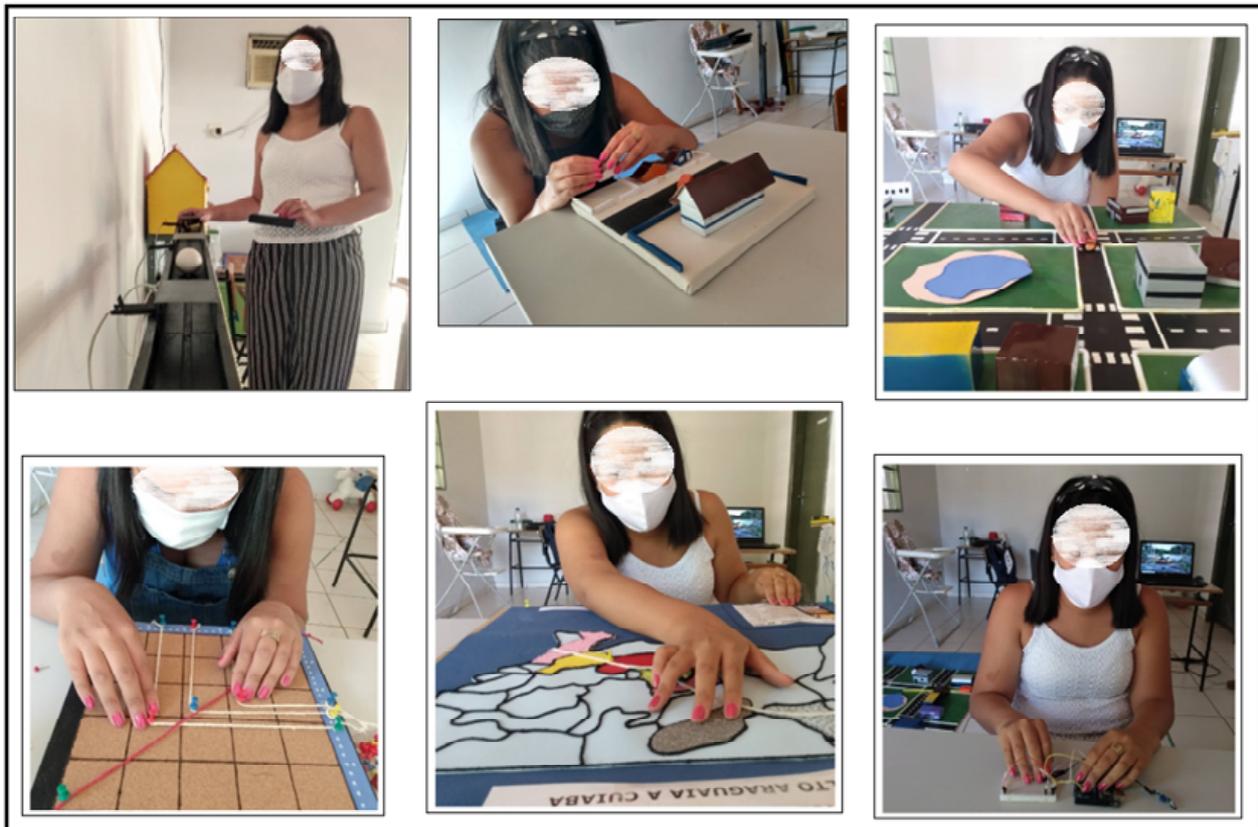
Após a explicação inicial, em toda a sequência didática, foi proposto que os estudantes respondessem individualmente ao pré-teste referente a cada aula, que buscava informações a respeito dos conceitos prévios deles sobre os conceitos a serem trabalhados. O objetivo disso era identificar o nível de desenvolvimento real do estudante e as suas demandas, antes do início da intervenção com instrumentos que pudessem proporcionar a equidade no processo de aprendizagem, referendando uma metodologia adequada à diversidade do alunado, como determinam os princípios do DUA. No processo de mediação de conceitos foram propostas atividades para a fixação do conteúdo e, após isso, os estudantes foram convidados a realizar o pós-teste individualmente. Ao término das atividades experimentais, deram-se rodas de conversação nas quais todos os estudantes se posicionaram e relataram as suas concepções a respeito dos fenômenos trabalhados.

5 Resultados e discussão

Nesta seção serão apresentados os resultados e discussões obtidos na aplicação do produto educacional desenvolvido na dissertação “Cinemática Inclusiva”. Em função das exigências sanitárias impostas pela pandemia COVID-19, foi necessária a divisão em pequenas turmas e, também, houve a dificuldade em se encontrar e obter autorização para se trabalhar com alunos cegos ou com baixa visão. Para a apresentação e discussão dos resultados obtidos durante a aplicação da sequência didática, foram desenvolvidas análises qualitativa e quantitativa.

Para ilustrar a aplicabilidade das diferentes etapas da sequência didática, bem como sua acessibilidade, a figura 2 mostra a estudante com deficiência visual trabalhando com os diferentes instrumentos desenvolvidos para a sequência didática proposta.

Figura 2. Fotos da estudante com deficiência visual trabalhando com os diferentes instrumentos de acessibilidade desenvolvidos para a sequência didática proposta



Fonte: Acervo pessoal.

5.1 Qualidade dos dados experimentais obtidos

Particularmente, o aparato experimental (rampa inclinada) cumpriu o seu propósito pedagógico, sendo o equipamento que mais proporcionou motivação aos estudantes. No entanto, inicialmente, o equipamento não se mostrou muito eficiente para a coleta de dados, pois proporcionava a obtenção de uma aceleração que, aparentemente, não era constante ao longo do plano inclinado. Várias hipóteses foram levantadas e, após alguns testes verificou-se que o cronômetro da plataforma Arduino funciona mais lentamente nos instantes iniciais da medida, reduzindo o intervalo de tempo medido para o primeiro trecho e, conseqüentemente, distorcendo e aumentando o valor calculado para a aceleração em todo o percurso.

Em uma pesquisa bibliográfica, foi encontrado um trabalho similar (CAVALCANTI, 2016, p. 80) que apresentou exatamente o mesmo problema verificado aqui, ou seja, a aceleração inicial destoava das demais. Isso, apesar dos dois aparatos experimentais terem utilizado materiais, sensores e programação diferentes, sugere que o problema seja de *hardware* (da própria plataforma Arduino) e não de *software* (programação).



Além disso, o código de programação da plataforma Arduino também foi alterado durante os testes realizados neste trabalho. Só foi possível a correção desse problema fazendo com que a bola de bilhar passasse duas vezes pela rampa sem a reinicialização da plataforma e utilizando os dados da segunda passagem, para não haver a interferência da contagem do tempo nos instantes iniciais da medição (início da primeira passagem). Os resultados obtidos com essa nova metodologia podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1. Valores de medição temporal no MRUV, para cada trecho da rampa

MEDIÇÃO	INTERVALO DE TEMPO (s) PARA PERCORRER		
	0,50 m	1,00 m	1,50 m
1	1,322	1,887	2,314
2	1,315	1,865	2,290
3	1,321	1,886	2,313
MÉDIA	1,319	1,879	2,306

Fonte: Elaborada pelos autores.

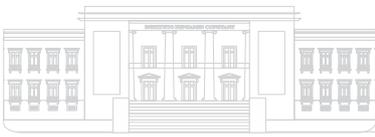
Utilizando os dados da tabela 1 e a equação horária da posição em função do tempo para um MRUV, é possível determinar a aceleração média para os três instantes diferentes e, posteriormente, com a equação de Torricelli ou com a equação horária da velocidade em função do tempo, é possível determinar a velocidade da bola de bilhar nos três instantes. Os dados calculados são apresentados na tabela 2.

Enquanto, inicialmente, a diferença entre a aceleração obtida no primeiro trecho da rampa (0,50 m) e no terceiro trecho da rampa (1,50 m) era de mais de 50% do valor médio da aceleração (que foi de $0,83 \text{ m/s}^2$), após modificação da metodologia e do *software*, a diferença entre a aceleração obtida no primeiro trecho (0,50 m) e no terceiro trecho (1,50 m) caiu para $0,011 \text{ m/s}^2$, uma variação de apenas 2% do valor médio da aceleração (que foi de $0,568 \text{ m/s}^2$). Isso indica uma melhora muito significativa na precisão das medições realizadas no experimento.

Tabela 2. Distância percorrida, tempo médio necessário para percorrer a distância a partir do repouso, aceleração média e velocidade ao final do intervalo de tempo

ΔS (m)	Δt (s)	a (m/s^2)	v (m/s)
0,50	1,319	0,575	0,758
1,00	1,879	0,566	1,064
1,50	2,306	0,564	1,301

Fonte: Elaborada pelos autores.



Além disso, o valor médio da aceleração obtido na última série de experimentos (tabela 2) está de acordo com o valor esperado para a aceleração média de uma esfera sólida rolando uma rampa com inclinação de 5 graus, que seria de cerca de $0,61 \text{ m/s}^2$, ou seja, uma diferença entre valor esperado e observado menor que 10%. Experimentalmente, isso pode ser justificado pela imprecisão na medida do ângulo de inclinação e, também, pelo caráter ligeiramente rugoso da superfície, pois escuta-se claramente o som de rolagem da bola de bilhar. Este aspecto mostra que a bola de bilhar perde contato com a superfície durante parte do tempo de rolagem, reduzindo a aceleração média, e comprova a dissipação de energia na forma de ondas sonoras e calor.

5. 2 Análise qualitativa da aprendizagem

Apresentamos aqui uma síntese da análise da transcrição literal das respostas obtidas durante as entrevistas estruturadas dos estudantes (MOURA, 2021, p. 312-320), com o intuito de transmitir os resultados obtidos com o máximo de fidelidade possível.

Como metodologia adotada, serão discutidas as respostas obtidas durante a aplicação dos seis planos de aula que compõem a sequência didática. As perguntas das entrevistas estruturadas foram divididas em: (i) conhecimento prévio dos estudantes referente ao conteúdo de cinemática; (ii) metodologia de ensino de Física adotada na sua escola; (iii) eficiência dos produtos educacionais utilizados neste trabalho; (iv) eficiência da metodologia pedagógica utilizada, e (v) eficácia dos instrumentos de mediação e/ou equipamentos assistivos também utilizados.

Com relação ao conhecimento prévio dos estudantes referente ao conteúdo de cinemática, foi possível compreender um pouco da relação deles com a disciplina de Física até então. Apesar de alguns afirmarem que já estudaram cinemática, observa-se que o conhecimento de todos é incipiente, pois mesmo os que admitiam já terem estudado o tema não conseguiam citar o conteúdo de cinemática que mais tinham gostado. Também, nenhum estudante soube conceituar o que é ponto material e corpo extenso. Conforme veremos mais adiante, na análise quantitativa, será possível confirmar a falta de conhecimento prévio dos estudantes com relação ao conteúdo abordado.

Sobre a metodologia de ensino de Física adotada em suas respectivas escolas, as respostas dos estudantes das turmas "A" e "B" apontam a tendência de aplicação de uma metodologia tradicional. Já as da estudante da turma "C", que possui deficiência visual, indica uma escola que, apesar de não ter acesso a equipamentos para atender a aluna, aparentemente se esforça em minimizar as barreiras pedagógicas. Observa-se, portanto, a carência de metodologias e equipamentos adequados ao atendimento de todos os estudantes em uma sala comum.



Quanto à eficiência dos produtos educacionais utilizados neste trabalho, todos os estudantes afirmaram que os equipamentos proporcionaram uma melhor compreensão do conteúdo trabalhado. Os relatos evidenciam a satisfação no uso dos instrumentos, o que tornou a construção do conhecimento um ato prazeroso e facilitador. Particularmente, a estudante da turma “C” relata que, além de facilitar o entendimento, foi uma atividade divertida.

Essa reação das turmas dialoga diretamente com o princípio do DUA de que o cérebro aprende por meio de três tipos de redes neurais: redes afetivas, de reconhecimento e estratégicas. Nessa lógica, tem-se que a afetividade é um elemento facilitador fundamental do processo de aprendizagem. Além disso, fica claro nas respostas que a utilização de instrumentos de mediação também colaborou no processo de reconhecimento dos conceitos/situações/problemas, o que, por sua vez, influencia na elaboração de estratégias para sua compreensão, expressão e/ou resolução (ação).

Com relação à eficiência da metodologia pedagógica utilizada, foi possível perceber que todos os estudantes se posicionaram a favor do método da sequência didática proposta (MOURA, 2021). As respostas obtidas indicam que a metodologia facilitou a compreensão do conteúdo trabalhado e que as atividades experimentais com os instrumentos de acessibilidade desenvolvidos foram importantes para a aplicação da sequência didática. Destaca-se ainda que, segundo as turmas, as aulas foram motivadoras.

Por fim, sobre a eficácia dos instrumentos de mediação e/ou equipamentos assistivos utilizados neste trabalho, foi possível perceber que os materiais táteis e sonoros acoplados aos utensílios tiveram papel importante no aprendizado, inclusive para os que não apresentam deficiência. Todavia, para a estudante com deficiência visual, esses instrumentos assistivos quebraram barreiras, permitindo que ela participasse das atividades em condição de igualdade, ou pelo menos de quase igualdade com os demais estudantes. Esses dispositivos permitiram que a aluna da turma “C” posicionasse os sensores, lançasse o móvel e acessasse as informações coletadas no *notebook*, utilizando-se do leitor de tela. Assim, percebeu-se que as tecnologias adotadas no equipamento para permitir acessibilidade a estudantes com deficiência visual foram plenamente eficazes no seu propósito.

5.3 Análise quantitativa da aprendizagem

Para a análise quantitativa, foi realizada a comparação entre as médias dos questionários (MOURA, 2021, p. 279-310) aplicados aos estudantes das turmas “A”, “B” e “C” antes da aplicação das diferentes etapas da sequência didática (pré-teste) e após a aplicação das diferentes etapas da sequência didática (pós-teste).

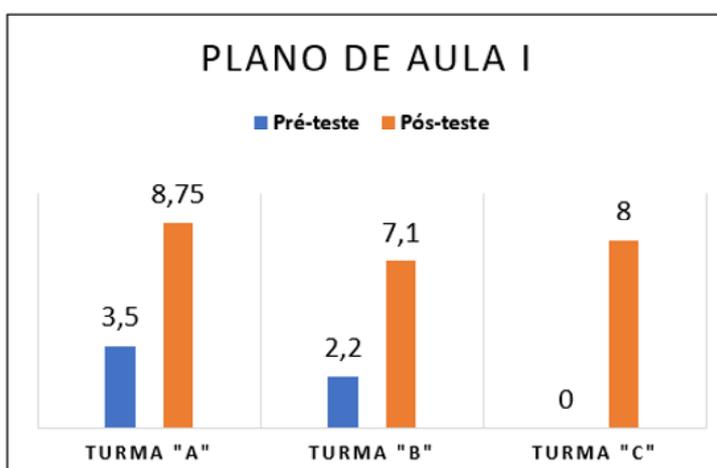


A dinâmica do plano de aula I apresenta um diferencial em relação às demais. Na primeira aula foram apresentados, de forma tradicional, os conceitos e exemplos de ponto material e corpo extenso, tendo sido realizada uma avaliação (pré-teste) logo após a apresentação. Na sequência, foi realizada uma nova intervenção didática utilizando os equipamentos e metodologias aqui propostos, após a qual foi imediatamente realizada uma nova série de perguntas (pós-teste). Em posse desses dados, se analisamos a evolução da média de todos os estudantes do pré-teste para o pós-teste, vemos que o aproveitamento médio das turmas passa de 27% no primeiro para 78,5% no segundo.

Nota-se, então, que o uso dos equipamentos e metodologias aqui propostas possibilitou a quebra das barreiras pedagógicas, proporcionando aos estudantes uma melhor compreensão de conceitos abstratos com aproveitamento significativo. Assim, pode-se afirmar que a metodologia aplicada foi eficiente, corroborando a afirmação dos estudantes de que o método e os equipamentos utilizados proporcionaram uma melhor percepção do conteúdo trabalhado. Em contrapartida, a proposta tradicional se mostrou pouco eficiente na construção dos conceitos sobre a cinemática.

Em particular, o gráfico 1 apresenta o aproveitamento médio das turmas "A", "B" e "C" no pré-teste e no pós-teste do Plano de Aula I. Os dados mostram que a estudante da turma "C" obteve o pior resultado no pré-teste, realizado após a apresentação do conceito de forma tradicional. No entanto, após a mediação didática utilizando os equipamentos e metodologias aqui propostas, a jovem passa a ter um rendimento pelo menos tão bom quanto os estudantes das turmas "A" e "B". Se pensarmos que a estudante partiu de um aproveitamento nulo no pré-teste para um aproveitamento de 80% no pós-teste, pode-se dizer que ela apresentou a melhor evolução de aproveitamento.

Gráfico 1. Aproveitamento médio dos estudantes das turmas "A", "B" e "C" no pré-teste e pós-teste do Plano de Aula I



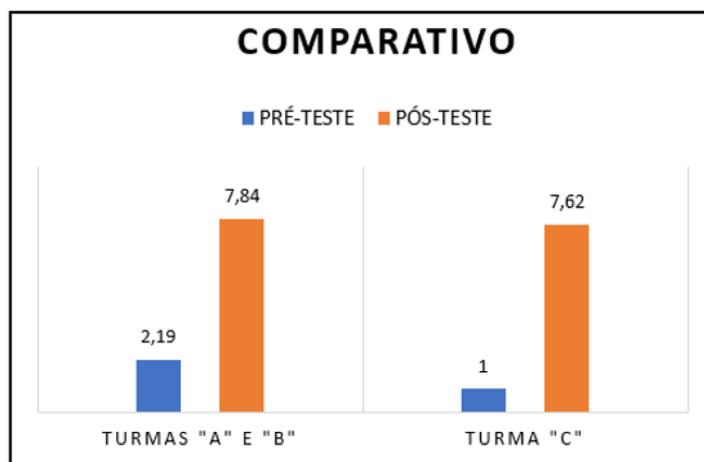
Fonte: Elaborado pelos autores.



Considerando toda a sequência didática, tem-se que os estudantes apresentaram rendimento médio no pré-teste de 17,9%, confirmando que os estudantes não apresentavam um conhecimento prévio elaborado em relação ao conteúdo de cinemática. Após o trabalho de mediação, observa-se um aproveitamento médio dos estudantes de 78,1%, o que é significativo e confirma a eficácia da sequência didática e equipamentos de inclusão aqui utilizados.

No gráfico 2, é feito um comparativo em relação ao aproveitamento nas avaliações de pré-teste e pós-teste. Como pode ser observado, no pré-teste a estudante da turma "C" apresenta um aproveitamento de apenas 10%, enquanto o conjunto das turmas "A" e "B" atingiram um aproveitamento de 21,9% na média. No entanto, no pós-teste observa-se um rendimento de 78,4% para as turmas "A" e "B" e de 76,2% para a "C", o que é muito próximo. A partir dessa análise, conclui-se que a metodologia aplicada na sequência didática foi, novamente, eficiente na quebra das barreiras pedagógicas, proporcionando a todos uma situação de igualdade no ensino e aprendizagem.

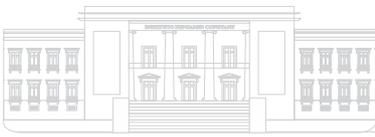
Gráfico 2. Aproveitamento médio dos estudantes das turmas "A" e "B" em relação à turma "C" nas avaliações pré-teste e pós-teste de toda a sequência didática



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerações finais

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de produzir uma sequência didática inclusiva de ensino de Física. Para tanto, destaca-se a escolha da teoria histórico-cultural de Vygotsky para o sucesso dessa caminhada por demarcar a trajetória da sequência didática em um processo de mediação, na qual a diversidade dos estudantes é um fator considerado positivo. Ressalta-se ainda que, no processo de construção de materiais adequados para as práticas pedagógicas aqui propostas, os princípios do DUA, bem como da didática multis sensorial, constituíram-se em importantes ferramentas na quebra de barreiras pedagógicas presentes no ensino de Física.



Inicialmente, este trabalho deveria ter sido aplicado em uma turma de estudantes do ensino regular que apresentasse alunos com e sem deficiência visual. No entanto, a pandemia provocada pela COVID-19 dificultou essa ação, principalmente para estudante com deficiência visual, que não teve a oportunidade de compartilhar conhecimentos com os seus pares, levando o professor a suprir parcialmente esta demanda.

Na análise qualitativa, realizada por meio da avaliação das entrevistas estruturadas, fica claro o benefício que a metodologia proposta trouxe às turmas, favorecendo o desenvolvimento de conceitos, organização do pensamento, socialização e raciocínio lógico. Além disso, as atividades práticas com uso de materiais concretos proporcionaram uma dinâmica lúdica. Em relação à estudante com deficiência visual, os resultados são ainda mais evidentes, como pode ser observado em suas respostas e motivação durante a realização das atividades.

A diversidade de material utilizado, vinculada ao cotidiano do estudante, enriqueceu as aulas de cinemática, tornando-as menos exaustivas e permitindo a superação do caráter abstrato de alguns conceitos trabalhados. Isso fica evidente em vários momentos da sequência didática, na qual os estudantes afirmam a satisfação de trabalhar com atividades experimentais. Também se observa que o uso dos equipamentos de mediação proporcionou à estudante com deficiência visual condições de igualdade na construção do conhecimento, possibilitando a compreensão de conceitos que, até então, eram completamente abstratos para ela.

Ao mesmo tempo, na análise quantitativa, quando se faz uma comparação dos resultados do pré-teste com os do pós-teste, observa-se uma melhora considerável no aproveitamento de todos os estudantes, sendo que a da turma "C" obteve, muitas vezes, o melhor rendimento ao sair, em alguns momentos, de um resultado completamente nulo no pré-teste para um bem mais alto e comparável ao das outras turmas no pós-teste. Isso também confirma a eficácia da metodologia aqui proposta e dos equipamentos de acessibilidade utilizados.

Nas atividades, a rampa inclinada para o estudo de MRU e MRUV cumpriu com o seu propósito pedagógico, proporcionando aos estudantes uma atividade experimental interessante e precisa. Além disso, ela contou com coleta de dados automatizada, o que possibilitou a produção e análise de gráficos condizentes com os conceitos trabalhados ao longo da sequência didática, e fortaleceu o conhecimento dos estudantes a respeito dos tópicos da cinemática.

Com a aplicação da metodologia proposta, foi possível perceber que o processo de inclusão de estudantes com deficiência visual não ocorre simplesmente pela presença do estudante em sala de aula. É preciso, também, uma transformação do ambiente escolar, que deve



promover a participação efetiva de todos nas diferentes atividades didáticas. Além disso, estas devem ser assistidas por equipamentos apropriados e acessíveis a todos os públicos, como propõem os princípios do DUA. Para tanto, conforme determina a estratégia 4.10 do Plano Nacional de Educação – PNE (BRASIL, 2014), há a necessidade real de produção de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de métodos adequados, materiais didáticos, equipamentos e recursos de tecnologia assistiva para se favorecerem as condições de acessibilidade aos estudantes.

Dessa forma, este trabalho atende ao PNE, promovendo iniciativas de ensino e aprendizagem com metodologia mais adequada, com equipamentos didáticos multissensoriais e uso de tecnologias assistivas em um planejamento didático realmente inclusivo.

Referências

- ALVES, Maria Manuela; RIBEIRO, Jaime; SIMÕES, Fátima. Universal Design for Learning (UDL): Contributos para uma escola de todos. *Indagatio Didactica*, Aveiro, Portugal, v. 5, n. 4, p. 121-146, nov. 2013.
- ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25, n. 2, p.176-194, jun. 2003.
- BARBOSA, Roberto Gonçalves; COSTA, Luciano Gonsalves. O ensino de ciências/Física para surdos: um retrato. In: SIMPÓSIO EDUCAÇÃO QUE SE FAZ ESPECIAL: DEBATES E PROPOSIÇÕES, 2. 2004, Maringá. *Anais [...]*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2004.
- BOCK, Geisa Letícia Kempfer; GESSER, Marivete; NUERNBERG, Adriano Henrique. Desenho Universal para a Aprendizagem: a produção científica no período de 2011 a 2016. *Revista Brasileira Educação Especial*, Marília, v. 24, n. 1, p. 143-159, jan./mar. 2018.
- BRASIL. *Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014*. Aprova o Plano Nacional de Educação. Brasília, DF: Presidência da República, [2014]. Disponível em: <http://pne.mec.gov.br/18-planos-subnacionais-de-educacao/543-plano-nacional-de-educacao-lei-n-13-005-2014>
- CAMARGO, Eder Pires de. Ensino de Ciências, Parâmetros Curriculares Nacionais e Necessidades Educacionais Especiais: discussão, reflexão e diretrizes. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru, São Paulo. *Atas [...]*. Bauru, São Paulo: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2005.
- CAMARGO, Eder Pires de; NARDI, Roberto. Dificuldades e alternativas encontradas por licenciandos para o planejamento de atividades de ensino de óptica para alunos com deficiência visual. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 115-126, mar. 2007.



CAMARGO, Eder Pires de. *Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de Física*. São Paulo: Editora Unesp, 2012. p. 43.

CAMARGO, Eder Pires de. *Inclusão e necessidade educacional especial: compreendendo identidade e diferença por meio do ensino de física e da deficiência visual*. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

CARLETTO, Marcia Regina Vissoto. A estimulação essencial da criança cega. *In: Dia a dia educação*. Curitiba, Paraná, 2009. Disponível em: http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/producoes_pde/artigo_marcia_regina_vissoto_carletto.pdf. Acesso em: 15 jun. 2019.

CAST, 2018. *Universal Design for Learning Guidelines - version 2.2*. [S. l.]. Disponível em: <https://udlguidelines.cast.org/>. Acesso em: 20 out. 2020.

CAVALCANTI, Deiverson Rodrigo Candido. *Análise do movimento do móvel usando o trilho de ar e a plataforma Arduino como aquisição de dados*. 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/2118>. Acesso em: 20 out. 2020.

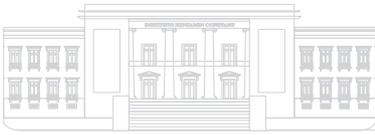
COSTA, Luciano Gonsalves; NEVES, Marcos Cesar Danhoni; BARONE, Dante Augusto Couto. O ensino de Física para deficientes visuais a partir de uma perspectiva fenomenológica. *Ciência e Educação*, Bauru, v. 12, n. 2, p. 143-153, ago. 2006.

DICKMAN, Adriana Gomes; FERREIRA, Amauri Carlos. Ensino e aprendizagem de Física a estudantes com deficiência visual: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 8, n. 2, maio/ago. 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4020/2584>. Acesso em: 15 jun. 2019.

FERREIRA, Amauri Carlos; DICKMAN, Adriana Gomes. Ensino de Física a estudantes cegos na perspectiva dos professores. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS*, 6. 2007. Florianópolis, Santa Catarina. Atas [...]. Florianópolis, Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

FETZNER, Gilberto. *Experimento de baixo custo para o ensino de Física em Nível Médio usando a placa Arduino-UNO*. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MEDEIROS, Arthur *et al.* Uma estratégia para o ensino de associações de resistores em série/paralelo acessível a alunos com deficiência visual. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA*, 17. 2007, São Luís. Atas [...]. São Luís: Sociedade Brasileira de Física, 2007.



MOURA, Henrique Alberto . *Cinémática Inclusiva*. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2021. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1u_2_3tgvRatKycfFUSvoVi4yp9OGd1Ib/view.

MORAES, José Pereira; SILVA JUNIOR, Romualdo Santos. Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na aprendizagem significativa. *Aprendizagem significativa em Revista*, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 61-67, dez. 2014.

MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999. cap. 7, p. 109-122.

NUNES, Clarisse; MADUREIRA, Isabel. Desenho Universal para a Aprendizagem: construindo práticas pedagógicas inclusivas. *Da investigação às práticas*, Lisboa, Portugal, v. 5, n. 2, p. 126-143, set. 2015.

SANTOS, Max Luiz de Oliveira. *Experimento de Galileu do Plano Inclinado em sala de aula*. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

STRIQUER, Marilúcia dos Santos Domingos. O processo de mediação: das definições teóricas às propostas pedagógicas. *EUTOMIA – revista de Literatura e Linguística*, Recife, v. 19, n. 1, p. 142-156, jul. 2017.

WÜRFEL, Rudiane Ferrari. *Contribuições da teoria Histórico-Cultural de Vigotski para a educação especial: análise do GT 15 da ANPED*. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

Recebido em: 26.6.2022

Revisado em: 10.10.2022

Aprovado em: 15.10.2022