

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS IMPRESSOS EM 3D PARA O ENSINO DIDÁTICO DE MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Layza Vitoria Nogueira de Oliveira¹, Gislene Micarla Borges de Lima¹, José Luciano da Fonseca Filho¹, Cintia Raquel Duarte de Lima Candido¹, Arthur Vitor Tavares de Andrade¹, Athaanderson Edson Matias dos Santos¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Angicos, Brasil
layza.oliveira21292@alunos.ufersa.edu.br

Resumo: O ensino de Física no Brasil enfrenta desafios na mediação entre teoria e prática. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um protótipo didático experimental, via manufatura aditiva, para o ensino de conceitos de motor de corrente contínua. Os resultados indicam que a manufatura aditiva é uma alternativa viável, de baixo custo e durável, tornando a experimentação uma realidade contínua no ambiente escolar.

Palavras-chave: Motor; Protótipo; Modelagem; Fiação; Ensino de Física.

INTRODUÇÃO

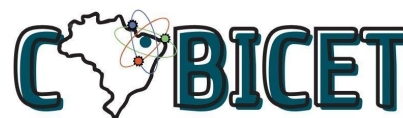
O cenário histórico e contemporâneo do ensino de Física no Brasil é marcado por um persistente modelo estrutural pautado na aprendizagem mecânica, na memorização cega de formulações matemáticas e no adestramento técnico voltado para a superação de exames padronizados (MOREIRA, 2021; MOREIRA, I., 2018). Esse diagnóstico crítico foi pioneiramente pontuado pelo físico norte-americano, ganhador de Nobel, Richard Feynman durante suas estadas no país entre as décadas de 1950 e 1960. Conforme apontado por Moreira, I. (2018), Feynman observou que o corpo discente brasileiro demonstrava uma notável capacidade de reproduzir definições e textos inteiros de forma literal, mas manifestava uma completa incapacidade de transpor esse conhecimento quando o contexto ou a terminologia das interrogações sofriam pequenas modificações longitudinais. O aprendizado limitava-se ao domínio do jargão científico, desprovido de qualquer conexão semântica ou compreensão empírica com os fenômenos da realidade física global.

Longe de se restringir a um problema pretérito, essa distorção metodológica permanece arraigada nas práticas pedagógicas nacionais vigentes, conforme reiteram os alertas contemporâneos do pesquisador Marco Moreira. Moreira (2021) assinala que a rotina escolar da educação básica continua massivamente concentrada na resolução de exercícios puramente algorítmicos e descontextualizados, privando a disciplina de seu caráter dialógico, crítico e investigativo. Esse modelo reducionista confunde a apropriação conceitual profunda com a mera reprodução verbal de termos técnicos, gerando o que

o autor qualifica como um "ensino para testagem", cuja finalidade exclusiva restringe-se ao cumprimento de metas burocráticas de avaliação (MOREIRA, 2021).

Os reflexos dessa estagnação pedagógica são evidenciados de forma quantitativa nos relatórios do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA). Nos dados consolidados da edição de 2022, o Brasil registrou uma pontuação média de 403 pontos na área de Ciências, patamar consideravelmente inferior à média estipulada pelos países integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que se situa em 485 pontos (Inep 2023). O indicador mais alarmante revela que 55% dos estudantes brasileiros avaliados de 15 anos não atingiram o nível básico de proficiência científica, classificado abaixo do Nível 2, o que denota sérias dificuldades para interpretar e aplicar conceitos elementares no cotidiano (Inep, 2023). Em contrapartida, a proporção de alunos que alcançaram os níveis de excelência cognitiva, compreendidos entre os Níveis 5 e 6, permaneceu estagnada em uma faixa residual de aproximadamente 1%, reforçando a incapacidade crônica do sistema em converter conteúdos programáticos em competências intelectuais complexas.

Em resposta a essa conjuntura desfavorável, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) prescreve uma reestruturação profunda para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio (BRASIL, 2018). Sob as diretrizes do letramento científico, a normativa determina a substituição da compartimentação rígida das disciplinas por um olhar articulado entre Biologia, Física e Química,



estruturado a partir de três grandes eixos temáticos: Matéria e Energia, Vida e Evolução, e Terra e Universo (BRASIL, 2018). A BNCC preconiza que o estudante assuma uma postura de protagonismo por meio da dimensão investigativa contínua, sendo estimulado a formular hipóteses, isolar variáveis, manusear instrumentos de medição e construir modelos explicativos com suporte em dispositivos e aplicativos digitais de simulação e cálculo.

Contudo, a materialização dessas prerrogativas normativas esbarra no histórico e severo *deficit* de infraestrutura laboratorial que caracteriza a rede pública de ensino do país. Diante da ausência de espaços formais de experimentação, pesquisadores apontam como alternativa a utilização de práticas experimentais de baixo custo, estruturadas com materiais recicláveis, como uma via de democratização pedagógica (SANTOS; PIASSI; FERREIRA, 2004; SILVA *et al.*, 2022). Embora tais atividades possuam relevância ao aproximar fenômenos abstratos do ambiente imediato dos estudantes, sua implementação operacional manifesta limitações estruturais intrínsecas. O uso predominante de materiais de descarte resulta em aparatos marcados pela extrema fragilidade mecânica e baixíssima durabilidade. Esses instrumentos desregulam-se com facilidade durante o manuseio coletivo, inviabilizando a coleta de dados quantitativos precisos exigidos pelo Ensino Médio, e demandam constantes reconstruções por parte do corpo docente. O contato ocasional com a atividade prática falha em promover o letramento científico duradouro, mantendo o corpo discente retido nos patamares elementares de desempenho avaliados internacionalmente.

Diante desse impasse logístico e metodológico, torna-se imperativo conceber alternativas que superem o binarismo entre os laboratórios tradicionais de alto custo e a precariedade dos experimentos descartáveis de sucata. A superação desse gargalo encontra sustentação teórica e operacional na aproximação estratégica entre a educação básica e as instituições de ensino superior, mobilizada por intermédio de ações integradas de extensão universitária e de fomento à inovação tecnológica. A universidade, por meio de projetos de inovação, pode atuar como polo irradiador de soluções metodológicas, detém o potencial de projetar e produzir recursos didáticos otimizados.

Nesta perspectiva integradora, o presente trabalho introduz o desenvolvimento de um instrumento didático direcionado ao ensino de Física, estruturado por meio da convergência entre a manufatura aditiva e a incorporação de componentes eletrônicos básicos e acessíveis. A proposta ancora-se no paradigma do

baixo custo financeiro de produção, alinhando-se estritamente às restrições orçamentárias que circunscrevem a administração pública escolar, porém contorna as deficiências de durabilidade e precisão inerentes aos materiais alternativos rudimentares. Ao empregar filamentos e matrizes poliméricas padronizadas de alta resistência, combinados a sensores digitais de medição precisa, concebeu-se um equipamento robusto, plenamente replicável em escala e configurado sob um formato estritamente portátil. Cumpre salientar que, embora o material aqui proposto não se pretenda inovador no sentido de sua estrutura teórica fundamental, ele se consolida como uma alternativa metodológica perfeitamente viável: abre caminhos para que escolas equipadas com impressoras 3D manufaturem seus próprios experimentos de forma autônoma para o ambiente escolar ou, em outra vertente, permite que a universidade funcione como meio de fornecimento contínuo dessa tecnologia por intermédio de projetos de extensão que tenham a escola pública como público-alvo prioritário. Desta forma, o dispositivo atua como um laboratório itinerante, desenhado especificamente para viabilizar a transição de uma prática experimental esporádica para uma rotina de investigação sólida e sustentável nas salas de aula de ciências.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do instrumento didático proposto neste trabalho teve como ponto de partida uma pesquisa nas Leituras de Física do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GrEF), especificamente na leitura 14 do volume de Eletromagnetismo, intitulada "Motores Elétricos" (GrEF, 1998). A proposta central foi identificar as atividades experimentais e as discussões conceituais presentes nessa leitura. E adaptá-las para a construção de um instrumento físico de ensino de magnetismo produzido por manufatura aditiva, transpondo para um contexto tecnológico contemporâneo as experiências originalmente concebidas com materiais simples e de baixo custo.

A leitura 14 do GrEF alinha-se ao pensamento de que são situações reais que podem fornecer sentido aos conceitos físicos, e que o processo de construção de aprendizagem significativa, contextualizada com situações cotidianas do aluno devem fazer mais sentido ao aprendiz. Como atividade complementar, denominada "construa você mesmo um motor elétrico", o material didático propõe a montagem de um motor elétrico simples, com a utilização de materiais artesanais e de acesso fácil: um pedaço de 90 cm de fio de cobre esmaltado número 26, enrolado para criação de uma bobina o qual faz o papel do eixo de um motor; um ímã permanente, posicionado sobre uma base de madeira; uma pilha

comum com fonte de energia elétrica e duas presilhas metálicas de cartolina, dobradas e encaixada na madeira, que funcionam como suporte e contato elétrico da bobina. Ao longo do processo de montagem, o material alerta para a necessidade de raspagem de um lado da extremidade da bobina. Este recurso permite o funcionamento intermitente do circuito, e conseqüentemente, o giro da bobina. O material proposto foi publicado no ano de 1998 e hoje ainda apresenta forte potencial didático para os estudos de física básica. A Figura 1 traz uma adaptação da ilustração proposta por GreF (1998).

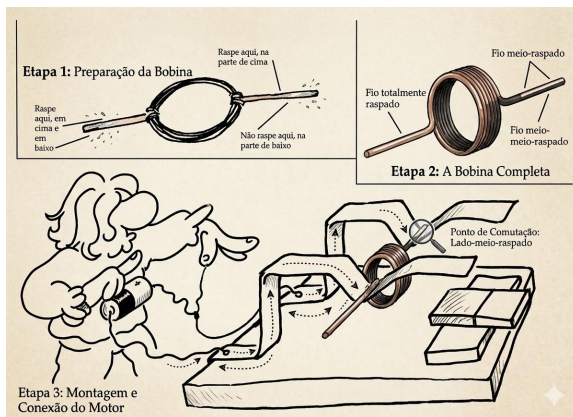


Figura 1. Ilustração de construção de um motor de corrente contínua usando materiais de baixo custo. Adaptado de GreF (1998).

Após a leitura do material do GreF e a reprodução do motor de corrente contínua proposto, foi identificado que, embora a atividade apresentasse um grande potencial para o desenvolvimento de oficinas pontuais, sua aplicação contínua em sala de aula, por professores da educação básica, pode ser comprometida por algumas limitações de ordem prática. A utilização de uma pilha como fonte de energia impõe tempo de uso do instrumento, uma vez que ocorre o processo de descarga, sendo necessária a reposição. As presilhas de cartolina, por sua vez, são estruturalmente frágeis e sujeitas a desgastes mecânicos, especificamente em uso contínuo em sala de aula. Estes fatores levaram a pensar na possibilidade de um instrumento que tivesse um potencial didático para o estudo de componentes presentes em motores, que apresentasse boa durabilidade e também não tivesse alto valor no processo de construção. Nesta perspectiva, a manufatura aditiva aparece como uma possível solução a essas questões, permitindo a construção de uma versão de motor de corrente contínua durável e portátil. Podendo, então, contribuir com o ensino da física na educação básica.

Para a modelagem das peças, foi utilizado o *software* gratuito e online de modelagem 3d e simulação de circuitos, TinkerCAD. A escolha justifica-se na

praticidade e em sua interface intuitiva, tornando um ótimo *software* para um primeiro contato com a modelagem 3D. A construção do modelo do protótipo do motor de corrente contínua, se baseia tanto na ideia inicial de baixo custo e praticidade na impressão, quanto na aplicação prática do experimento. Sendo assim, o modelo é dividido em duas (2) peças, a primeira, podendo ser vista na Figura 2, é referente a base que segura as hastes onde será posto a bobina.

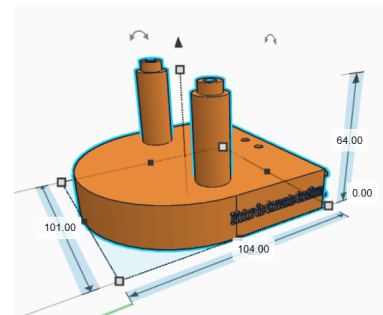


Figura 2. Modelo 3D da base das hastes. Fonte: Autoria Própria

Já a segunda peça, demonstrada na Figura 3, se refere tanto ao suporte de pilha PP3 quanto ao interruptor *liga/desliga* do protótipo (chave).

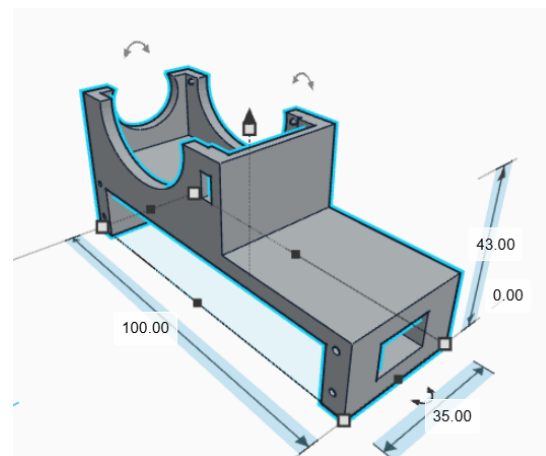


Figura 3. Modelo 3D do suporte de pilha junto ao encaixe do interruptor. Fonte: Autoria Própria

A Figura 4 ilustra o conjunto formado pela junção das peças apresentadas nas Figuras 2 e 3.

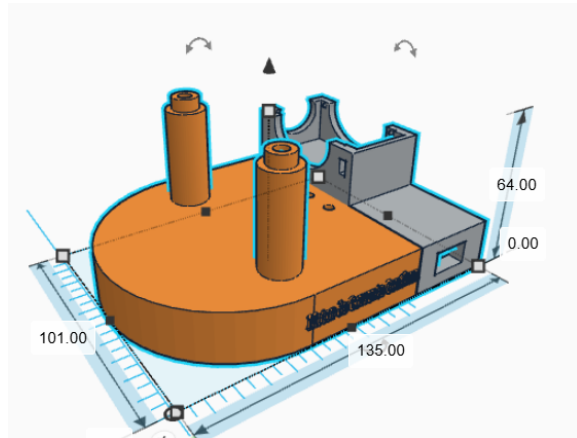


Figura 4. Modelo 3D do protótipo e suas medidas. As medidas de comprimento estão em milímetros. Fonte: Autoria Própria

O detalhamento do acoplamento das peças é mostrado na Figura 5, revelando o uso de pequenos pinos cilíndricos para garantir o alinhamento e o contato entre os componentes impressos individualmente. Esse sistema, baseado em encaixes por pressão, assegura a fixação necessária para a manipulação do protótipo, portanto, mesmo sendo simples, funciona para essa primeira etapa de protótipos.

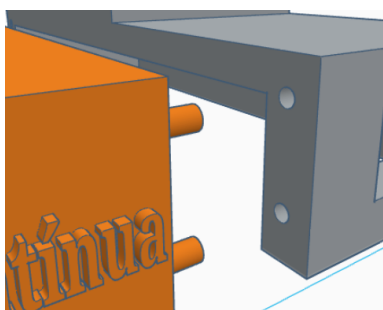


Figura 5 - Visualização dos encaixes simples entre as peças que compõem o protótipo experimental do motor de corrente contínua.

Fonte: Autoria Própria

Na tabela 1, são apresentadas as dimensões de cada peça usada na formação do modelo experimental.

Tabela 1. Dimensões do protótipo

Dimensões (mm)	Base das hastes	Suporte de Pilha
Largura	101mm	100mm
Comprimento	104mm	35mm
Altura	64mm	43mm

Fonte: Autoria Própria

Após a etapa de modelagem, executada no TinkerCAD, o próximo passo é executado pelo fatiador. Para essa etapa, foi escolhida a utilização do software *UltiMaker Cura*, um fatiador *Open-Source* compatível com diversos modelos de impressoras 3D. Nesse trecho do desenvolvimento, é importante especificar as configurações de fatiamento necessárias para que o modelo seja impresso conforme o projeto original. Para isso, deve-se especificar a impressora 3D usada, Anet ET4, bem como os principais parâmetros de impressão, incluindo as temperaturas de bico e da mesa. Também é necessário definir a densidade de preenchimento a ser adotada na versão de testes, uma vez que esse parâmetro influencia diretamente o peso e a resistência da peça. Além disso, devem ser indicados o tipo de suporte utilizado para sustentar áreas paralelas à mesa, a velocidade de impressão, tanto nas primeiras camadas quanto ao longo de toda a peça, e o tipo de filamento que será utilizado pela impressora. Na tabela 2, é especificado cada dado informado referente às configurações usadas no fatiador do protótipo do motor de corrente contínua.

Tabela 2. Características do fatiador

Especificações	Valor
Temperatura (bico / mesa)	205° / 65°
Densidade	8%
Tipo de suporte	ZigZag
Velocidade de parede (superior/inferior)	40 / 40 mm/s
Velocidade de parede (exterior/interior)	20 / 30mm/s
Material	PLA

Fonte: Autoria Própria

Ao definir as características necessárias para imprimir a peça, o *Software UltiMaker Cura* disponibiliza uma visualização detalhada das etapas do processo, incluindo a localização dos suportes e a simulação da deposição de camadas do bico extrusor, conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7.

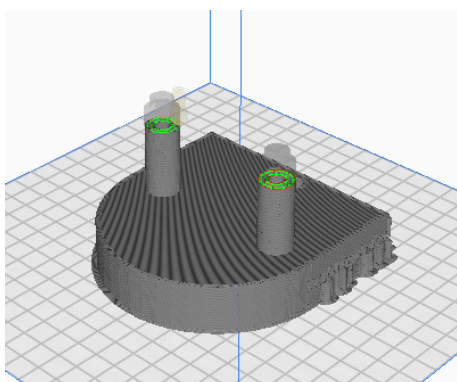


Figura 6. Protótipo visualizado pelo fatiador a partir do movimento do bico
Fonte: Autoria Própria

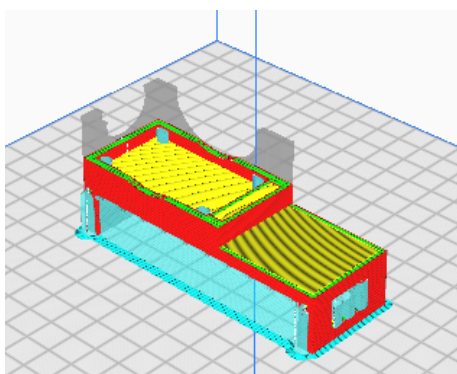


Figura 7. Visualização das etapas de impressão do modelo
Fonte: Autoria Própria

Além da demonstração do caminho trilhado pelo bico, o *software* também disponibiliza estimativas para o tempo de fabricação e ao custo de filamento tanto em massa (gramas) quanto em comprimento (metros). Informações mais detalhadas sobre esses parâmetros podem ser consultadas na tabela 3.

Tabela 3. Estimativas de impressão

Estimativa	Base das hastes	Suporte de pilha
Tempo de fabricação	6h52min	4h2min
Custo de filamento (g/m)	71g / 23,79m	38g / 12,59m

Fonte: Autoria Própria

Após a conversão do arquivo STL (formato de modelo 3D segmentado para possibilitar a leitura pelo *software* de fatiamento) em código G (*G-code*), linguagem interpretada pelas impressoras 3D, a etapa final consiste na fabricação do protótipo pela máquina, como pode ser notado pelas Figuras 8 e 9.

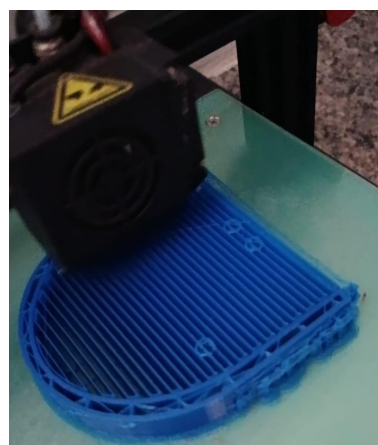


Figura 8. Andamento de impressão da base das hastes
Fonte: Autoria Própria

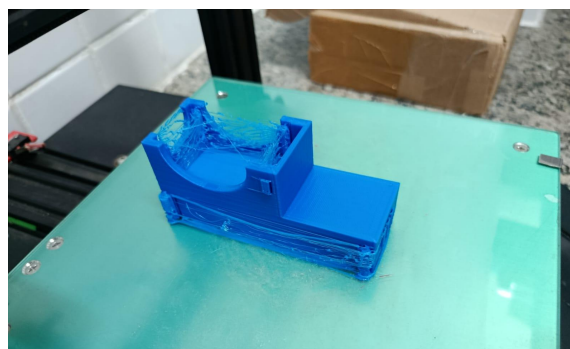


Figura 9. Encaixe de pilha impresso
Fonte: Autoria Própria

Após a impressão, a peça requer preparação para uso. O processo envolve a remoção dos suportes, seguida pelo lixamento da peça para um melhor acabamento e ajustes, caso necessário. Por fim, se realiza testes com todos os componentes planejados na etapa pré-modelo, a fim de verificar se a peça atende a todos os requisitos do projeto. Essa fase é ilustrada pelas Figuras 9, 10 e 11.

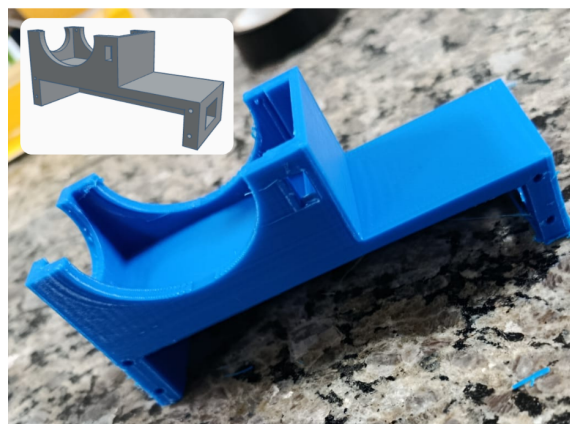


Figura 10. Protótipo sem suportes
Fonte: Autoria Própria

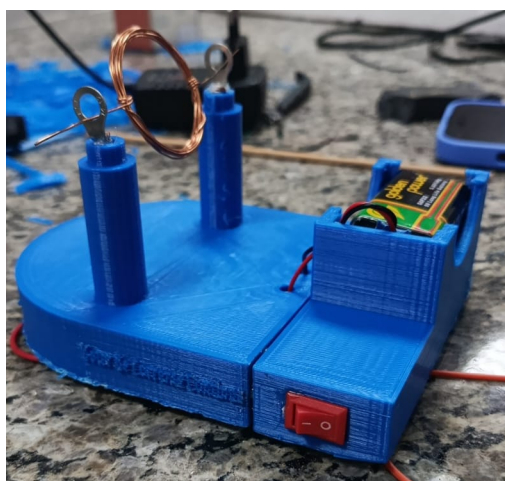


Figura 11. Protótipo montado
Fonte: Autoria Própria

A concepção do modelo baseia-se na otimização da disposição dos componentes e na visualização harmoniosa oferecida pela carcaça, buscando promover um modelo intuitivo e educativo. A proposta prioriza a simplicidade e a funcionalidade, garantindo que a montagem seja clara e seu uso seja satisfatório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento do modelo experimental para a aplicação dos conceitos do motor de corrente contínua, o protótipo passou por diversas mudanças a como ele se encontra hoje, seja em forma quanto na disposição dos elementos que compõem o experimento. A Figura 12 ilustra parte dessas modificações, destacando o processo de otimização estrutural realizado para conciliar didática, estética, praticidade e baixo custo.



Figura 12. Evolução dos modelos projetados ao longo do processo de desenvolvimento.
Fonte: Autoria Própria

A escolha do formato foi realizada considerando a facilidade de manuseio do dispositivo e a preservação da integridade estrutural das hastes, especialmente durante a incorporação do material condutor. Por sua vez, a seleção da fonte de energia baseou-se na relação entre autonomia e corrente nominal do motor. Do ponto de vista da montagem, optou-se pela segmentação do suporte de pilhas e interruptor em relação à base e hastes, com o objetivo de reduzir o tempo de espera para se ter uma peça completa e

evitar os possíveis riscos que poderiam vir a acontecer com os dois juntos, uma vez que a impressão da estrutura completa demandaria 10 horas e 34 minutos, inviabilizando o monitoramento constante do equipamento e da peça. Tal preocupação baseou-se nas constantes falhas que ocorreram na etapa inicial do desenvolvimento, tais como paradas inesperadas por superaquecimento e interrupções na impressão derivados do rompimento do filamento. Adicionalmente, a segmentação das peças permite variadas escolhas de ângulo para impressão, possibilitando, então, um melhor gerenciamento da peça com suportes e evitando desperdício de material.

Ainda nessa etapa da preparação da peça, na Tabela 4 poderá ser visualizado como a velocidade do bico extrusor impacta no seu acabamento.

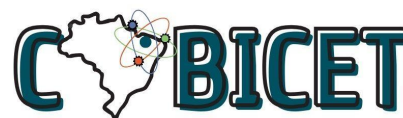
Tabela 4. Velocidade de impressão da primeira camada e a qualidade estrutural das peças.

Velocidade inicial (mm/s)	Qualidade da primeira camada	Acabamento superficial
20 - 25 mm/s	Excelente aderência a mesa	Uniforme
30 - 40 mm/s	Média aderência à mesa	deformado

Fonte: Autoria Própria

Além da velocidade da camada inicial, outro fator que contribuiu para a deformação de algumas peças durante o processo de fabricação foi a distância inadequada entre o bico extrusor e a mesa de impressão. Quando distantes, o contato do filamento a mesa demora alguns milissegundos, o que favorecia o resfriamento prematuro do filamento, reduzindo sua capacidade de adesão à mesa de impressão, consequentemente, o protótipo começava a descolar e começava a se deformar. No pior dos casos, o atrito gerado entre o bico e a peça ou entre o filamento que está sendo depositado e a peça, podendo fazer com que a peça seja deslocada para uma das extremidades da mesa de impressão ou até mesmo projetada para fora.

Na construção do modelo 4 do motor de corrente contínua, foi escolhido segmentá-lo em 2 partes, ambas unidas por pequenos pinos cilíndricos como já demonstrado na Figura 5. Em outras versões, do mesmo experimento, o tamanho dos pinos era maior, como pode ser visto na tabela 5, tanto em seu comprimento quanto em sua largura, tornando-os mais resistentes a certos atritos como a retirada dos suportes do mesmo. Já no modelo final, as escolhas de dimensões mudaram e o tamanho dos pinos também. Eles ficaram menores, mais finos e frágeis,



resultando na quebra de alguns durante a retirada do protótipo da mesa de impressão, os que restaram tiveram uma grande dificuldade para encaixar na outra peça que os recebe.

Tabela 5. Qualidade dos pinos de encaixe

Versões	N	Dimensões (altura x largura x comprimento)	Qualidade
Modelo 1	0	-	-
Modelo 2	3	3x3x5 mm	Ótima resistência
Modelo 3	3	3x3x5 mm	Ótima resistência
Modelo 4	4	2x2x4 mm	Baixa resistência

Fonte: Autoria Própria

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do protótipo experimental possibilitou a exploração do funcionamento do motor de corrente contínua por meio de um modelo simples, acessível e intuitivo, demonstrando-se uma proposta viável para o ensino desse conteúdo. Além disso, evidenciou-se que a otimização das configurações de impressão bem como a atenção ao acabamento e às dimensões dos componentes, são fatores determinantes para a qualidade final de modelos funcionais. Como perspectivas futuras para o desenvolvimento do protótipo, sugere-se modelos mais aplicados à interação entre o experimento e o estudante, trazendo, então, novas metodologias para explicar determinadas ações e conceitos do próprio experimento dentro da mesma carcaça impressa.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial e a Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Norte pelo suporte financeiro, professores e colegas que contribuíram para a realização da pesquisa de extensão e do trabalho completo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.

GRUF – GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. Motores elétricos. In: COPELLI, Anna Cecília et al. **Leituras de Física: Eletromagnetismo**. Coordenação de Luís Carlos de Menezes e Yassuko Hosoume. São Paulo: Instituto de Física da USP, 1998. Leitura 14, p. 53-56. Disponível em <https://fep.if.usp.br/~profis/arquivo/gruf/blocos/eletro3.pdf>. Acesso em: 29 maio 2026.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Notas sobre o Brasil no PISA 2022**. Diretoria de Avaliação da Educação Básica (DAEB). Brasília, DF: Inep/MEC, 2023.

MOREIRA, Ildeu de Castro. Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, e4203, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, supl. 1, e20200451, 2021.

SANTOS, L. P. C.; PIASSI, L. P. C.; FERREIRA, N. C. Atividades experimentais de baixo custo no ensino de física: uma análise da produção acadêmica inicial. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2004, Jaboticatubas. **Anais [...]** Jaboticatubas: SBF, 2004.

SILVA, Y. T. *et al.* Experimento de baixo custo para o ensino de física óptica: o caso da Lei de Malus. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, e20210375, 2022.