

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Física

INSTRUMENTOS PARA O ENSINO DE FÍSICA:
UMA PERSPECTIVA A PARTIR DA IMPRESSÃO 3D

Eduardo Gomes Lacerda

Prof. Dr. Eugenio Maria de França Ramos (Orientador)

Rio Claro (SP)

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

EDUARDO GOMES LACERDA

INSTRUMENTOS PARA O ENSINO DE FÍSICA:
UMA PERSPECTIVA A PARTIR DA IMPRESSÃO 3D

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção
do grau de Licenciado em Física.

Rio Claro - SP

2024

L131i

Lacerda, Eduardo Gomes

INSTRUMENTOS PARA O ENSINO DE FÍSICA: UMA
PERSPECTIVA A PARTIR DA IMPRESSÃO 3D / Eduardo Gomes

Lacerda. -- Rio Claro, 2024

84 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura - Física) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e
Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Eugenio Maria de França Ramos

1. Instrumentação para o Ensino de Física. 2. Materiais didáticos
experimentais. 3. Impressão 3D. 4. Mecânica. I. Título.

EDUARDO GOMES LACERDA

INSTRUMENTOS PARA O ENSINO DE FÍSICA: UMA
PERSPECTIVA A PARTIR DA IMPRESSÃO 3D

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Comissão Examinadora

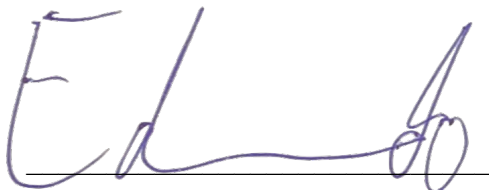
Prof. Dr. Eugenio Maria de França Ramos (Orientador)

Prof. Ms. Adriel Fernandes Sartori

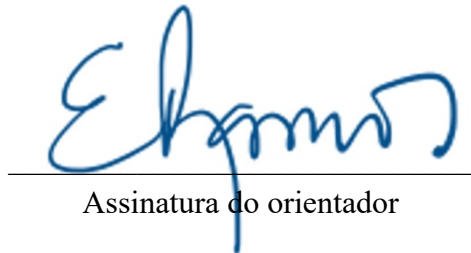
Prof. Dr. André Luis Prando Livorati

Prof^ª Dr^ª Bernadete Benetti (Suplente)

Rio Claro, 22 de novembro de 2024.



Assinatura do aluno



Assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de alguma forma, me apoiaram nessa jornada que foi a graduação.

Primeiramente, à minha família. À minha mãe, Adriana, e meu irmão, Fernando, que sempre estiveram comigo em todos os momentos independente do que acontecesse e por sempre me incentivarem a seguir a carreira de professor. Ao meu pai, Wallace, que, por mais que não esteja mais entre nós, sempre me incentivou e me inspirou a ser uma pessoa melhor. Aos meus tios, primos e avós cuja presença e apoio foram fundamentais ao longo dessa trajetória.

À minha namorada, Letícia, que está comigo desde muito antes da graduação e permanece do meu lado me apoiando em todos os momentos.

Aos amigos de Taubaté, Dedini, Júlia, Greyce, Mafe, Gustavo, Bonno, Yuri, Duda, Enzo, que estão do meu lado desde sempre e fazem dos meus finais de semana mais felizes ajudando a esquecer os problemas da graduação.

Aos amigos que fiz durante o curso, que jamais esquecerei, Inimigo, Nanzer, Irmão, Polyana, Titan, Gi, Toninho, Guilherme Cauet, Cath, Melina, Bisha, Rosca, Farofa, Punk, Ronald, Stella e todos os outros que de alguma forma tornaram a graduação um ambiente mais divertido.

Ao meu professor, Eugenio, que orientou a produção deste trabalho e por todas as conversas que serviram de guia para minha futura carreira na pós-graduação. Aos professores Adriel e Livorati por terem aceitado compor a banca de defesa deste trabalho.

Ao Show de Física, projeto que fiz parte desde meu primeiro ano, que me proporcionou grandes amizades e risadas durante os quatro anos de graduação, garantiram, semanalmente, momentos de paz e onde reafirmei a certeza de que a docência é meu caminho.

Por fim, ao Laboratório de Prática de Ensino, Materiais e Instrumentação Didática (LaPEMID), por oferecer o espaço e a oportunidade para discussões e desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

Neste estudo discutimos a utilização de impressoras 3D como instrumento para produção de ferramentas didáticas no ensino de Física. São apresentadas caracterizações dos equipamentos (impressoras 3D) e seus insumos, bem como softwares para elaboração de projetos de pequenos equipamentos didáticos de baixo custo. Apresentamos algumas possibilidades didáticas para a Educação Básica, com o uso exploratório de uma balança romana em uma turma do Ensino Fundamental e de uma rampa para estudo do atrito em atividade de uma turma do Ensino Médio destacando seu potencial para transformar conceitos abstratos em experiências concretas e interativas. Resultados bastante coerentes de medidas dos ângulos no aparato para medição do atrito obtidos pelos estudantes sugerem possibilidades consistentes da utilização didática dos aparatos construídos na impressão 3D. Observações da aplicação nas atividades do ensino fundamental indicam o potencial didático para atividades qualitativas mesmo com estudantes do início da escolarização. O estudo se caracteriza como uma pesquisa de cunho qualitativo, documental e exploratório.

Palavras-Chave: Instrumentação para o Ensino de Física, materiais didáticos experimentais, impressão 3D, Mecânica.

ABSTRACT

This study discusses the use of 3D printers as tools for producing didactic resources in Physics education. It presents characterizations of the equipment (3D printers) and their materials, as well as software for designing low-cost, small educational tools. We explore some didactic possibilities to Basic Education, using a Roman balance scale in an elementary school class and a ramp for friction studies in a high school activity, highlighting their potential to transform abstract concepts into concrete, interactive experiences. Consistent results from students' measurements of angles on the friction apparatus suggest viable educational uses for 3D-printed tools. Observations of elementary school activities indicate the didactic potential for qualitative exercises even for early school-age students. This study is characterized as qualitative, documentary, and exploratory research.

Keywords: Instrumentation for Physics Teaching, Experimental Teaching Materials, 3D Printing, Mechanics., Mechanics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Reprodução de tela do software CrealityPrint, exibindo um cilindro de 2 cm preparado para a impressão 3D.	15
Figura 2 - Diagrama de funcionamento de uma impressora do tipo FDM	16
Figura 3 - Rolo de um quilograma de filamento do tipo ABS	17
Figura 4 - Imagem da Impressora 3D Ender 3, da marca CrealityPrint.....	19
Figura 5 - Impressora 3D Form 3+, da marca FormLabs, que utiliza a técnica SLA	20
Figura 6 - Um quilograma de resina fotopolimerizável utilizada na técnica de SLA.....	20
Figura 7 - Comparativo entre uma hélice produzida em uma impressora do tipo FDM e uma do tipo SLA.....	21
Figura 8 - Impressora 3D Lumii DLP, da marca Phrozen, que utiliza a técnica DLP.....	22
Figura 9 - Impressora 3D Lisa X, da marca Sinterir, que utiliza a técnica SLS. z.....	23
Figura 10 - Impressora 3D EOS M290, da marca EOS, que utiliza a técnica DMLS.	24
Figura 11 - Impressora 3D Spectra H, da marca Colibrium Additive, que utiliza a técnica EBM.	25
Figura 12 - Impressora 3D HP Jet Fusion 5000 Industrial, da marca HP, que utiliza a técnica MJF.	26
Figura 13 - Impressora 3D J55 Prime, da marca Stratasys, que utiliza a técnica Polyjet.	27
Figura 14 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a ferramenta sketch.....	29
Figura 15 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a ferramenta extrude.	30
Figura 16 - Captura de tela do software Fusion360 exibindo a ferramenta extrude com a função de cortar.....	31
Figura 17 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a de criação de plano de trabalho.....	31
Figura 18 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a ferramenta revolve.	32
Figura 19 - Captura de tela do software Fusion360 exibindo a ferramenta fillet.....	33
Figura 20 - Captura de tela do software Fusion360 com o objeto produzido finalizado.	34
Figura 21 - Captura de tela do software Fusion360 exibindo a barra de ferramentas.....	34
Figura 22 - Partes impressas em 3D que compõe o experimento da balança.	37
Figura 23 - Montagem completa do experimento da balança.	37
Figura 24 - Diagrama das forcas que atuam em uma balança em uso.	38
Figura 25 - Partes impressas em 3D que compõe o experimento da rampa.....	39
Figura 26 - Montagem completa do experimento da rampa.	39
Figura 27 - Partes impressas em 3D que compõe o experimento das molas.	41
Figura 28 - Demonstração da montagem para o uso do experimento das molas.....	42
Figura 29 - Mapa conceitual exemplificando os conceitos da aprendizagem significativa de David Ausubel.....	44
Figura 30 - Imagem da organização do kit do experimento da rampa.....	46
Figura 31 - Alunos realizando o experimento da balança.....	51
Figura 32 - Alunos realizando o experimento da rampa.	53
Figura 33 - Outro grupo de alunos realizando o experimento da rampa.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tabela contendo a relação entre os materiais utilizados na impressão do tipo FDM.	18
Quadro 2 - Comparativo entre impressora Ender 3 e K1, ambas da marca Creality.	28
Quadro 3 - Tabela contendo informações sobre a produção de cada um dos objetos produzidos.	43
Quadro 4 - Dados obtidos na realização do experimento pelo Grupo A.	54
Quadro 5 - Dados obtidos na realização do experimento pelo Grupo C.	55
Quadro 6 - Dados obtidos na realização do experimento pelo Grupo G.	55

GLOSSÁRIO

- 3D: Tridimensional
- FDM: Modelagem de Deposição Fundida
- SLA: Estereolitografia
- DLP: Processamento Digital de Luz
- SLS: Sinterização Seletiva a Laser
- DMLS: Sinterização Direta a Laser em Metal
- EBM: Fusão por Feixe de Elétron
- MJF: Fusão com Múltiplos Jatos
- ABS: Acrilonitrila Butadieno Estireno
- PLA: Ácido Polilático
- PETG: Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol
- TPU: Poliuretano Termoplástico

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE QUADROS	8
Glossário	9
1 INTRODUÇÃO	11
OBJETIVOS	13
2 IMPRESSÃO 3D	14
2.1 Impressão 3D quanto aos materiais e métodos	14
2.1.1 Fused Deposition Modeling (FDM)	15
2.1.2 Stereolithography (SLA)	19
2.1.3 Digital Light Process (DLP).....	21
2.1.4 Selective Laser Sintering (SLS).....	22
2.1.5 Direct Metal Laser Sintering (DMLS).....	23
2.1.6 Electron Beam Melting (EBM)	24
2.1.7 Multi Jet Fusion (MJF)	26
2.1.8 PolyJet.....	27
2.2 Escolha da Técnica e da Impressora	27
2.3 Processo de Desenvolvimento dos Objetos	28
3 A IMPRESSÃO 3D E O ENSINO DE FÍSICA	36
3.1 Experimentos Desenvolvidos	36
3.1.1 Balança	36
3.1.2 Rampa	38
3.1.3 Molas	41
3.2 Teoria de Aprendizagem	43
3.3 Sequência Didática	45
3.4 Experiência nas Escolas	47
3.4.1 Escolas que Possuem Impressoras 3D.....	47
3.4.2 Realização de Oficinas	49
3.4.3 Inserção dos Experimentos Desenvolvidos nas Escolas.....	51
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5 REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A	61
APÊNDICE B	70

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia é frequentemente apresentada como um fator crucial para o progresso e o desenvolvimento, sendo associada a um bem social que, em conjunto com a ciência, agrega valor a uma ampla gama de produtos e serviços (Silveira; Bazzo, 2009). Essa valorização decorrente da tecnologia desperta um crescente interesse, especialmente nos ambientes educacionais, onde a inovação pode revolucionar práticas pedagógicas tradicionais.

Nos últimos anos, a popularização e a redução de custos de tecnologias, como a impressão 3D, têm sido catalisadas por iniciativas como o *Rep Rap Movement* e o *Fab@Home*, que visam desenvolver e compartilhar designs de impressoras 3D acessíveis a uma ampla gama de usuários (Su; Al'Aref, 2018). Essas iniciativas permitiram que essa tecnologia inovadora penetrasse em diversas instituições de ensino no Brasil.

Embora a presença de tecnologias diversas nas escolas esteja aumentando, isso não garante, por si só, que o ensino, especialmente o de Física, se beneficie efetivamente. A simples transição de uma lousa de giz para apresentações em slides não implica uma transformação significativa no processo de ensino-aprendizagem, pois a metodologia empregada frequentemente permanece a mesma (Moreira, 2018). Nesse sentido, a inovação não reside apenas na tecnologia, mas na forma como ela é integrada às práticas pedagógicas.

A escolha de realizar esta pesquisa foi fundamentada em diversos aspectos. Primeiramente busca-se trazer novas tecnologias para o ambiente do Ensino de Física que, muitas vezes, são negligenciadas mesmo em escolas que possuem equipamentos modernos. Durante minha experiência na disciplina de Prática de Ensino, tive a oportunidade de visitar três instituições que possuíam impressoras 3D, duas públicas e uma particular, e em todos os casos esses recursos, apesar de seu potencial significativo, estavam praticamente inativos. Essa realidade levanta a questão de como as escolas podem não estar aproveitando plenamente as inovações tecnológicas disponíveis.

Outro fator motivador para esta pesquisa é o investimento substancial realizado pela Secretaria Municipal de Educação de São Paulo, que adquiriu 583 impressoras 3D, com um custo superior a R\$ 3,8 milhões (Secretaria Municipal de Educação de São Paulo, 2019). Além disso, o Centro Paula Souza também investiu na compra de 223 impressoras, somando mais de R\$ 1 milhão (Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2021). Esses

investimentos ressaltam a importância atribuída à tecnologia na educação, mas também exigem uma reflexão crítica sobre como esses recursos estão sendo utilizados nas salas de aula.

No plano pessoal, minha trajetória como estudante e as observações realizadas como Licenciando em Física no Ensino Básico revelaram que a Física frequentemente é percebida como uma disciplina rígida e imutável. O excesso de explicações teóricas, a ênfase na matemática e a carência de exemplos práticos contribuem para a má impressão que a Física gera, resultando em um crescente desinteresse por parte dos estudantes. Assim, a proposta de incorporar uma tecnologia cada vez mais acessível nas salas de aula pode transformar as aulas de Física em experiências mais dinâmicas e envolventes, promovendo uma educação mais significativa e contextualizada. Essa mudança não apenas enriqueceria o contexto do Ensino de Física, mas também poderia reverter a tendência de desinteresse e desengajamento dos alunos.

Apesar das promessas e dos avanços proporcionados pela introdução de novas tecnologias, a adesão efetiva por parte dos professores ainda enfrenta desafios significativos. Muitas vezes, os educadores se encontram sobrecarregados com a carga de trabalho, que inclui o planejamento de aulas, a correção de atividades e a gestão de sala de aula. Essa sobrecarga dificulta a incorporação de novas metodologias e tecnologias, como a impressão 3D, nas práticas pedagógicas diárias. Além disso, a falta de formação continuada e de suporte técnico impede que os professores se sintam seguros e capacitados para explorar plenamente o potencial dessas ferramentas. Sem um ambiente que favoreça a experimentação e a inovação, é compreensível que muitos educadores hesitem em investir tempo e recursos na adoção de novas tecnologias.

Neste contexto, o desenvolvimento de modelos prontos para uso, como os que serão apresentados neste trabalho, oferece uma solução viável para aliviar a pressão sobre os professores. Ao fornecer materiais didáticos acessíveis e prontos para serem impressos, os educadores podem integrar a impressão 3D em suas aulas sem a necessidade de um entendimento profundo sobre a tecnologia ou o design dos modelos. Essa abordagem não apenas simplifica o processo de adoção da impressão 3D, mas também permite que os professores se concentrem na pedagogia e na interação com os alunos. Assim, as aulas de Física se tornam experiências mais dinâmicas e envolventes, transformando as práticas, que muitas vezes são apenas demonstrativas, em experimentos nos quais todos os alunos podem participar ativamente e manusear os materiais.

Desta forma, este trabalho está estruturado para explorar diferentes aspectos da impressão 3D e sua aplicabilidade no ensino de Física. Apresentamos os objetivos e as perguntas que

guiaram esta pesquisa. O Capítulo 2 aborda os fundamentos técnicos da impressão 3D, destacando materiais, métodos e características das diferentes técnicas de impressão. No Capítulo 3, discutimos as possibilidades pedagógicas da impressão 3D no ensino de Física, detalhando os experimentos desenvolvidos, as teorias de aprendizagem utilizadas e a aplicação prática em sala de aula. Por fim, o Capítulo 4 apresenta as considerações finais, refletindo sobre os resultados obtidos, as limitações do trabalho e perspectivas para pesquisas futuras.

OBJETIVOS

Com esse estudo nossos objetivos foram compreender o funcionamento da tecnologia da impressão 3D e estudar as possíveis aplicações que essa tecnologia tem no Ensino de Física, principalmente, na Educação Básica. A questão que guiou o estudo do trabalho foi: Como a impressão 3D pode auxiliar o Ensino de Física, tendo em vista a produção de materiais didáticos?

Por meio do presente trabalho de conclusão de curso, pretendeu-se:

- Explorar e caracterizar os processos de impressão 3D, tão como seus materiais, métodos e viabilidade no contexto educacional;
- Realizar uma pesquisa bibliográfica das temáticas: impressão 3D e Ensino de Física.
- Elaborar uma sequência didática com enfoque em um dos experimentos desenvolvidos no trabalho, relacionando o Ensino de Física na Educação Básica;

2 IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D é uma técnica um tanto quanto direta. Consiste, basicamente, na produção de um objeto do zero, que acontece em camadas. Uma analogia comum a esse tipo de processo é a construção de uma parede de tijolos, que, assim como na impressão 3D, acontece em camadas (Horvath, 2014).

Um dos primeiros processos de impressão 3D surge no Japão no começo dos anos 80 por Hideo Kodama, o método consistia na fabricação automática de modelos tridimensionais usando raios ultravioletas e uma resina fotossensível, ou seja, uma resina que solidifica ao entrar em contato com uma fonte ultravioleta. Nos artigos publicados por Hideo ele descrevia o processo de solidificar finas camadas dessa resina consecutivamente, esse processo descrito por ele foram fundamentais para o desenvolvimento da técnica de estereolitografia (SLA), que será abordada de forma mais completa no decorrer dessa seção.

Em 1984, Charles Hull criou a técnica de estereolitografia. A partir dessa criação ele fundou a empresa *3D Systems*, que, eventualmente, passou a produzir e vender impressoras que utilizam essa técnica, a primeira impressora 3D de estereolitografia foi produzida por sua empresa em 1988.

A técnica mais utilizada atualmente é a de Modelagem de Deposição Fundida (FDM), o funcionamento específico dessa técnica será abordado no decorrer dessa seção. Essa técnica foi criada por S. Scott e Lisa Crump em 1989, fundadores da empresa *Stratasys*.

A ampla comercialização da impressão 3D se deu, principalmente, com o fim da patente da empresa *Stratasys* em 2005, que deu início a dois movimentos de projetos *open source* (termo em inglês que representam projetos em que o código é aberto e disponível para qualquer um usar e adaptar). Esses projetos são o *Rep Rep Movement* e *Fab@Home*, ambos tinham como objetivo desenvolver e compartilhar *designs* de para uma impressora 3D que fosse acessível para uma gama maior de indivíduos (Su; Al'Aref, 2018).

2.1 Impressão 3D quanto aos materiais e métodos

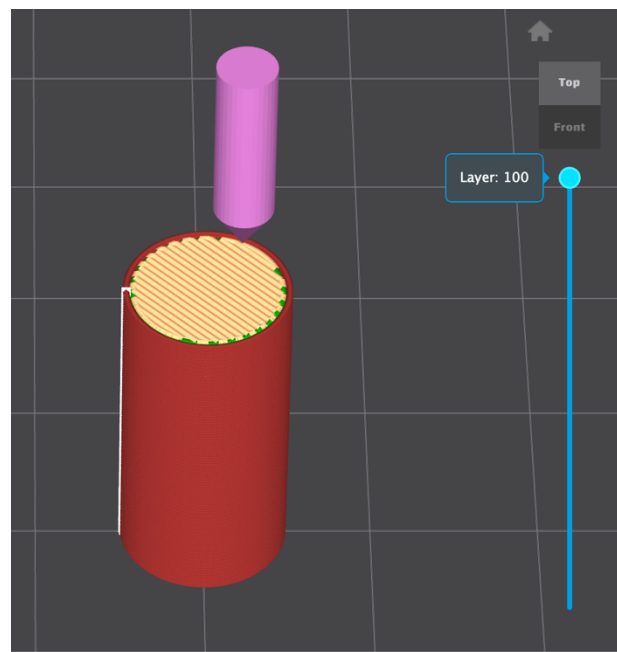
Podemos caracterizar a impressão 3D a partir dos materiais utilizados e nos diferentes métodos de funcionamento de cada impressora.

Alguns desses métodos serão explicados e aprofundados no decorrer desta seção, contendo algumas outras características, como os preços das impressoras de entrada e dos insumos utilizados para cada uma das técnicas.

2.1.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

A técnica de impressão de Modelagem de Deposição Fundida, popularmente conhecida como FDM, ou também FFF (*Fused Filament Fabrication* ou, em português, Fabricação de Filamento Fundido) é a técnica de impressão mais popular contemporaneamente, seja pela sua facilidade de manuseio, como por preços cada vez mais acessíveis. As impressoras FDM trabalham com um *software* que "fatia" o objeto 3D em várias camadas que são sobrepostas uma sobre a outra para formar o objeto (Agrawal; Thompson, 2021), como podemos observar na Figura 1, que se trata de um cilindro "fatiado" no *software* Creality Print (<https://www.creality.com/pages/download-software>), um dos *softwares* gratuitos disponíveis para isso. Na Figura 1 cada camada escolhida tem 0,2 mm de espessura, então, o cilindro de 2 cm é impresso a partir da sobreposição de 100 camadas.

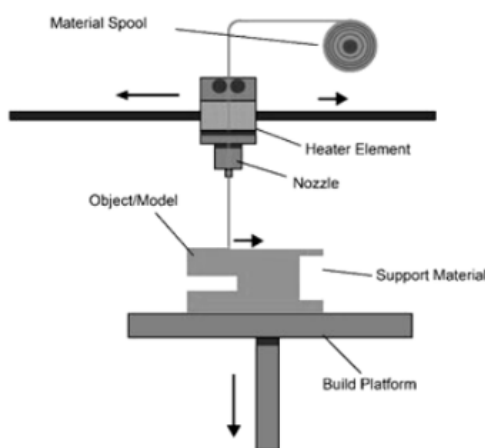
Figura 1- Reprodução de tela do software CrealityPrint, exibindo um cilindro de 2 cm preparado para a impressão 3D.



Fonte: Autor

Essa técnica consiste em, basicamente, uma máquina que possui uma extrusora (uma espécie de cabeça de impressão), que pode se movimentar tanto no plano horizontal quanto no eixo vertical, uma base de impressão, um sistema de alimentação do material de impressão, assim como no diagrama da Figura 2, e, pode ou não, ser fechada em uma espécie de caixa, a fim de manter uma temperatura mais alta dentro do ambiente de impressão (Agrawal; Thompson, 2021).

Figura 2 - Diagrama de funcionamento de uma impressora do tipo FDM



Fonte: HAGHSEFAT, Kianoush; TINGTING, Liu. FDM 3D printing technology and its fundamental properties. In: *Proceedings of the International Conference on Innovation and Research in Engineering Sciences, Tbilisi, Georgia. 2020.*

A extrusora é a parte da impressora que se movimenta no plano horizontal e vertical e deposita o material na base de impressão, é na extrusora que o material é aquecido até a temperatura específica na qual ele fica maleável e ideal para impressão.

Nessa técnica de impressão os materiais podem ser diferentes polímeros, comumente chamados de filamento, costumam ser comprados em forma de rolos de diferentes tamanhos e quantidade de material, como pode ser observado na Figura 3. Esse filamento visto na Figura 3 se trata de 1 kg de ABS (acrilonitrila butadieno estireno, em inglês ABS), um dos materiais mais acessíveis e populares para este tipo de impressão.

Figura 3 - Rolo de um quilograma de filamento do tipo ABS



Fonte: Autor

Com a técnica de fusão FDM podem ser usados diferentes materiais de filamentos, para os quais serão citados alguns dos mais populares e acessíveis, considerando suas características específicas e vantagens e desvantagens da impressão com cada material, sendo eles:

- ABS – A sigla ABS, popularmente conhecida, se trata de acrilonitrila butadieno estireno, uma resina termoplástica derivada do petróleo. O ABS apresenta características favoráveis para a utilização na impressão 3D, pois é o de mais baixo custo quando comparado a outros materiais, com um preço a partir de R\$ 45 o quilograma, e tem alta resistência física e térmica. Entretanto, como ponto negativo, apresenta dificuldade de impressão, por isso para imprimir objetos utilizando ABS é necessário que sejam mantidas altas temperaturas no bico da extrusora, na base de impressão e no volume de impressão, que é a região da impressora em que o objeto é impresso, sendo recomendado um invólucro para a impressora.
- PLA – O ácido polilático, conhecido como PLA, é um composto biodegradável produzido a partir do amido de milho ou cana de açúcar. Quando consideramos esse material para a impressão 3D devemos considerar vantagens e desvantagens, a começar pelo preço, pois um quilograma de PLA custa a partir R\$ 90,00, o dobro de um quilo de ABS, embora seja uma das opções mais baratas de filamento. Outro ponto a se considerar é quanto ao processo de impressão, no qual o PLA pode se mostrar vantajoso em comparação ao ABS, pois quando utilizado não precisa de temperaturas tão altas para imprimir objetos, nem há a necessidade de que a impressora seja fechada a fim de manter uma temperatura dentro da região em que o objeto é impresso, ou seja, com esse material é possível que sejam impressos objetos em lugares abertos e com correntes de ar.
- PETG – Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol, conhecido como PETG, é um material que possui alta resistência mecânica, química e térmica. Uma das principais vantagens ao se tratar do PETG é que o material é seguro quando em contato com alimentos. Em contrapartida sua impressão não é tão simples. Assim como o ABS, o PETG se beneficia do uso de um invólucro, pois o material também sofre contrações térmicas significativas

ao se resfriar, além disso precisa de altas temperaturas para imprimir. Seus preços podem ser a partir de R\$ 80,00 o quilo do filamento.

- TPU – O poliuretano termoplástico, conhecido como TPU, é um dos materiais mais utilizados quando tratamos de filamentos flexíveis. Esse material apresenta alta flexibilidade e resistência mecânica, o que se mostra atrativo para a produção de alguns objetos, como na fabricação de próteses que demandam maior maleabilidade. O TPU apresenta vantagens quanto a temperatura de impressão, pois não necessita de altas temperaturas, nem que a região de impressão seja mantida aquecida. Para esse material os preços para um quilo do material estão a partir de R\$ 110,00.

Quadro 1 - Tabela contendo a relação entre os materiais utilizados na impressão do tipo FDM.

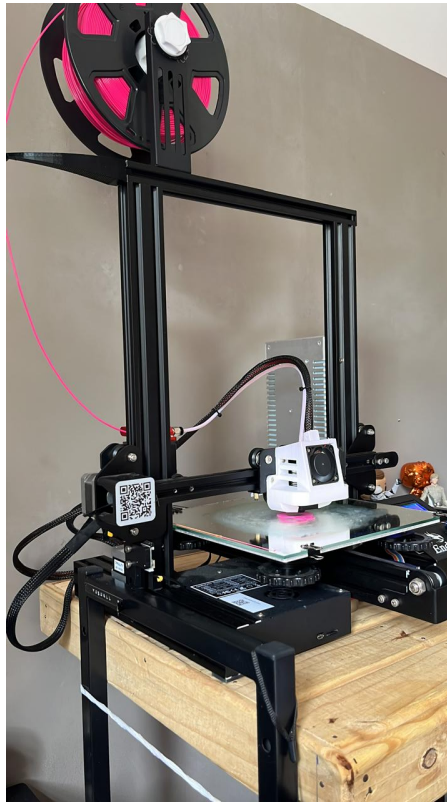
Material	Preço por kg	Vantagens	Desvantagens
ABS	R\$ 45,00	Baixo custo e alta resistência física e térmica	Dificuldade de manuseio e deformação térmica
PLA	R\$ 90,00	Facilidade de manuseio e impressão em temperaturas mais baixas	Custo elevado
PETG	R\$ 80,00	Seguro para utilizar com alimentos	Dificuldade de manuseio, deformação térmica e custo elevado
TPU	R\$ 110,00	Alta flexibilidade e resistência mecânica	Custo elevado

Fonte: Autor

Existem outros materiais que podem ser utilizados nessa técnica, como filamentos de fibra de carbono, nylon, fibra de vidro, entre outros, entretanto concentramos nossa atenção nos mencionados por serem mais acessíveis e de baixo custo

Como citado anteriormente, as impressoras do tipo FDM são as mais utilizadas dentro do mundo da impressão 3D, principalmente, por seus preços acessíveis. No ano de 2024 (ano de desenvolvimento desse trabalho) as impressoras FDM de entrada custam cerca de R\$ 1200,00, como o caso da Ender 3, impressora da marca CrealityPrint, (Figura 4), existem opções mais baratas, mas não são tão complexas e nem tão bem desenvolvidas. Esses valores em comparação aos de 2014 chegam a ser 10 vezes menor em um período de 10 anos, o que mostra como o uso dessa tecnologia se tornou acessível, até mesmo no ambiente escolar da Educação Básica.

Figura 4 - Imagem da Impressora 3D Ender 3, da marca CrealityPrint.



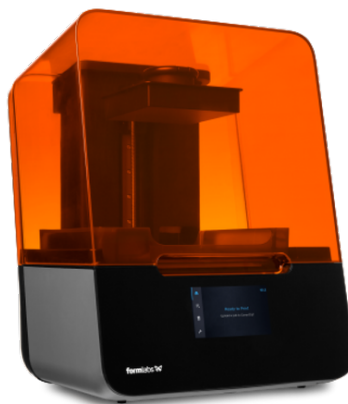
Fonte: Autor

2.1.2 Stereolithography (SLA)

A técnica de estereolitografia, popularmente conhecida como SLA, foi a primeira técnica de impressão 3D criada, ainda assim os valores das impressoras que utilizam dessa técnica são mais caros que as de FDM, tanto nos preços das impressoras quanto dos insumos, com os preços partindo de, respectivamente, R\$ 15 000,00 para a impressora e R\$ 160,00 por quilograma do material.

As impressoras do tipo SLA, um exemplo pode ser visto na Figura 5, utilizam resinas fotopolimerizáveis, Figura 6, ou seja, utilizam uma resina líquida que, ao entrar em contato com luz, endurecem, esse processo é conhecido como cura da resina (Agrawal; Thompson, 2021). Essas impressoras consistem, basicamente, de um laser que passa por pontos específicos para curar a resina, sendo guiado por conjuntos de espelhos, e uma mesa que está imersa na resina, onde o objeto é criado de cabeça para baixo, e se movimenta tanto no eixo vertical quanto no horizontal. A forma com a qual os objetos são traduzidos do computador para serem impressos é similar a utilizada na técnica de FDM, os objetos são “fatiados” e impressos em camadas, na qual o laser traça o objeto camada por camada.

Figura 5 - Impressora 3D Form 3+, da marca FormLabs, que utiliza a técnica SLA



Fonte: FormLabs. Form3+. [s.d.]. Disponível em: <https://formlabs.com/store/form-3-basic-package-without-service/#/>. Acesso em 06 de novembro de 2024.

Figura 6 - Um quilograma de resina fotopolimerizável utilizada na técnica de SLA.

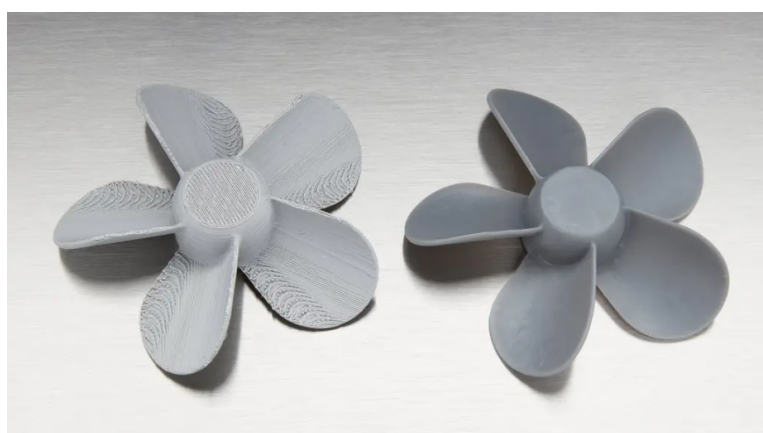


Fonte: Filamentos 3D Brasil. Resina UV Standard Creme 1kg 405nm Para Impressora 3D. [s.d.]. Disponível em: <https://www.filamentos3dbrasil.com.br/produtos/resina-uv-standard-creme-1kg-405nm-para-impressora-3d/>. Acesso em: 06 de novembro de 2024.

Essa técnica de impressão possui algumas vantagens e desvantagens a serem consideradas. O tempo de impressão é uma grande desvantagem, essas impressoras possuem um limite quanto ao tempo de cura da resina, pois há um tempo mínimo de exposição luminosa para que a resina seja propriamente curada, então, por mais que o laser possa ser rápido é necessário que ele viaje lentamente durante a impressão para garantir a cura da resina. Uma vantagem é a qualidade de impressão, a utilização das resinas fotopolimerizáveis e lasers com

feixes muito pequenos garante uma alta qualidade dos objetos produzidos, uma comparação entre a qualidade desses objetos aos produzidos por impressoras do tipo FDM pode ser visto na Figura 7. As principais desvantagens dessa técnica são o custo da manutenção e a dificuldade de utilização, tanto quando tratamos do preparo, que exige, muitas vezes, vários suportes dada a fragilidade das resinas ao serem impressas, quanto ao pós processamento dos objetos impressos, que costumam precisar de uma lavagem com álcool isopropílico e uma exposição final para garantir que a resina esteja completamente curada (Agrawall; Thompson, 2021).

Figura 7 - Comparativo entre uma hélice produzida em uma impressora do tipo FDM e uma do tipo SLA.



Fonte: FormLabs. While FDM 3D printed parts tend to have visible layer lines and might show inaccuracies around complex features, parts printed on SLA machines have sharp edges, a smooth surface finish, and minimal visible layer lines. [s.d.]. Disponível em: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>. Acesso em: 06 de novembro de 2024.

2.1.3 Digital Light Process (DLP)

A técnica DLP, em português Processamento Digital de Luz, é muito similar a técnica SLA, pois, assim como a técnica SLA, os materiais utilizados são resinas fotopolimerizáveis utilizam exposição luminosa para serem curadas. A principal diferença entre as duas técnicas é que, enquanto as impressoras do tipo SLA utilizam de telas de um laser, as impressoras DLP utilizam projetores DLP para realizar a cura da resina.

A composição da impressora também é muito similar as impressoras do tipo SLA, há uma mesa imersa na resina que se movimenta, nesse caso, apenas verticalmente e um projetor DLP que projeta uma imagem da camada que será curada, e isso é feito camada por camada. O processo de tradução do objeto 3D para ser impresso é muito similar aos outros dois já citados, a única diferença é que, nesse caso, a impressão é feita camada por camada e não como se fosse uma linha contínua como nos outros casos (Agrawall; Thompson, 2021). As impressoras do

tipo DLP são muito mais acessíveis do que as SLA, chegando a valores próximos as de FDM, podendo custar a partir de R\$ 2000,00 que é o caso da impressora da Figura 8 e os insumos têm o mesmo valor dos insumos utilizados na técnica de SLA.

Figura 8 - Impressora 3D Lumii DLP, da marca Phrozen, que utiliza a técnica DLP.



Fonte: 3D Jake. Phrozen Lumii DLP. [s.d.]. Disponível em: <https://www.3djake.com/phrozen/lumii-dlp>. Acesso em 06 de novembro de 2024.

Ao comparar essa técnica com as outras já apresentadas podemos considerar alguns pontos positivos e negativos. Assim como no caso das impressoras SLA, a qualidade de impressão é muito alta, que depende do tamanho do pixel projetado. A manutenção nesse caso é muito inferior, mas o pré e pós processamento continuam sendo muito delicados. Por fim, o tempo de impressão é menor, pois como nesse caso a impressão é feita camada por camada, a única limitação é o tempo de cura da resina que consequentemente está ligado à altura do objeto, então, imprimir um ou vários objetos de mesma altura levam o mesmo tempo (Agrawall; Thompson, 2021).

2.1.4 Selective Laser Sintering (SLS)

A técnica de sinterização seletiva a laser, popularmente conhecida como SLS, é uma técnica não tão popular e pouco comercializada quando falamos de impressão 3D, um exemplo de impressora que funciona a partir dessa técnica é o visto na Figura 9. Os motivos de sua baixa popularidade estão relacionados, principalmente, aos custos por trás dessa técnica.

Essas impressoras consistem, basicamente, de uma câmera em que um pó é colocado, uma mesa de impressão e um *laser*. O pó utilizado nessa técnica é um polímero que funde ao atingir altas temperaturas induzidas pelo *laser*. O *laser* viaja de ponto a ponto criando cada

camada, assim que uma camada é criada, outra camada de pó é colocada por cima até que seja formado o objeto tridimensional (Agrawall; Thompson, 2021).

Essas impressoras, assim como todas as outras já citadas, possui alguns pontos positivos e negativos a serem considerados. Uma das maiores desvantagens dessa técnica, já comentado anteriormente, são os altos custos tanto do equipamento quanto de manutenção, as menores impressoras que trabalham dessa forma podem custar a partir de R\$ 100 000,00. Além disso, o desperdício de material é muito alto, pois, na maioria dos casos, o máximo que pode ser reutilizado é 50% do pó restante. Em contrapartida, uma das maiores vantagens dessa técnica é o fato de que, independentemente da peça, não há necessidade de que sejam utilizados suportes na hora da impressão.

Figura 9 - Impressora 3D Lisa X, da marca Sinterit, que utiliza a técnica SLS. z



Fonte: Sinterit. Lisa X. [s.d.]. Disponível em: <https://sinterit.com/3dprinters/lisa-x/>. Acesso em 06 de novembro de 2024.

2.1.5 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Sinterização Direta a Laser em Metal, ou como é comumente chamada, DMLS, é, essencialmente, a mesma tecnologia vista na técnica de SLS, com uma principal diferença. Enquanto as impressoras do tipo SLS utilizam um polímero em pó, as do tipo DMLS, com a da Figura 10, utilizam de metais em pó.

A estrutura e o funcionamento da impressora que utiliza dessa técnica são basicamente as mesmas das que utilizam SLS. Uma câmera em que o pó é colocado, uma mesa de impressão e um *laser*, já quanto ao funcionamento, também muito similar a SLS, a mesa está imersa dentro da câmera que possui o pó e a impressão é feita camada por camada, o *laser* sinteriza a primeira camada, a mesa se desloca para baixo e uma próxima camada de pó é colocada por cima da anterior e a próxima camada é sinterizada, esse processo se repete até que o objeto seja concluído (Silva et al, 2021).

As impressoras do tipo DMLS, assim como todas as outras possuem pontos positivos e negativos, os principais pontos negativos são: o custo, que pode partir dos R\$ 100 000,00 pelo equipamento, fora todos os custos de material e manutenção, o pequeno volume de impressão e o fato de que os objetos produzidos costumam ser porosos, em contrapartida existem alguns pontos positivos importantes a se destacar, o primeiro deles é quanto a variedade de materiais que podem ser utilizados, a alta resistência das peças produzidas e, diferentemente das impressoras do tipo SLS, o pó que não é utilizado pode ser reutilizado em sua totalidade.

Figura 10 - Impressora 3D EOS M290, da marca EOS, que utiliza a técnica DMLS.



Fonte: EOS. EOS M 290. [s.d.]. Disponível em: <https://www.eos.info/metal-solutions/metal-printers/eos-m-290>. Acesso em 06 de novembro de 2024.

2.1.6 Electron Beam Melting (EBM)

A técnica de Fusão por Feixe de Elétrons, conhecida como EBM, é uma técnica utilizada, principalmente, em grandes indústrias e no ramo da medicina. Por se tratar de uma tecnologia

muito custosa é pouco vista em outros setores e existem poucas impressoras a se escolher no mercado, uma delas pode ser vista na Figura 11, os valores desses equipamentos são pouco divulgados, as poucas informações que temos são que os valores estão na casa das centenas de milhares de dólares.

Essa técnica é muito similar à de SLS e DMLS, pois o material utilizado é, também, um pó e a máquina consiste, assim como as outras, de, basicamente, uma câmera na qual o pó é colocado, uma mesa de impressão e, nesse caso, ao invés de um *laser* é utilizado um feixe de elétrons. Assim como as outras técnicas citadas, a impressão é feita camada por camada e antes da próxima camada iniciar uma camada de pó é sobreposta sobre a camada recém impressa (Negi et al, 2019).

As impressoras que utilizam da técnica EBM, assim como todas as outras, possuem prós e contras a serem considerados. As principais vantagens dessa técnica são a alta resistência dos objetos produzidos e a alta velocidade de impressão. Enquanto isso, as desvantagens são, não só o alto custo do equipamento, como também a limitação de materiais que podem ser utilizados e o baixo volume de impressão. Essa técnica é muito utilizada no ramo da medicina, na produção de próteses e implantes.

Figura 11 - Impressora 3D Spectra H, da marca Colibrium Additive, que utiliza a técnica EBM.



Fonte: Colibrium Additive. Spectra H. [s.d.]. Disponível em: <https://www.colibriumadditive.com/printers/eb-pbf-printers/spectra-h>. Acesso em 06 de novembro de 2024.

2.1.7 Multi Jet Fusion (MJF)

A técnica de MJF, como é popularmente conhecida, em tradução livre é fusão com múltiplos jatos. Existem poucas impressoras no mercado que utilizam dessa técnica, uma das principais impressoras do mercado é a presente na Figura 12. Essa técnica de impressão é similar as últimas três citadas, pois assim como as outras utiliza de materiais em pó, a grande diferença nesse caso é que a impressora possui múltiplas cabeças de impressão, que deposita materiais para a fusão e detalhamento do pó, após isso a camada é aquecida por uma unidade infravermelha. E, assim como as outras técnicas, a impressão é realizada camada por camada, solidificando uma camada por vez (Mele; Campana; Monti, 2019).

Quando estamos tratando dessa técnica as principais vantagens são a velocidade de impressão, pois cada cabeça da impressora pode viajar separadamente, a qualidade das impressões que são produzidas, o fato de o objeto poder ser impresso sem suportes, a alta resistência dos objetos produzidos e, principalmente, a possibilidade de imprimir em um espectro completo de cores. Mesmo com todas essas vantagens, a principal desvantagem dessa técnica é bastante significativa, os valores das máquinas partem de 350 mil dólares, fora esse custo do equipamento ainda há todo o custo de manutenção e o fato de que o material que deve ser utilizado é proprietário, ou seja, o único jeito de utilizar essa técnica é utilizando os materiais fornecidos pela marca da impressora.

Figura 12 - Impressora 3D HP Jet Fusion 5000 Industrial, da marca HP, que utiliza a técnica MJF.



Fonte: HP. HP Jet Fusion 5000 Industrial 3D Printer. [s.d.]. Disponível em <https://www.hp.com/us-en/printers/3d-printers/products/jet-fusion-5000.html>. Acesso em 06 de novembro de 2024.

2.1.8 PolyJet

A última das técnicas é uma técnica proprietária de uma empresa chamada *Stratasys*, um dos modelos de impressora da marca é o da Figura 13. Essa técnica é como se fosse uma combinação das impressoras MJF com as impressoras de resina.

As impressoras que utilizam essa técnica funcionam, assim como as impressoras MJF, com múltiplas cabeças de impressão que depositam pequenas gotas de resina que são curadas utilizando uma fonte ultravioleta (Stratasys, 2024). A impressão acontece como nas impressoras FDM, a mesa se desloca e as pequenas gotas são colocadas camada por camada e são curadas com o decorrer da impressão.

Quando consideramos as principais características dessas impressoras, elas já se mostram muito mais atraentes do que as anteriores. A começar com os valores, essas impressoras têm seus valores a partir de 20 mil dólares, que, por mais que ainda seja muito custosa, já se torna muito mais atraente do que as anteriores que os valores giram em torno das centenas de milhares de dólares, a qualidade de impressão também é uma característica muito interessante, a qualidade de detalhes dessas impressoras pode chegar a 16 microns. Quanto as desvantagens dessa técnica, a principal delas, assim como a da técnica anterior é o fato e que o material utilizado também é proprietário, então, diferente das resinas comuns, custam muito mais por serem exclusivos.

Figura 13 - Impressora 3D J55 Prime, da marca Stratasys, que utiliza a técnica Polyjet.



Fonte: Stratasys. Impressora 3D J55 Prime. [s.d.]. Disponível em: <https://www.stratasys.com/br/3d-printers/printer-catalog/polyjet/j55-prime/>. Acesso em 06 de novembro de 2024.

2.2 Escolha da Técnica e da Impressora

Após uma análise de todas as técnicas citadas acima e os materiais utilizados em cada uma delas definimos a técnica FDM como a melhor opção para utilizar no trabalho. Os motivos

dessa escolha foram a facilidade de utilização, custo do equipamento e dos insumos e popularidade dessa técnica.

Quanto a seleção da impressora em si, foi utilizada uma impressora modelo K1 da marca Creality para o desenvolvimento dos objetos trabalhados no decorrer desse trabalho. Em comparação com a impressora Ender 3, citada anteriormente ao descrever a técnica FDM, há algumas diferenças a serem consideradas, as principais delas podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Comparativo entre impressora Ender 3 e K1, ambas da marca Creality.

	Ender 3	K1
Preço Médio	R\$ 1200,00	R\$ 4000,00
Nivelamento da Mesa	Manual	Automático
Velocidade de Impressão	100 mm/s	600 mm/s
Impressora Fechada	Não	Sim

Fonte: Autor

Ao considerar essas diferenças podemos observar que a K1 se mostra vantajosa na produção dos protótipos até alcançar a versão final, pois é capaz de imprimir seis vezes mais rápido do que a Ender 3, o nivelamento automático da mesa também é importante, pois facilita ao calibrar a impressora, por fim, o fato da impressora ser fechada garante que mais materiais possam ser utilizados na hora da impressão. Um último fator importante a se destacar é que, por mais que existam vantagens claras entre a K1 e a Ender 3. A Ender 3 é capaz de imprimir todos os objetos desenvolvidos no decorrer desse trabalho.

Independente da impressora utilizada no desenvolvimento dos objetos ter sido a K1, a fim de obter dados mais realistas para a análise de uma possível produção em massa dos materiais desenvolvidos, o cálculo do tempo e custo de produção dos objetos será considerado a partir das impressões realizadas na Ender 3, pois essa é mais acessível e está presente dentro das escolas visitadas.

2.3 Processo de Desenvolvimento dos Objetos

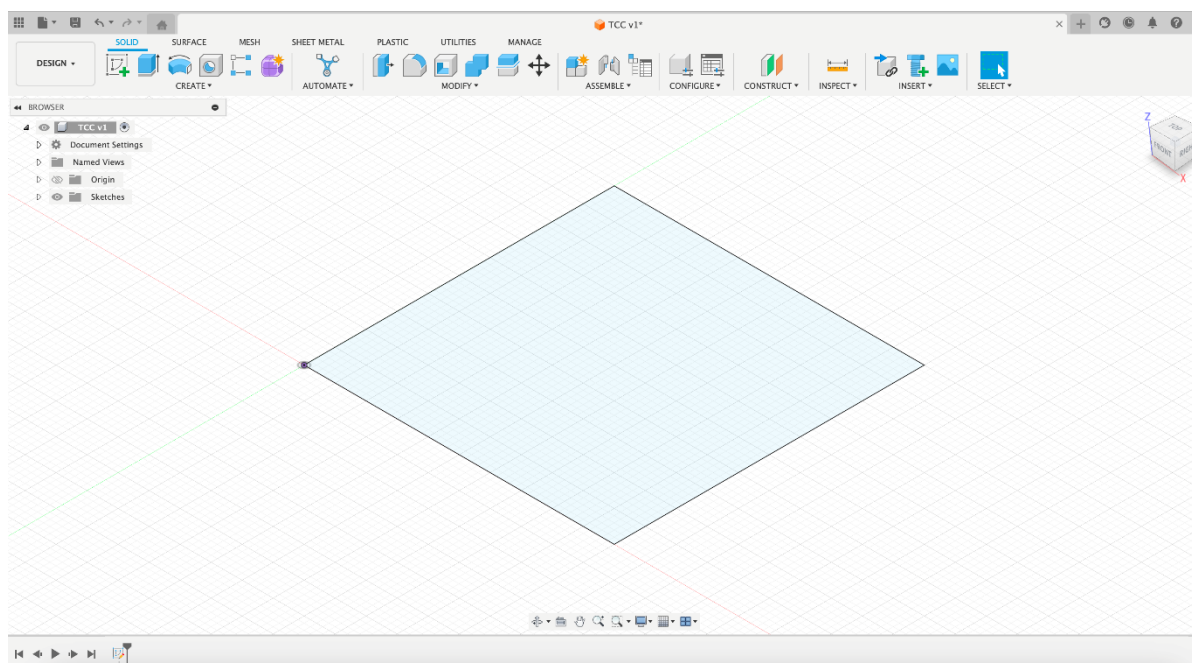
Dentro da tecnologia da impressão 3D é necessário que, antes da impressão propriamente dita, haja uma etapa de desenvolvimento que a precede. Na qual um objeto tridimensional é produzido utilizando *softwares* computacionais. Os programas utilizados que serão tratados e

utilizados no decorrer do trabalho são denominados CAD, do inglês *Computer-aided Design and Drafting*, que em português significa Desenho Assistido por Computador.

O programa que daremos enfoque é o Fusion 360, da empresa AutoDesk, utilizado para desenvolver os objetos apresentados neste trabalho. Para exemplificar o funcionamento desse programa vamos demonstrar, passo a passo, a partir de imagens, o processo de desenvolvimento de um cubo com um furo, uma face côncava e as bordas arredondadas. Esse objeto foi escolhido, pois, a partir dele, é possível demonstrar algumas das ferramentas existentes no programa.

Primeiro é produzido um desenho bidimensional de um quadrado em um plano utilizando a ferramenta de *sketch*, que pode ser observada na Figura 14.

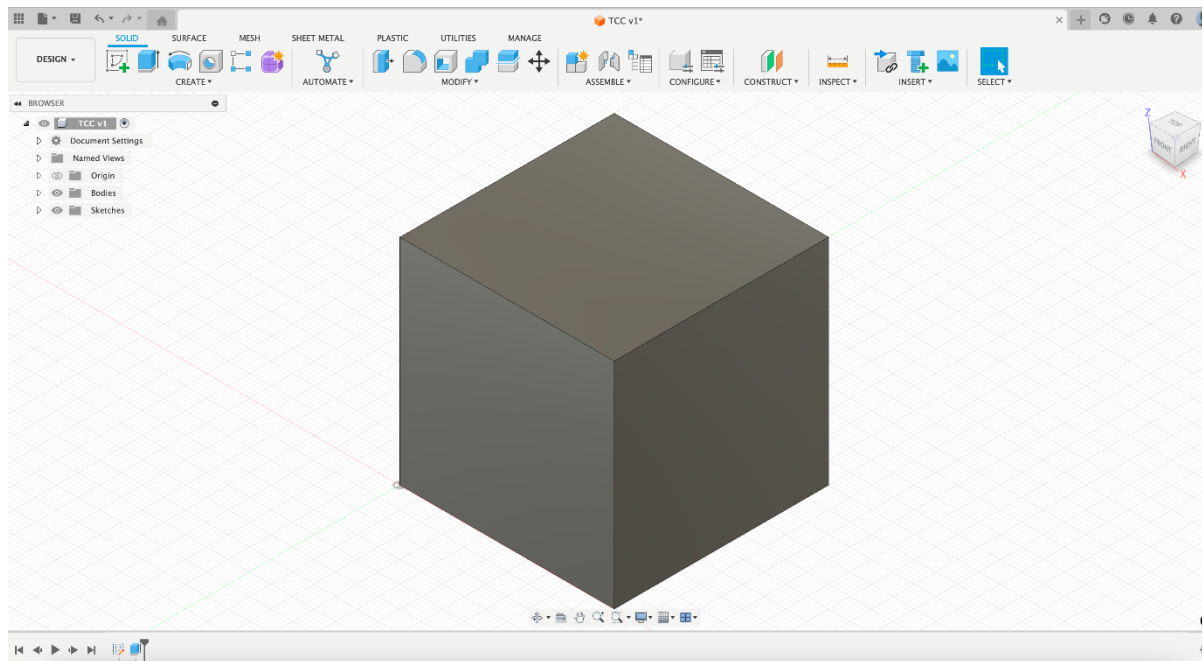
Figura 14 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a ferramenta *sketch*.



Fonte: Autor

A partir desse rascunho, podemos utilizar a ferramenta de extrusão para aumentar a altura desse objeto. Como criamos um quadrado de 50 x 50 mm, faremos a extrusão com 50 mm de altura, como na Figura 15, assim formando um cubo de 50 x 50 x 50 mm.

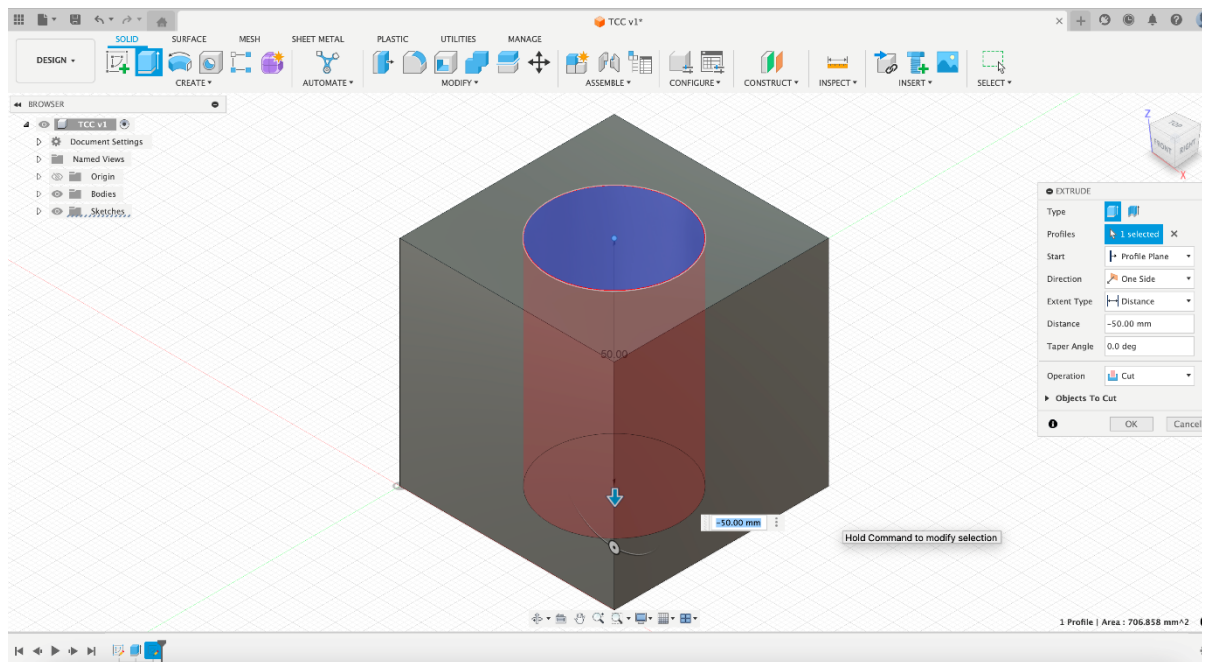
Figura 15 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a ferramenta extrude.



Fonte: Autor

Para fazer o furo começamos da mesma forma, criando o rascunho, só que, dessa vez, utilizando uma das faces do cubo como o plano, e utilizando a ferramenta de extrusão, mas, dessa vez, a extrusão é feita com a função de cortar, vista na Figura 16.

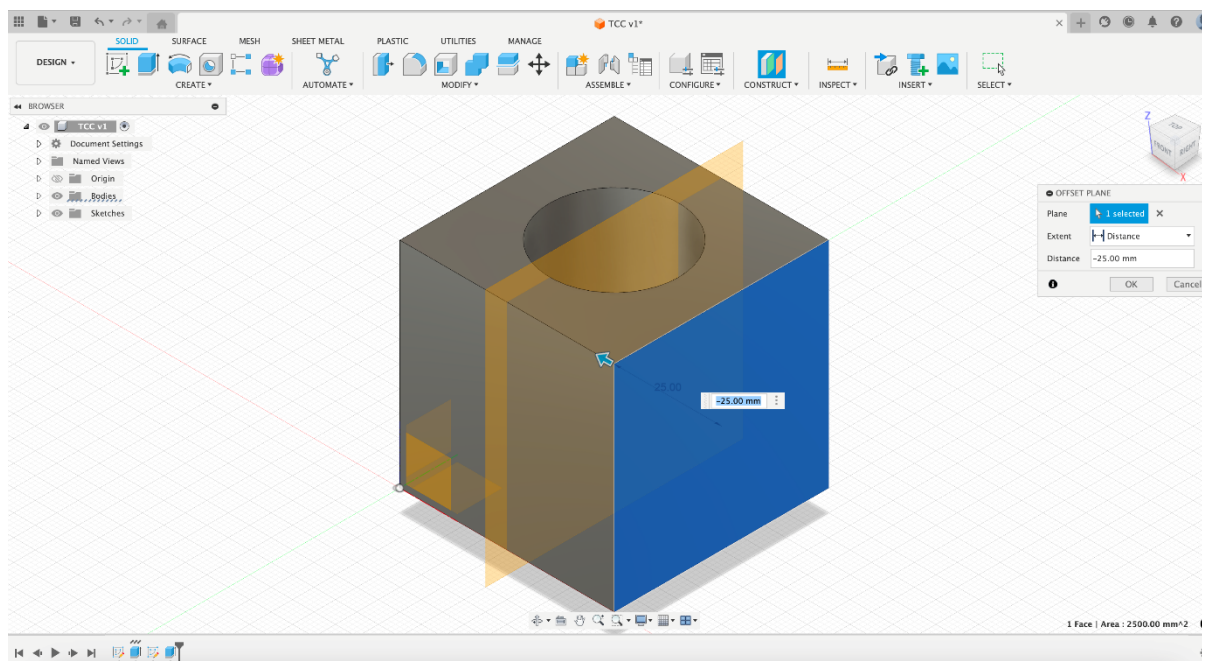
Figura 16 - Captura de tela do software Fusion360 exibindo a ferramenta extrude com a função de cortar.



Fonte: Autor

Para criar a superfície côncava em uma das faces do cubo é necessário, primeiro, criar um plano no centro do cubo, Figura 17, para isso selecionamos uma das faces e deslocamos o plano 25 mm perpendicularmente a face.

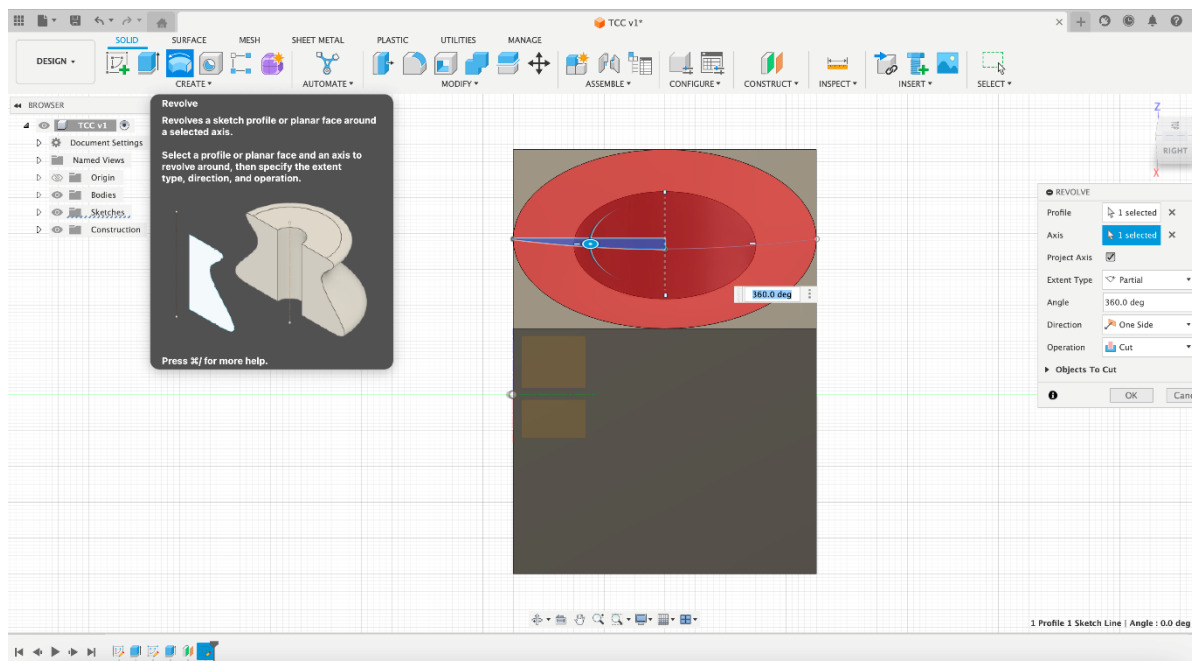
Figura 17 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a de criação de plano de trabalho.



Fonte: Autor

Agora, com o plano construído, podemos fazer um rascunho e utilizar a ferramenta de *revolve*, que cria uma figura tridimensional em torno de um eixo, usando a função de cortar, Figura 18.

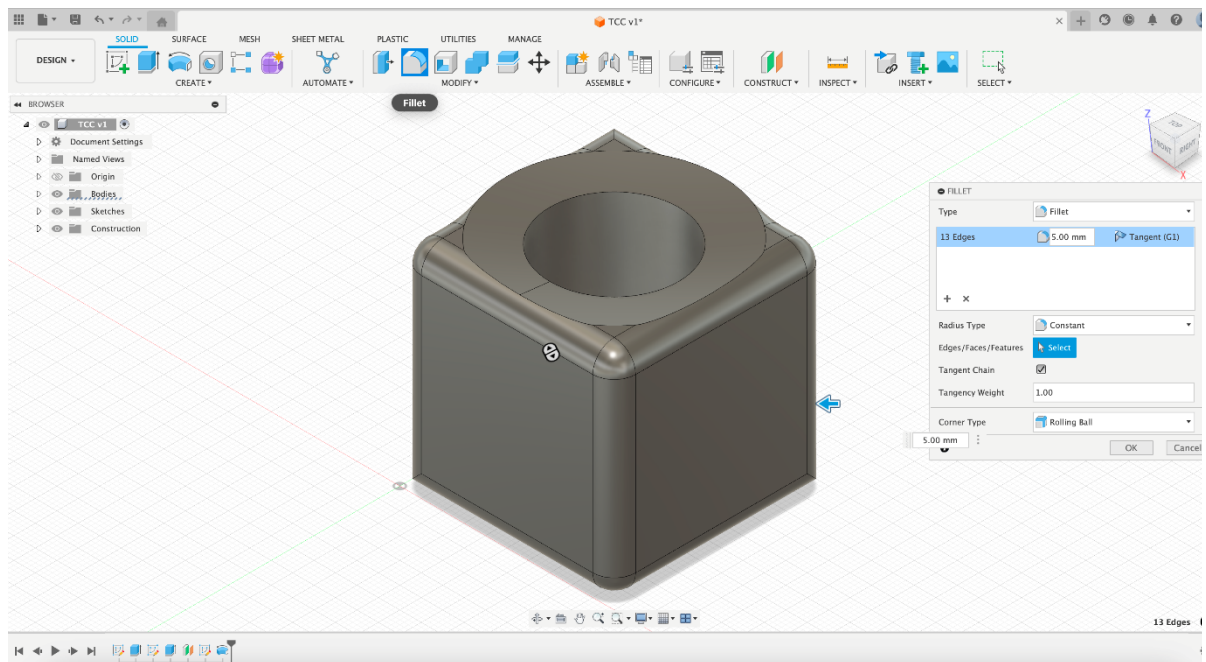
Figura 18 - Captura de tela do software Fusion360 utilizando a ferramenta *revolve*.



Fonte: Autor

Podemos, ainda, arredondar todas as bordas do cubo utilizando a ferramenta *fillet*, para isso selecionamos todas as arestas do cubo e indicamos um raio para criar esse arredondamento, Figura 19.

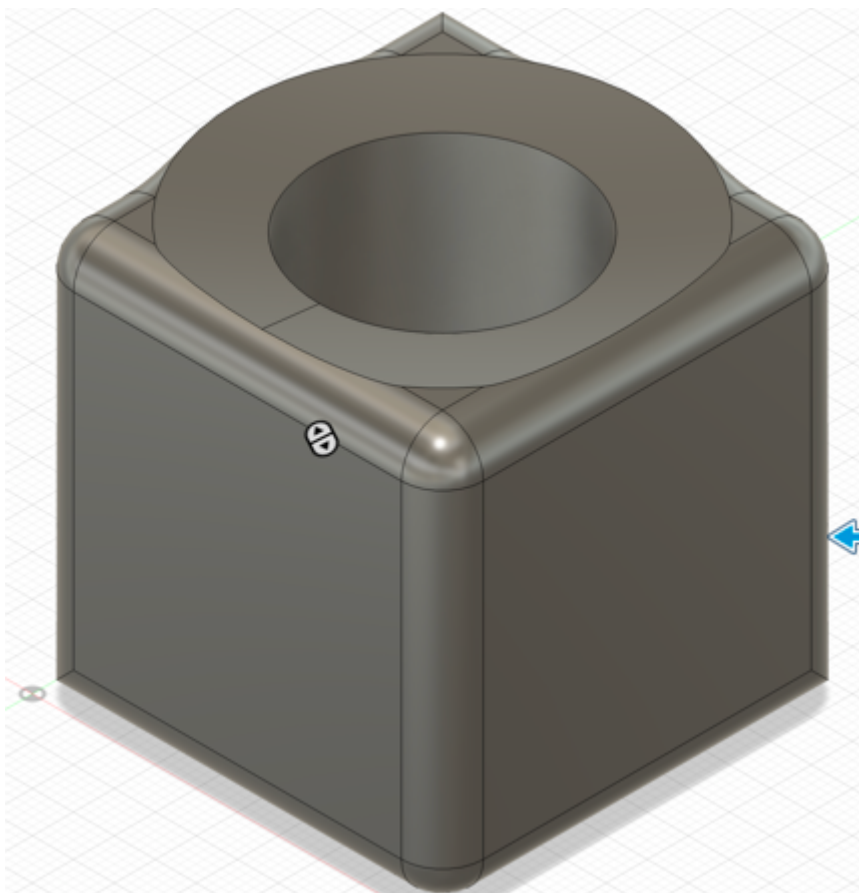
Figura 19 - Captura de tela do software Fusion360 exibindo a ferramenta fillet.



Fonte: Autor

Por fim, após todas essas etapas, na Figura 20 temos o objeto finalizado da forma como ele foi idealizado.

Figura 20 - Captura de tela do software Fusion360 com o objeto produzido finalizado.



Fonte: Autor

Existem maneiras mais simples de se criar esse objeto. Construimos dessa forma porque, por mais que seja menos eficiente, conseguimos demonstrar as principais ferramentas utilizadas para criar os objetos desenvolvidos no decorrer do trabalho. Além das funções descritas acima existem inúmeras outras funções para criar os objetos, podendo ser observadas nas barras lateral e superior do programa, Figura 21.

Figura 21 - Captura de tela do software Fusion360 exibindo a barra de ferramentas.



Fonte: Autor

O processo de desenvolvimento dos objetos é exaustivo por muitos motivos. Criar um objeto utilizando o *Fusion360* já mostra suas dificuldades. Mas, além disso, pôr o trabalho se tratar de uma perspectiva para os instrumentos didáticos ainda há uma etapa após a criação digital. É necessário imprimir, testar e redesenhar os objetos inúmeras vezes até que se obtenha um resultado desejado.

Todos os objetos desenvolvidos no decorrer desse projeto foram pensados para que o processo de impressão fosse o mais fácil possível. Foram pensados para evitar o uso de suportes, ou que a impressora precise estar extremamente calibrada.

3 A IMPRESSÃO 3D E O ENSINO DE FÍSICA

A impressão 3D pode ser uma ferramenta que amplie os horizontes do ensino no geral. No decorrer dessa seção analisaremos quais possíveis aplicações podem estar presentes dentro do contexto do Ensino de Física.

3.1 Experimentos Desenvolvidos

Assim como citado anteriormente, o processo de desenvolvimento dos objetos é feito em uma espécie de ciclo, onde há a primeira criação e impressão, testes e adaptações até que uma versão definitiva seja alcançada. Neste trecho, além das explicações físicas e conceituais para cada experimento, trataremos do processo de desenvolvimento de cada um dos objetos, custo de produção das versões finais e uma breve análise quanto as dificuldades que podem ser encontradas para a produção em grandes quantidades. O Quadro 3, situado no final dessa seção, possui informações gerais quanto ao custo de produção de cada um desses objetos considerando o custo da energia elétrica na cidade de Rio Claro – SP, o custo contabilizado é referente apenas a produção da parcela dos experimentos que é feita em 3D, alguns dos experimentos necessitam de itens que não podem ser impressos, o que aumenta um pouco o preço total.

3.1.1 Balança

O primeiro objeto desenvolvido é uma balança de pratos convencional. A balança consiste em cinco partes impressas em 3D, sendo elas: os dois pratos, o braço, o suporte e o pino, vistas na Figura 22 e ao ser completamente montada fica como a Figura 23.

Figura 22 - Partes impressas em 3D que compõe o experimento da balança.



Fonte: Autor

Figura 23 - Montagem completa do experimento da balança.



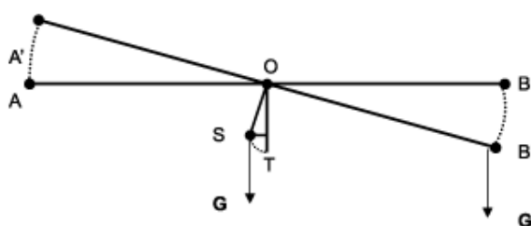
Fonte: Autor

O funcionamento de uma balança de partos não é nada além de uma alavanca, uma barra rígida capaz de mover em torno de um ponto fixo, caracterizado como ponto de apoio. O equilíbrio da balança é atingido quando a resultante das forças e o momento resultante das forças que agem sobre o corpo é nulo.

O diagrama da Figura 24 representa o funcionamento de uma balança convencional a partir das forças atuantes. AB é o braço do instrumento, dividido em duas partes, AO e OB. O

é o ponto de apoio. Ao colocar um objeto na direita da balança, o ponteiro, representado por OS, é deslocado para esquerda devido a ação da força peso, representada por G' , com isso o segmento OB desce descrevendo um arco BB' . A partir desse movimento o segmento AO sobe e descreve um arco AA' da mesma magnitude do arco BB' . O ponteiro da balança, representado por OS, está em desacordo com a referência OT, para que o equilíbrio original seja reestabelecido é necessário que um corpo de massa conhecida seja colocado no outro extremo da balança exercendo uma força G (Afonso; Silva, 2004).

Figura 24 - Diagrama das forças que atuam em uma balança em uso.



Fonte: AFONSO, J. C.; SILVA, R. M. DA. A evolução da balança analítica. *Química Nova*, v. 27, n. 6, p. 1021–1027, dez. 2004.

O experimento da balança pode ser utilizado para introduzir aos alunos os conceitos fundamentais de máquinas simples a partir dos estudos das alavancas e dos conceitos fundamentais apresentados nessa seção. A ideia das máquinas simples pode, ainda, ser utilizada para trabalhar com os alunos a história da ciência.

3.1.2 Rampa

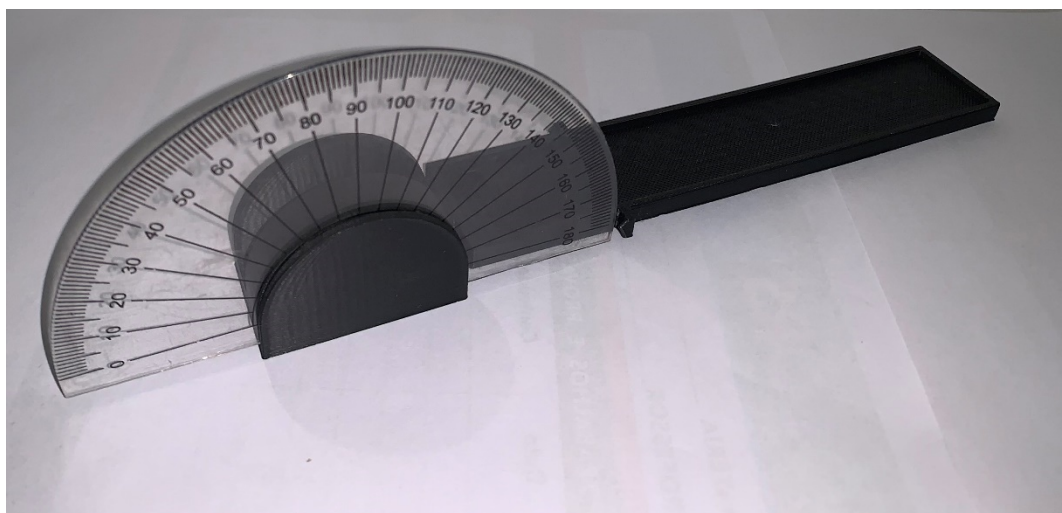
O segundo objeto desenvolvido é uma rampa na qual o objetivo principal é analisar o coeficiente de atrito estático. A rampa consiste em três peças e um cubo com uma cavidade no meio impressas em 3D e um transferidor, vistas na Figura 25, e ao ser montada fica como na Figura 26.

Figura 25 - Partes impressas em 3D que compõe o experimento da rampa.



Fonte: Autor

Figura 26 - Montagem completa do experimento da rampa.



Fonte: Autor

O coeficiente de atrito estático dado pela interação entre duas superfícies pode ser verificado experimentalmente, para isso é necessário observar o ângulo de inclinação da rampa θ em que o objeto colocado está na iminência do deslizamento (Nussenzveig, 2013). Sendo assim a utilização do objeto é feita posicionando o cubo sobre a rampa e inclinando a rampa até o momento em que o cubo comece a deslizar sobre a rampa, nesse momento é possível observar o ângulo de inclinação necessário para que isso ocorra. Com essa informação podemos determinar o coeficiente de atrito estático da rampa.

A equação que determina a força de atrito estático é a vista na equação (1), ela relaciona a Força de Atrito (F_{at}) ao produto do coeficiente de atrito (μ_e) e a Força Normal (N).

$$F_{at} = \mu_e \cdot N \quad (1)$$

A equação (1) pode ser reescrita a partir da decomposição das forças que atuam sob o corpo em um plano inclinado, com isso a Força Normal da equação (1) pode ser substituída pela decomposição dessa força em termos da Força Peso (P) e o cosseno do ângulo de inclinação da rampa (θ). Essa nova relação obtida pode ser vista na equação (2).

$$F_{at} = \mu_e \cdot P \cdot \cos \theta \quad (2)$$

Outra componente da força existente no plano inclinado é a força exercida pela gravidade paralela a rampa, vista na equação (3).

$$F_x = P \cdot \sin \theta \quad (3)$$

Na iminência do escorregamento do cubo, a componente da força paralela a rampa exercida pela gravidade sobre o cubo deve ser, exatamente, a mesma que a força de atrito estático, pois apenas assim o corpo estará em equilíbrio. Com isso chegamos à equação (4).

$$F_{at} = F_x \quad (4)$$

Analisando as relações descritas nas equações anteriores podemos associar as equações (2) e (4) e obter a equação (5).

$$\mu_e \cdot P \cdot \cos \theta = P \cdot \sin \theta \quad (5)$$

Utilizando a equação (5) podemos isolar o coeficiente de atrito estático (μ_e) e obter uma relação final que mostra que o coeficiente de atrito estático (μ_e) é igual a tangente de inclinação da rampa (θ).

$$\mu_e = \tan \theta \quad (6)$$

Dada essa última equação, concluímos que o coeficiente de atrito estático é equivalente ao valor da tangente do ângulo de inclinação da rampa na iminência do movimento do cubo. É possível observar, a partir da última relação obtida, que o coeficiente de atrito estático independe da massa do objeto, pois, ao aumentar a massa do objeto, tanto a força normal quanto a força gravitacional aumentam na mesma proporção (Nussenzveig, 2013). Essa afirmação pode ser confirmada experimentalmente, ao preencher a cavidade do cubo com diferentes materiais a fim de aumentar a massa dele, podemos observar que o ângulo θ de iminência do movimento permanece o mesmo.

3.1.3 Molas

O último experimento desenvolvido foi um conjunto de molas para que a constante elástica possa ser estudada em diferentes molas. Foram impressas três molas de diferentes espessuras, de 1, 2 e 3 mm vistas, respectivamente, da esquerda para direita na Figura 27. Além das molas o conjunto tem um suporte com uma abertura lateral em que o deslocamento da mola pode ser observado, visto a direita de todas as molas na Figura 27. O uso do experimento é feito encaixando uma das molas no suporte e medindo o deslocamento pela abertura do suporte ao colocar uma massa conhecida, assim como na Figura 28.

Figura 27 - Partes impressas em 3D que compõe o experimento das molas.



Fonte: Autor

Figura 28 - Demonstração da montagem para o uso do experimento das molas.



Fonte: Autor

Com as molas pode ser estudado a constante elástica de cada uma das delas, para isso utilizaremos massas conhecidas, pois assim podemos definir a força sendo aplicada na mola ao associar a força aplicada com a massa do objeto e a aceleração da gravidade, e será feita a medida do deslocamento da mola, aplicando essas duas medidas na equação (7) que associa a força F , a constante elástica da mola k e o deslocamento x , podemos chegar em valores para a constante elástica de cada uma das molas.

$$F = -k \cdot x \quad (7)$$

A partir das constantes elásticas já definidas é possível que os alunos utilizem as molas como, por exemplo, balanças a fim de medir massas desconhecidas utilizando apenas o deslocamento da mola ao pendurarem uma massa qualquer. Podemos construir balanças de sensibilidades diferentes, pois, como cada uma das molas possui uma espessura, a constante elástica é diferente para cada um dos casos afetando a massa máxima que é possível pendurar na mola antes que a deformação seja permanente.

Quadro 3 - Tabela contendo informações sobre a produção de cada um dos objetos produzidos.

	Balança	Rampa	Molas
Quantidade de material	65 g	30 g	35 g
Material utilizado	PLA	PLA	PLA
Preço do kg do material	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Preço total do material	R\$ 6,50	R\$ 3,00	R\$ 3,50
Tempo de impressão	6,5 horas	2,5 horas	4,3 horas
Consumo energético total da impressora	1755 W	675 W	1161 W
Preço do kWh	R\$ 0,80	R\$ 0,80	R\$ 0,80
Preço total do consumo energético	R\$ 1,40	R\$ 0,54	R\$ 0,93
Preço Total	R\$ 7,90	R\$ 3,54	R\$ 4,43

Fonte: Autor

3.2 Teoria de Aprendizagem

Durante o desenvolvimento do trabalho, buscamos teorias de aprendizagem que pudessem enriquecer e servir como base para o desenvolvimento da sequência didática. Diante das teorias analisadas, a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel foi a que mais se mostrou relevante para nosso trabalho.

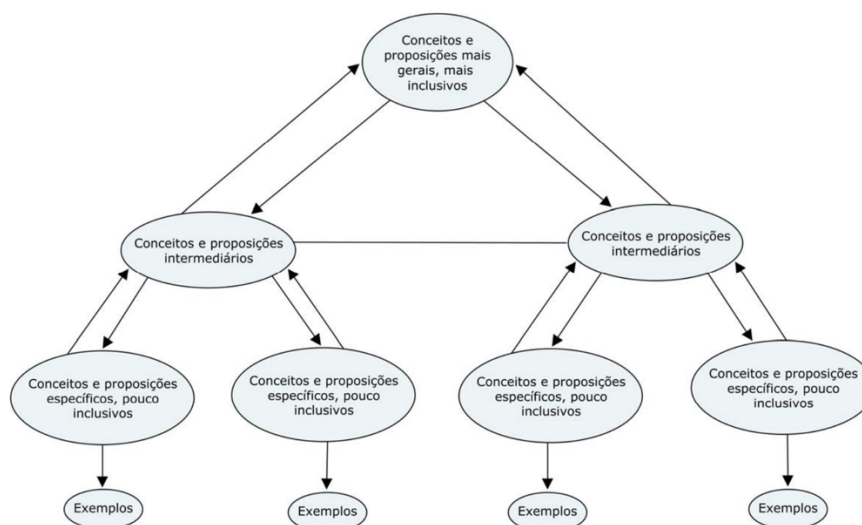
Em sua teoria, Ausubel foca na aprendizagem cognitiva e propõe uma explicação teórica para o funcionamento dela. A aprendizagem, para ele, significa a organização e integração do material na estrutura cognitiva, que, assim como para muitos outros teóricos do cognitivismo, é entendida como todo o conteúdo de ideias de um indivíduo e sua organização.

Para que novos conceitos e conteúdos sejam aprendidos, é necessário que sejam formados pontos de ancoragem, que servem para que novos conceitos sejam aderidos a conceitos já existentes. Ele considera a estrutura cognitiva como uma rede hierárquica, na qual conceitos específicos são associados a conceitos mais gerais, formando uma rede que os conecta. O

conceito com que Ausubel define essa relação entre os conhecimentos específicos adquiridos aos conhecimentos já existentes, os pontos de ancoragem, são denominados subsunçores. Para nosso trabalho, a própria prática experimental pode servir como um subsunçor para os futuros conhecimentos, nos quais os conteúdos futuros serão associados àqueles vistos nas práticas.

Ausubel também propõe dois processos essenciais para o desenvolvimento da aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. A diferenciação progressiva ocorre quando conceitos mais gerais são introduzidos primeiro, seguidos por conceitos mais específicos e detalhados, permitindo que o aluno construa uma base sólida de entendimento. Já a reconciliação integrativa refere-se à integração de novos conceitos ou informações, aparentemente distintos, com a estrutura cognitiva existente, criando uma rede mais coesa e interconectada. Esses processos são fundamentais para garantir uma aprendizagem profunda, na qual o novo conteúdo é agregado ao conhecimento prévio de forma estruturada (Moreira, 2021). É possível observar um diagrama que representa esses conceitos na Figura 29.

Figura 29 - Mapa conceitual exemplificando os conceitos da aprendizagem significativa de David Ausubel



Fonte: MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. [s.l.] Instituto de Física – UFRGS, 2013. v. 24

No contexto deste trabalho, a prática experimental proposta busca atuar como um subsunçor, ancorando os conceitos teóricos em experiências concretas que facilitam a assimilação. Por exemplo, ao realizar o experimento com a rampa para calcular o coeficiente de atrito, os estudantes podem conectar o aprendizado teórico sobre forças e movimentos a uma vivência prática e palpável. Essa abordagem fortalece a relação entre teoria e prática, ajudando

os alunos a compreenderem as ideias de forma mais profunda e a aplicá-las em diferentes contextos.

Ausubel também enfatiza a importância de preparar o aluno para a aprendizagem significativa, o que requer planejamento pedagógico cuidadoso. No caso das sequências didáticas desenvolvidas neste trabalho, foram incluídas etapas que introduzem gradualmente os conceitos necessários antes das atividades práticas. Essa preparação busca garantir que os alunos tenham uma base sólida para compreender e explorar os experimentos propostos, como o uso da rampa, da balança e das molas.

Com base nessas premissas, as práticas apresentadas neste estudo foram elaboradas para promover uma aprendizagem que seja não apenas significativa, mas também transformadora. O objetivo é ir além da simples aquisição de informações, fomentando o desenvolvimento de habilidades investigativas e de um pensamento crítico fundamentado.

3.3 Sequência Didática

Para a elaboração de uma sequência didática foi necessário que pensássemos em uma forma de utilizar os objetos desenvolvidos no trabalho dentro de uma sequência de aulas. Para isso, primeiramente, definimos qual dos objetos seria trabalhado, o escolhido foi a rampa. Com base no experimento escolhido definimos uma estrutura na qual a sequência de aulas seria organizada. A ideia do uso do experimento é para que os alunos possam estudar, experimentalmente, o coeficiente de atrito estático entre os materiais da rampa e do objeto que é colocado sobre a rampa.

Considerando esse como sendo o objetivo principal da rampa, definimos quais conteúdos deveriam ser apresentados aos alunos nas aulas que precedem a atividade experimental. Para que, assim como nossas referências da aprendizagem significativa, os conceitos abordados na prática experimental possam estar ancorados a conceitos preexistentes garantindo uma melhor aderência ao conteúdo aprendido.

Nessas aulas os alunos devem ser apresentados aos conceitos de plano inclinado, diagrama de forças, força e coeficiente de atrito e uma introdução a práticas experimentais e como devemos fazer coleta de dados. As aulas seguintes devem ser referentes a prática experimental em si.

Para isso, organizamos o experimento com todos os materiais necessários em um *kit*, assim como o da Figura 30, e elaboramos um roteiro experimental para que os alunos pudessem realizar o experimento durante as aulas. O roteiro foi dividido em cinco seções, sendo elas:

introdução, montagem do experimento, procedimento experimental, análise dos resultados e conclusões. No decorrer das secções foram elaboradas perguntas de forma com que elas fossem novas e não familiares àquelas vistas nas aulas teóricas para garantir uma máxima transformação do conhecimento adquirido, a fim de garantir que a prática experimental não seja apenas uma simulação de aprendizagem significativa (Moreira, 2021).

Figura 30 - Imagem da organização do kit do experimento da rampa.



Fonte: Autor

Cada parte do roteiro consiste em, respectivamente, uma introdução teórica ao estudo do atrito e as forças envolvidas na prática experimental, retomando os conceitos vistos durante os estudos de diagramas de forças; conteúdo presente nos *kits* e montagem ideal do experimento; procedimento experimental a ser utilizado para a coleta dos dados; explicação de como obter um valor para o coeficiente de atrito estático a partir dos valores medidos experimentalmente, contendo as explicações sobre a decomposição da força peso e as devidas demonstrações para encontrar as relações matemáticas entre as equações já conhecidas; e, por fim, uma conclusão em como chegar na relação que o coeficiente de atrito estático será igual ao ângulo de inclinação da rampa. O roteiro completo pode ser observado no Apêndice A.

A finalização da sequência didática deve ocorrer com uma aula que conclua os estudos feitos durante as aulas anteriores. Sendo discutidos os dados obtidos e os motivos das possíveis variações dos resultados de cada grupo, as dúvidas de cada grupo e é importante que a relação matemática que define a igualdade entre o coeficiente de atrito e a tangente do ângulo de inclinação da rampa fique bem explicada.

3.4 Experiência nas Escolas

Durante a execução desse trabalho pude vivenciar várias coisas no que dizem respeito a inserção da tecnologia da impressão 3D no ambiente escolar. A fim de exemplificar melhor esses contatos, a seção será dividida em três partes, nas quais serão discutidos especificamente cada um dos tipos de contato que tivemos com a impressão 3D dentro dos ambientes de ensino.

Todos os relatos que serão discutidos levam em consideração apenas o meu ponto de vista dessas experiências.

3.4.1 Escolas que Possuem Impressoras 3D

Durante a realização do trabalho, nas disciplinas de Práticas de Ensino e Estágio Supervisionado, tive a oportunidade de frequentar diferentes escolas, nas quais, algumas delas, possuíam impressoras 3D. No caso das escolas públicas algumas compraram o equipamento com verba própria, levantada com a realização de eventos, outras receberam as impressoras com financiamento governamental. Cada uma das escolas visitadas enxergava a tecnologia da impressão 3D de uma forma diferente e, conseqüentemente, tinha diferentes usos para esses equipamentos.

Meu primeiro contato com uma escola que tinha uma impressora 3D foi uma escola particular. Fui até a escola com o intuito de conversar com a professora de Física para conversar sobre o Ensino de Física no geral e, também, um pouco sobre meu projeto. Antes de conversar com a professora, tive uma conversa com a coordenadora da escola sobre o meu trabalho e, em nenhuma das duas conversas, me informaram que a escola possuía uma impressora 3D, acredito eu, que isso seja por desconhecimento das duas da existência desse equipamento. Foi apenas durante algumas conversas informais com os alunos que eles me disseram que a escola deles tinha uma impressora 3D em outro prédio. Nessa escola particular, em específico, os alunos de cada nível de ensino eram divididos em prédios diferentes, e, em um primeiro momento, descobri apenas que o equipamento estava no prédio do Fundamental II.

Sabendo da localização do equipamento fui atrás da coordenadora do Fundamental II para saber um pouco mais do uso, armazenamento e algumas outras informações específicas que fossem relevantes sobre a impressora que eles tinham. Quando a encontrei fui surpreendido pelo fato de que ela tinha total desconhecimento quanto a existência desse equipamento, foi necessário que ela falasse com três pessoas diferentes até que encontrássemos quem era o responsável pela impressora 3D.

Ao entrar em contato com o responsável não consegui muitas respostas, muito menos pude ver a impressora e como ela e os insumos estavam armazenados. As únicas respostas que consegui foram o modelo, que se tratava de uma Ender 3, e quanto ao uso, que era, praticamente, nulo.

O segundo contato que tive com uma escola que tinha uma impressora 3D foi em uma escola que realizamos estágio durante a disciplina de Práticas de Ensino de Estágio Supervisionado. Antes de ir até a escola eu já sabia que eles tinham uma impressora 3D e que o único uso conhecido da impressora, até então, era que ela tinha sido utilizada para imprimir o brasão da escola. Ao chegar pela primeira vez na escola fui até a sala na qual a impressora 3D fica alojada, conhecida como Sala *Maker*. Essa sala tem sua proposta baseada no movimento *maker* que, por sua vez, está fundamentado na cultura do “faça você mesmo”, em inglês *Do It Yourself* (DIY). Esse movimento *maker* tem a ideia de que qualquer pessoa é capaz de produzir, modificar ou até criar qualquer tipo de objeto ou projetos (Blikstein; Valente; Moura, 2020).

Quando entrei na sala pude observar em qual estado a impressora se encontrava. Ela estava embalada com uma espécie de plástico para proteção, mas era nítido que a utilização dela era ínfima, podíamos ver pó por quase toda a superfície do equipamento, algumas peças mal conectadas, o próprio insumo estava mal armazenado e não estava inserido de forma adequada na máquina, fora isso a escola contava com uma quantidade muito pequena de insumo. Todos esses fatores deixaram claro que não existia qualquer uso para aquela máquina. Ao ligar a impressora descobri que, além de tudo, havia arquivos corrompidos que estavam causando problemas na máquina.

Esse contato com a impressora nessa escola foi um tanto quanto surpreendente, pois a compra da impressora foi feita com uma verba própria, que a escola levanta com eventos e financiamento da Associação de Pais e Mestres (APM), com a promessa de que seria uma inovação para a escola e teria muitas finalidades práticas. A realidade é que os alunos têm pouquíssimo acesso, os professores não têm treinamento e nem tempo para utilizá-la, então, um equipamento tão promissor, acaba sem uso.

Em um primeiro momento, meu terceiro e último contato com escolas que possuíam esse equipamento, pareceu que seria diferente dos outros. A escola em questão era uma escola técnica, dado isso eu imaginei que o uso da impressora 3D seria muito maior do que nos outros dois casos, levando em consideração que muitos dos cursos técnicos ofertados pela instituição poderiam desfrutar desse equipamento.

Infelizmente, a realidade era outra, quando pude conhecer o equipamento percebi que o uso da impressora era muito baixo e os insumos estavam mal armazenados. O maior dos problemas que eu encontrei foi o fato de que a impressora apresentava alguns problemas técnicos e, ao procurar os documentos referentes a manutenção da impressora, descobri que a empresa que fabricou a impressora não trabalha mais no ramo e não possuem quaisquer documentos que possam guiar as manutenções necessárias.

O fato de a empresa responsável não atuar mais na área é um problema muito maior do que só essa escola em específico, pois, assim como citado na introdução desse trabalho, esse modelo de impressora foi comprado para mais de 800 escolas. São 800 escolas que, caso encontrem algum problema mais sério na máquina, não conseguirão entrar em contato com a empresa responsável, pois a empresa não trabalha mais na área e nem possui os documentos necessários para guiar o usuário a como resolver o problema.

A soma de todas essas experiências foi de fato bastante interessante para o meu trabalho, pois com ela pude concretizar algo. O fato de que em muitos casos a impressora 3D é comprada pelas escolas com o intuito de ser algo inovador e tecnológico, que irá contribuir com a educação dos alunos, mas acaba sendo apenas mais um equipamento que fica encostado com pouco ou nenhum uso.

3.4.2 Realização de Oficinas

Durante a realização desse trabalho foram realizadas três oficinas com alunos de duas escolas diferentes. O tema geral das oficinas era a impressão 3D, trabalhando o funcionamento das impressoras 3D tradicionais, inclusive as que os alunos têm acesso dentro das próprias escolas, e o processo de desenvolvimento dos materiais impressos em 3D, desde a criação até a impressão em si. Durante as oficinas os alunos tiveram contato com os objetos desenvolvidos no projeto.

As duas primeiras oficinas aconteceram na mesma escola, só que com duas turmas diferentes. As duas oficinas aconteceram em um momento em que a escola estava com suas atividades reduzidas devido a um conselho de classe que estava ocorrendo, e os alunos se inscreveram para participarem de oficinas específicas. Então contaram com poucos participantes, mesmo assim foi bem interessante, do meu ponto de vista, visto o interesse que os alunos demonstraram em relação ao assunto.

As duas oficinas começaram com uma dinâmica para entender o que os alunos sabiam sobre impressão 3D, a maioria, nos dois casos, tinha uma boa noção sobre o assunto, e o porquê

escolheram participar da oficina em questão, com as respostas dos estudantes estava claro que o interesse era, principalmente, quanto as tecnologias modernas e para poder conhecer e usar a impressora 3D que eles tinham dentro da escola.

Em um segundo momento passamos para uma explicação mais técnica e teórica do funcionamento das impressoras, assim como a explicação apresentada nesse trabalho. Nesse mesmo momento eu apresentei os experimentos desenvolvidos, que gerou muito interesse nos alunos, foram feitas algumas explicações físicas sobre cada um deles. A partir do momento em que os alunos tiveram esse contato com os objetos eles ficaram manuseando os mesmos de forma ininterrupta, testando o equilíbrio da balança com objetos menores que eles possuíam, se o ângulo de inclinação da rampa permanecia o mesmo com massas diferentes e as diferentes forças que deveriam aplicar em cada uma das molas para que eles se deslocassem a mesma quantidade.

A oficina finalizou com uma explicação prática de como desenvolver um objeto utilizando o *software* Fusion360 (assim como a explicação feita anteriormente no trabalho) e como traduzir as informações do *software* para algo que a impressora é capaz de entender e imprimir. Assim que a explicação foi finalizada os alunos puderam desenvolver seus próprios objetos e estimar o tempo de impressão para cada um deles. A oficina finalizou com um desafio no qual os alunos deveriam, utilizando os conhecimentos obtidos durante a oficina, desenvolver um peão de xadrez no *software* de modelagem 3D.

A terceira e última oficina aconteceu como parte de uma sequência de aulas, na qual, apenas, o primeiro momento se tratava de conhecer e entender o funcionamento das impressoras 3D. Nessa primeira aula realizamos a oficina sobre impressão 3D, na qual falamos um pouco de como é todo o processo de desenvolver um equipamento a partir da impressão 3D, desde o modelo digital até o modelo físico. A organização da aula aconteceu da seguinte forma: Primeiro os alunos foram apresentados a uma parte teórica do funcionamento das impressoras 3D, tratamos dos materiais e métodos quando nós tratamos desse assunto; em um segundo momento falamos sobre como é a parte digital do desenvolvimento dos materiais, a modelagem 3D e os softwares envolvidos; a finalização da aula ocorreu com as dúvidas dos alunos. A oficina aconteceu de forma muito similar as outras duas que já haviam acontecido.

A aula no geral foi bem interessante. Como iremos tratar de um experimento feito com a impressora 3D, uma aula como essa pode enriquecer a interação dos alunos com o equipamento, pois gerou um grande interesse quanto ao assunto. Um ponto a ser ressaltado é o interesse deles visto que a escola tem uma impressora 3D, mesmo sem que eles tenham muito acesso.

3.4.3 Inserção dos Experimentos Desenvolvidos nas Escolas

No decorrer do trabalho tivemos a oportunidade de utilizar dois dos experimentos desenvolvidos com os alunos da rede pública. O primeiro experimento utilizado foi a balança, com alunos do 5º ano do Ensino Fundamental, e o segundo foi a rampa, com alunos do 2º ano do Ensino Médio.

Para a aplicação do experimento da balança com os alunos do Ensino Fundamental foram impressos dez exemplares e os alunos foram divididos em pequenos grupos. A ideia do experimento era que os alunos pudessem entender na prática o funcionamento de uma balança de comparação utilizando grãos de arroz e feijão. A realização desse experimento pelos alunos pode ser vista na Figura 31. Os alunos deveriam encontrar a relação entre grãos de arroz e feijão, ou seja, deveriam descobrir quantos grãos de arroz equivalem a um grão de feijão.

Figura 31 - Alunos realizando o experimento da balança.



Fonte: Autor

No primeiro contato com o experimento os alunos estavam meio receosos, acreditavam que o equipamento parecia muito frágil, mas mesmo com algumas quedas as balanças permaneceram intactas. No geral a interação dos alunos com as balanças foi bem interessante e bem aprovada pelos alunos.

Algo interessante de se ressaltar nessa interação dos alunos do 5º ano com as balanças é que ao verem os objetos já questionaram se elas tinham sido feitas com impressora 3D. Isso mostra como a tecnologia da impressão 3D está cada vez mais disseminada e os alunos, mesmo sendo um público bem novo, já tem conhecimento desse meio, o que, por sua vez, mostra que a possibilidade da inserção dessa tecnologia no ambiente escolar é promissora, visto que desperta interesse nos alunos.

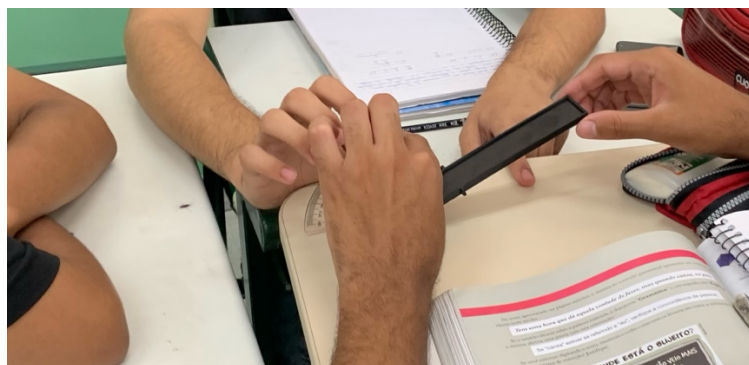
O segundo momento em que os experimentos foram utilizados, por alunos em escolas, foram as rampas. Assim como no caso das balanças, foram impressos dez exemplares para que os alunos pudessem se dividir em grupos de quatro estudantes. A prática em si aconteceu em três momentos distintos.

A primeira parte foi a realização de uma oficina (terceira oficina citada na seção anterior), na qual os alunos tiveram um primeiro contato com a impressão 3D e o desenvolvimentos do objeto com qual iriam trabalhar. Vários alunos demonstraram um grande interesse ao assunto, o que possibilitou que a segunda aula fosse bastante promissora. O simples fato de o experimento ter sido feito com uma impressora 3D foi algo que despertou um enorme interesse nos alunos.

O segundo momento foi a realização do experimento. Os experimentos estavam organizados em kits, assim como na Figura 30, os kits desenvolvidos tiveram um custo total de, aproximadamente, R\$ 5,00, incluindo o preço do transferidor e das esferas metálicas utilizadas. A utilização do experimento seguiu conforme a citada no desenvolvimento da Sequência Didática. Os alunos tinham o roteiro, Apêndice A, que deveriam seguir e fazer as medidas conforme fosse necessário. O experimento trabalhado foi o da rampa, apresentado na seção 4.1.2, a ideia geral do experimento é descobrir o coeficiente de atrito estático da rampa e observar que o coeficiente de atrito independe da massa do objeto.

O roteiro indica a forma completa de como realizar o experimento. Os alunos devem responder algumas questões presentes no roteiro, essas questões são apresentadas antes, durante e depois do experimento, a fim de obter uma ideia geral da transformação do pensamento dos alunos referentes ao assunto abordado. Organizar uma tabela com os dados coletados experimentalmente. As medidas coletadas surgem de cinco versões diferentes do experimento, conforme a Tabela 1 apresentada no Apêndice A, cada uma delas variando a massa gradativamente do cubo deslizando sobre a rampa. Podemos observar o experimento sendo realizado pelos alunos nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 - Alunos realizando o experimento da rampa.



Fonte: Autor

Figura 33 - Outro grupo de alunos realizando o experimento da rampa.



Fonte: Autor

Durante a execução do experimento os alunos associaram a inclinação da rampa necessária para que o cubo deslize, ou seja, o coeficiente de atrito, à variação da massa. Isso pôde ser provado contrário pelos próprios alunos no fim do roteiro e a partir dos próprios dados experimentais que eles obtiveram, as últimas questões estão relacionadas a descobrir a relação matemática que associa a força de atrito a tangente do ângulo de inclinação da rampa.

Os experimentos despertaram um enorme interesse dos alunos, pelo fato de terem sido impressos em 3D, por terem que montar o experimento e entender o funcionamento do mesmo e pelo fato de que puderam trabalhar em pequenos grupos, o que fez com que todos os alunos tivessem contato direto com o experimento, que, raramente, acontece quando são apresentados à experimentos.

A terceira, e última, parte dessa inserção foi uma devolutiva, tanto dos alunos em relação as atividades quanto do experimento em si. Foram repassadas as explicações teóricas do experimento enfatizando no porquê a massa não afeta o coeficiente de atrito. Também foram

explicados os motivos pelos quais os resultados, em alguns casos, fugiram do esperado. Como a paralaxe e outros erros associados à coleta de dados. Percebemos, também, que houve uma variação nos dados obtidos ao realizar o experimento com o cubo vazio. Então, com o intuito de manter os dados mais próximos, sugerimos que, ao aplicar o roteiro experimental, sejam coletados os dados apenas a partir do cubo com uma esfera. No geral, o experimento foi um sucesso com os alunos, pois puderam entender que a massa não afeta o coeficiente de atrito, mas sim a natureza dos objetos em contato.

Achamos importante incluir alguns dos resultados obtidos pelos alunos na realização do experimento. Todas os relatórios podem ser encontrados no Apêndice B e, para fim de análise, reproduziremos algumas das tabelas criadas pelos alunos nos relatórios nos Quadros 4, 5 e 6 para discutir sobre os dados obtidos.

Quadro 4 - Dados obtidos na realização do experimento pelo Grupo A.

Medida	θ_0 (Cubo)	θ_1 (Cubo + m)	θ_2 (Cubo + 2m)	θ_3 (Cubo + 3m)	θ_4 (Cubo + 4m)
1	22°	13°	16°	17°	14°
2	22°	15°	15°	18°	15°
3	12°	14°	15°	15°	13°
4	22°	15°	15°	15°	16°
125	20°	14°	14°	13°	12°
Média	19,6°	14,2°	15°	16°	14°

Quadro 1

Fonte: Autor

Quadro 5 - Dados obtidos na realização do experimento pelo Grupo C.

Medida	θ_0 (Cubo)	θ_1 (Cubo + m)	θ_2 (Cubo + 2m)	θ_3 (Cubo + 3m)	θ_4 (Cubo + 4m)
1	23°	10°	8°	10°	9°
2	16°	13°	10°	11°	9°
3	15°	9°	7°	7°	8°
4	17°	9°	12°	8°	7°
125	12°	8°	9°	7°	10°
Média	16,6°	9,8°	9,2°	8,6°	8,6°

Quadro 2

Fonte: Autor

Quadro 6 - Dados obtidos na realização do experimento pelo Grupo G.

Medida	θ_0 (Cubo)	θ_1 (Cubo + m)	θ_2 (Cubo + 2m)	θ_3 (Cubo + 3m)	θ_4 (Cubo + 4m)
1	14°	15°	17°	18°	13°
2	19°	21°	15°	18°	12°
3	20°	15°	22°	20°	15°
4	21°	14°	17°	20°	15°
125	19°	14°	18°	15°	15°
Média	18,6°	15,8°	17,8°	18,2°	14°

Quadro 3

Fonte: Autor

Após a análise dos Quadros 4, 5 e 6, podemos concluir que os alunos coletaram dados que reforçam a ideia de que independente da massa o ângulo de inclinação da rampa permanece o mesmo, provando, experimentalmente, que o coeficiente de atrito estático independe da massa do corpo. Por mais que ao analisar as respostas dos alunos (Apêndice B) eles não tenham

chegado a essa conclusão, mas sim que o ângulo de inclinação é afetado diretamente pela massa do cubo, os dados que eles obtiveram nos indica o contrário.

Uma sugestão que achamos que poderia ser interessante a ser incluída na prática experimental, seria um desenvolvimento quanto ao uso de materiais diferentes na realização do experimento, no roteiro experimental tratamos dos testes a serem feitos com uma borracha e materiais diferentes. Acreditamos que o uso desses materiais possa enriquecer a prática ao fazer a análise do coeficiente de atrito em diferentes casos. Essa parte do experimento não precisa ser necessariamente quantitativa, os alunos podem fazer análises qualitativas do que acontece quando o material é alterado a fim de perceber que diferentes materiais possuem diferentes coeficientes de atrito.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, exploramos as impressoras 3D como instrumentos para elaboração de ferramentas didáticas no ensino de Física, destacando seu potencial para transformar conceitos abstratos em experiências concretas e interativas. A seguir, pontuamos como os objetivos estabelecidos foram alcançados e discutimos as principais observações e implicações da pesquisa.

Cada um dos objetivos foi analisado, e a viabilidade do uso de impressoras 3D no contexto educacional foi amplamente comprovada. Desde a exploração e caracterização dos processos de impressão até a aplicação prática no desenvolvimento de materiais didáticos, verificamos que essa tecnologia pode contribuir para o ensino de Física na Educação Básica.

Em visitas às escolas, observou-se que, apesar de algumas escolas já possuírem impressoras 3D, seu uso como ferramenta didática é raro, evidenciando a necessidade de mais integração entre a tecnologia e o ensino. A falta de aplicação prática e o desinteresse dos professores são entraves significativos, muitas vezes decorrentes de uma falta de formação específica e de apoio técnico. Tal realidade sugere que a simples presença da tecnologia não é suficiente para garantir seu uso didático, é necessário também engajamento e suporte para que essa tecnologia seja integrada de forma significativa ao currículo escolar.

Existem protótipos prontos que poderiam ser utilizados diretamente pelos educadores, tornando a prática mais acessível, especialmente no Ensino Fundamental e no Ensino Médio, o que diminui a distância colocada entre essa tecnologia e os professores. Os trabalhos realizados com grupos de alunos demonstraram que, ao confrontar os estudantes com materiais físicos e experimentais, superam-se limitações comuns das aulas tradicionais, restritas a exercícios teóricos e resoluções de problemas.

Para que tecnologias como a impressão 3D sejam verdadeiramente incorporadas ao ensino, é fundamental que a formação de professores inclua um treinamento específico tanto em universidades quanto em atividades de educação continuada. As oficinas oferecidas durante o projeto mostraram que a mera aquisição de uma impressora não garante seu uso eficiente; sem o engajamento dos professores, as tecnologias acabam subutilizadas. Para um uso efetivo, os docentes precisam se sentir motivados e capacitados.

Analisando o ensino com os materiais experimentais consideramos a perspectiva da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel com a formação de *pontos de ancoragem conceitual*.

Os subsunçores, ou pontos de ancoragem, foram criados por meio de atividades experimentais, permitindo que novos conceitos fossem vinculados a conhecimentos já existentes dos alunos. Este processo promove uma compreensão mais profunda e enraizada dos conteúdos, mostrando-se um recurso valioso para tornar o aprendizado de Física mais dinâmico e interativo.

A incorporação de uma impressora 3D na Educação Básica permitiria que os professores reinventassem suas práticas pedagógicas, criando materiais que não estão disponíveis na escola. Essa tecnologia, quando bem integrada ao ensino, pode estimular a criatividade, o pensamento crítico e o interesse dos alunos por ciências, oferecendo uma nova dimensão para o ensino-aprendizagem da Física.

Uma experiência mais ousada seria ensinar os estudantes a produzirem materiais utilizando as impressoras 3D, pois isso permitiria que os estudantes participassem de todo o processo. Permitindo que a associação de conhecimentos acontecesse em mais etapas. A maior dificuldade associada a isso é o tempo que deve ser despendido para trabalhar todo o processo de desenvolvimento dos materiais.

Em suma, concluímos que a impressão 3D possui um potencial transformador para a educação em Física, especialmente ao fornecer experiências concretas e interativas para os alunos. Entretanto, para que esse potencial seja plenamente aproveitado, é necessário investir em formação continuada para professores e em iniciativas que incentivem o uso didático da tecnologia.

Esperamos que este trabalho contribua para futuras pesquisas e inspire educadores a explorar a impressão 3D como um recurso pedagógico que complementa e enriquece o ensino de ciências. E que, pessoalmente, eu possa continuar pesquisando o desenvolvimento de materiais didáticos para o Ensino de Física utilizando dessas tecnologias no mestrado.

5 REFERÊNCIAS

AFONSO, J. C.; SILVA, R. M. DA. A evolução da balança analítica. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 1021–1027, dez. 2004.

AGRAWAAL, H.; THOMPSON, J. E. Additive manufacturing (3D printing) for analytical chemistry. **Talanta Open**, v. 3, p. 100036, ago. 2021.

BLIKSTEIN, Paulo; VALENTE, José Armando; MOURA, Éliton Meireles de. **EDUCAÇÃO MAKER: ONDE ESTÁ O CURRÍCULO?** e-Curriculum, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 523-544, abr. 2020. Disponível em <http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-38762020000200523&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 09 out. 2024. Epub 15-Out-2020. <https://doi.org/10.23925/1809-3876.2020v18i2p523-544>.

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA. **Contrato n.º 156/2021: Aquisição de impressoras 3D**. Processo CPS PRC n.º 20211001888, Pregão Eletrônico n.º 055/2021, São Paulo, 2021.

HAGHSEFAT, Kianoush; TINGTING, Liu. FDM 3D printing technology and its fundamental properties. In: **Proceedings of the International Conference on Innovation and Research in Engineering Sciences, Tbilisi, Georgia**. 2020.

HORVATH, J. A Brief History of 3D Printing. **Mastering 3D Printing**, p. 3–10, 2014.

MELE, M.; CAMPANA, G.; MONTI, G. L. Modelling of the capillarity effect in Multi Jet Fusion technology. **Additive manufacturing**, v. 30, n. 100879, p. 100879, 2019.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. [s.l.] Instituto de Física – UFRGS, 2013. v. 24

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 73–80, dez. 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 3. ed. São Paulo: LTC, 2021.

NEGI, S. et al. Review on electron beam based additive manufacturing. **Rapid prototyping journal**, v. 26, n. 3, p. 485–498, 2019.

NUSSENZVEIG, Herch M. **Curso de Física Básica**. São Paulo: Editora Blucher, 2013. E-book. ISBN 9788521207467. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521207467/>. Acesso em: 03 set. 2024.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Contrato n.º 155/SME/2018: Aquisição de 437 equipamentos de impressão em 3D para compor os Laboratórios de Educação**

Digital, Experimentação e Aprendizagem - LEDs da SME. Processo n.º 6016.2018/0046272-0, São Paulo, 2018.

SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO DE SÃO PAULO. **Professores passam por formação para utilizarem impressoras 3D.** Disponível em: <<https://educacao.sme.prefeitura.sp.gov.br/noticias/professores-passam-por-formacao-para-utilizarem-impressoras-3d/>>. Acesso em: 4 nov. 2024.

SILVA, A. L. et al. A 3D printer guide for the development and application of electrochemical cells and devices. **Frontiers in chemistry**, v. 9, 2021.

STRATASYS. **Tecnologia PolyJet para impressão 3D | Stratasys.** Disponível em: <<https://www.stratasys.com/br/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/polyjet-technology/>>.

SU, A.; AL'AREF, S. J. History of 3D Printing. **3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine**, p. 1–10, 2018.

APÊNDICE A



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



EDUARDO GOMES LACERDA

PEDRO DE MORAES MURARI

ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA ESTUDO DO COEFICIENTE
DE ATRITO ESTÁTICO

Rio Claro - SP

2024

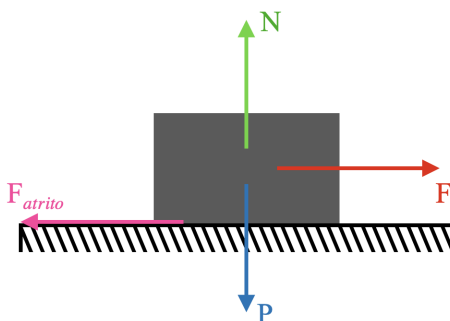
1. INTRODUÇÃO

As forças de atrito são forças de contato que acontecem entre dois materiais, de tal forma que sempre são direcionadas tangenciais à superfície, ou seja, acontecem paralelamente à superfície de contato. O fenômeno do atrito depende de vários fatores, desde o polimento da superfície até a presença de fluidos na mesma. Pela sua complexidade e importância, principalmente nas áreas de Física, Química e Engenharia, existe uma área de estudos que foca especificamente na compreensão do atrito, chamada tribologia

Se imaginarmos um bloco, assim como o da Figura 1, em uma superfície horizontal e formos aumentando a força exercida paralelamente a superfície de forma gradativa podemos perceber que o bloco não começa a se movimentar até que a força exercida atinja um valor específico (NUSSENZVEIG, 2013).

No caso da Figura 1, o bloco é colocado sobre a superfície e as forças que atuam no mesmo são: a força que está sendo aplicada de forma externa (F em vermelho), a força de atrito (F_{atrito} em rosa), a força peso (P em azul) e a força normal (N em verde). Como o bloco está em repouso, a resultante das forças é nula, ou seja, as componentes verticais, N e P , se anulam, assim como as componentes horizontais, F e F_{atrito} .

Figura 1: Diagrama de forças de um bloco em uma superfície horizontal



Fonte: Autores

Faça um teste para visualizar esse conceito. Posicione o cubo, presente dentro da caixa, sobre a mesa e o empurre levemente. Observe que é necessária uma força específica para que o cubo comece a se movimentar. Tente colocar algumas das esferas metálicas

dentro do cubo e observe os resultados. Tente utilizar objetos diferentes, como por exemplo uma borracha.

Q1: O que acontece em cada um dos casos?

Q2: O que você pode dizer sobre força de atrito a partir do experimento?

Q3: A força aplicada aumenta ou diminui quando a massa aumenta? O que acontece com o coeficiente de atrito?

As forças de atrito são essenciais para a vida cotidiana, desde caminhar até andar de carro. Se não fossem as forças de atrito não poderíamos andar de carro, pois a roda deslizaria.

Na Física existem dois tipos de atrito, o estático e o dinâmico. O primeiro se apresenta em casos em que uma força é aplicada em um objeto que está em repouso até a iminência do movimento, ou seja, até imediatamente antes do objeto começar a se movimentar. E o segundo ocorre nos casos em que o objeto já está em movimento (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2023). No caso desse experimento, iremos focar no atrito estático e como medir, experimentalmente, o valor desse coeficiente.

2. MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento consiste de 4 peças impressas em 3D, sendo elas: uma espécie de rampa, um cubo furado, um suporte e um pino; um transferidor e quatro esferas de chumbo, assim como na Figura 2. Para montar o experimento serão necessários o transferidor e todas as peças impressas em 3D com exceção do cubo.

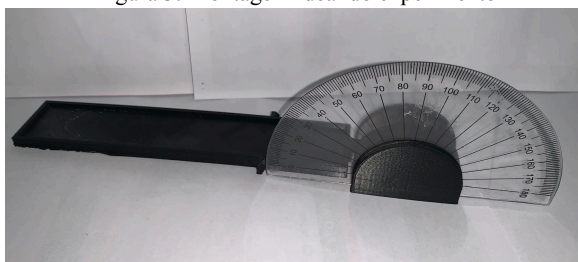
Figura 2: Conteúdo presente dentro do kit do experimento



Fonte: Autores

A rampa deve ser posicionada na abertura maior do suporte e o pino deve conectar as duas partes, a rampa deve ser colocada com o lado rebaixado para cima sem que haja diferença alguma caso a rampa seja colocada para direita ou para esquerda. Após a rampa ser propriamente conectada, o transferidor deve ser inserido na parte menor, é importante que o semicírculo da parte inferior do transferidor fique perfeitamente alinhado com o semicírculo do suporte, além disso, o ângulo de zero grau deve estar posicionado do mesmo lado em que a rampa está posicionada. A montagem final do experimento deve estar de acordo com a montagem vista na Figura 3.

Figura 3: Montagem ideal do experimento



Fonte: Autores

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o equipamento montado, podemos partir para a realização do experimento em si. Para isso, posicione o cubo sobre a rampa e levante lentamente a rampa aumentando a inclinação até a iminência do movimento, ou seja, até que o cubo comece a deslizar. Assim que o movimento se iniciar, afira a medida do ângulo indicado no transferidor ao lado da rampa.

A fim de se obter um resultado mais confiável, repita o procedimento cinco vezes. Além disso, faça também medidas para o caso do cubo com uma, duas, três e quatro esferas posicionadas dentro da cavidade. Você deve anotar os dados encontrados preenchendo a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Medida do ângulo de inclinação da rampa na iminência do movimento

Medida	θ_0 (Cubo)	θ_1 (Cubo + m)	θ_2 (Cubo + 2m)	θ_3 (Cubo + 3m)	θ_4 (Cubo + 4m)
1					
2					
3					
4					
5					
Média					

Fonte: Autores

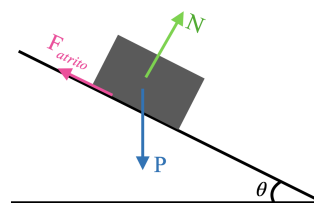
Q4: O que você pôde observar das medidas obtidas no experimento?

Q5: O que você pode concluir quanto a variação da massa?

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os dados obtidos experimentalmente podemos calcular o coeficiente de atrito estático. Para isso, primeiro, precisamos observar quais forças estão atuando sobre o cubo no momento em que as medidas foram coletadas, ou seja, na iminência do movimento, que podem ser observadas no diagrama da Figura 4.

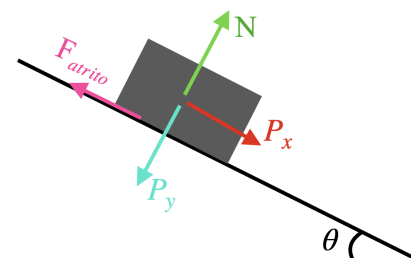
Figura 4: Diagrama das forças que atuam no cubo do experimento



Fonte: Autores

Ao observar o diagrama anterior, podemos decompor a força P de forma que cada uma de suas componentes esteja alinhada e perpendicular com a rampa. Sendo assim formamos o diagrama da Figura 5.

Figura 5: Diagrama das forças que atuam no cubo do experimento, com a força peso decomposta em P_x e P_y



Fonte: Autores

Agora, com as forças atuantes no corpo bem definidas, para determinar o coeficiente de atrito estático utilizaremos a equação que determina essa força de atrito.

$$F_{\text{atrito}} = \mu_e \cdot N \quad (1)$$

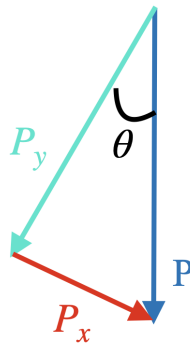
o termo μ_e presente na equação é, justamente, o coeficiente de atrito estático que queremos definir.

Como estamos considerando um corpo que está apoiado sobre a superfície, a componente P_y tem mesma intensidade, direção e sentido oposto da componente normal, ou seja, essas duas forças se anulam. Como na equação anterior estamos considerando apenas a intensidade da força normal podemos, então, reescrever a equação substituindo N por P_y . Sendo assim, temos:

$$F_{\text{atrito}} = \mu_e \cdot P_y \quad (2)$$

A componente P_y pode ser reescrita em função de P e do ângulo de inclinação da rampa, isso se dá, porque, a partir da semelhança de triângulos, como observado na Figura 6, percebemos que $P_y = P \cdot \cos\theta$.

Figura 6: Diagrama da decomposição de P em P_x e P_y a partir do ângulo θ de inclinação da rampa.



Fonte: Autores

Sabendo que $P_y = P \cdot \cos\theta$, podemos reescrever a equação (2) fazendo as substituições necessárias, então:

$$F_{\text{atrito}} = \mu_e \cdot P \cdot \cos\theta \quad (3)$$

Na iminência do escorregamento do cubo, a componente da força paralela à rampa exercida pela gravidade sobre o cubo deve ser, exatamente, a mesma que a força de atrito estático, porque, caso contrário, o cubo não estaria em repouso. Então:

$$F_{\text{atrito}} = P_x \quad (4)$$

Podemos reescrever a equação (4), da mesma forma que fizemos da equação (2) para (3), só que, dessa vez, temos que $P_x = P \cdot \sin\theta$. Então:

$$F_{\text{atrito}} = P \cdot \sin\theta \quad (5)$$

Utilizando as equações (3) e (5) podemos encontrar uma relação em que o coeficiente de atrito, μ_e , depende apenas das funções trigonométricas dos ângulos medidos. É importante ressaltar que $P = m \cdot g$, ou seja, a força peso equivale a massa do corpo vezes a aceleração da gravidade.

Q6: Encontre essa relação a partir da equação (3) e (5).

Q7: Qual o valor do coeficiente de atrito da rampa?

Q8: Agora, depois dos estudos das relações matemáticas, o que você pode dizer sobre a influência da massa do cubo no coeficiente de atrito?

5. CONCLUSÕES

A fim de concluir o experimento e alcançar uma relação que associe o coeficiente de atrito estático e o ângulo de inclinação da rampa obtido experimentalmente, podemos associar as equações (3) e (5) para chegar em:

$$\mu_e \cdot P \cdot \cos\theta = P \cdot \sin\theta \quad (6)$$

A partir da equação (6) podemos isolar o coeficiente de atrito e encontrar a relação esperada, que será:

$$\mu_e = \tan\theta \quad (7)$$

Dada essa última equação, concluímos que o coeficiente de atrito estático é equivalente ao valor da tangente do ângulo de inclinação da rampa na iminência do movimento do cubo. É possível observar, a partir da última relação obtida, que o coeficiente de atrito estático independe da massa do objeto, pois, ao aumentar a massa do objeto, tanto a força normal quanto a força gravitacional aumentam na mesma proporção (NUSSENZVEIG, 2013).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física - Mecânica - Volume 1. 12th ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023. E-book. p.129. ISBN 9788521638551. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521638551/>. Acesso em: 22 out. 2024.

NUSSENZVEIG, Herch M. Curso de Física Básica. 5th ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013. E-book. p.116. ISBN 9788521207467. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521207467/>. Acesso em: 22 out. 2024.

APÊNDICE B

S/L | T/M | Q/M | Q/J | S/V | S/S | D/D

$$\begin{array}{r} 66 \\ 70 \\ \hline 98 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 98 \overline{) 5} \\ \underline{-5} \\ 48 \\ \underline{-48} \\ 0 \end{array}$$

GRUPO A

1 Q1 = OBTIVE VÁRIAS VELOCIDADES DIFERENTES MEDIANTE O ATRITO

1 Q2 = QUE DE SITUAÇÃO A SITUAÇÃO

1 Q3 = AUMENTA, E AUMENTA TAMBÉM

MEDIDA	CUBO	CUBO+1E	CUBO+2E	CUBO+3ES	CUBO+4E
1	22	13	16	17	14
2	22	15	15	18	15
3	12	14	15	15	13
4	22	15	15	15	16
5	20	14	14	13	12
MÉDIA	19,6	14,2	15	16	14
		5,4	+0,8	1	2

Q4: QUE ELAS SÃO BEM PARECIDAS

MÉDIA GERAL
15,76

Q5: QUE TALVEZ A MASSA NÃO AFETE TANTO

$$15,76 \cdot 0,27$$

Q6: $\text{SEN } \theta = \frac{0,27}{0,96}$ $\mu = \text{SEN } \theta = \text{TAN } \theta$

$$\text{COS } \theta = 0,96 \quad \text{COS } \theta$$

$$\text{TAN } \theta = 0,28$$

Q7: $\frac{0,27}{0,96} = 0,28$ $\frac{0,27}{0,96} = 0,28$

Q8: QUE Q NÃO AFETA A ANGULAÇÃO

GRUPO B

q1- que é preciso uma força específica para o objeto se mover

q2- é a força impede o objeto de se mover

q3- diminui, e a coeficiência do atrito se mantém

Tabela 1:

medida	θ_0 (cubo)	θ_1 (cubo+1m)	θ_2 (cubo+2m)	θ_3 (cubo+3m)	θ_4 (cubo+4m)
1	35°	24°	15°	14°	16°
2	25°	17°	15°	18°	14°
3	20°	17°	11°	16°	15°
4	26°	28°	17°	18°	20°
5	24°	30°	18°	19°	21°
média	26°	23,2°	15,2°	17°	17,2°

q4. Quando o cubo se encontra na situação de cubo + 2m, é quando ele começa a se deslocar com o menor ângulo.

q5. Podemos concluir que não é porque a massa seja maior, que o cubo iniciara o movimento com menor ângulo, pois da mesma forma que isso aumenta a força peso, também aumenta a força de atrito.

GRUPO B

q6. $F_{at} = \mu \cdot N = \mu \cdot P \cos \theta$ \rightarrow são iguais, logo: $\mu \cdot P \cos \theta = P \sin \theta$
 $F_{at} = P_x = P \sin \theta$ $\mu = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$

q7. $\mu = \text{Tangente de } 26^\circ = 0,4877$

q8 = os dois tem relação

GRUPO C

1- Conforme o peso aumenta, é exigida uma força maior para movê-la.

2- Quanto maior a massa, maior a força de atrito.

3- A força aplicada aumenta. O coeficiente de atrito aumenta também.

Medida	θ_0 (Arbo)	θ_1 ($\text{Arbo} + m$)	θ_2 ($\text{Arbo} + 2m$)	θ_3 ($\text{Arbo} + 3m$)	θ_4 ($\text{Arbo} + 4m$)
1	23	10	8	10	9
2	16	13	10	11	9
3	15	9	7	7	8
4	17	9	12	8	7
5	12	8	9	7	10
média	16,6	9,8	9,2	8,6	8,6

1- A média diminui de forma decrescente constante.

2- Quanto mais massa, maior o atrito.

5. (5): $P = M \cdot g$

(3): $f_a = P \cdot \cos \theta$
 $P \cdot \sin \theta$

R: B é o ângulo de inclinação

$$f_a = \frac{m \cdot g \cdot \cos \theta}{m \cdot g \cdot \sin \theta}$$

$$f_a = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$f_a = \cot \theta$$

$$f_a = \tan B$$



GRUPO C

$$6) \mu = \tan B$$

R: O valor do coeficiente de atrito μ é igual à tangente do ângulo de inclinação B .

7) A $\mu = \tan B$, a força normal e a força gravitacional aumentam proporcionalmente com o aumento da massa, mantendo μ constante.

8) O μ o coeficiente de atrito não depende da massa do cubo, isso pode ser concluído a partir da equação derivada que associa μ com tangente do ângulo de inclinação B .

$$\mu = \tan B$$

se aumentarmos ou diminuirmos a massa, o coeficiente de atrito permanece o mesmo pois ambas as forças aumentam proporcionalmente, mantendo o valor de μ constante.

24/10/24

GRUPO D

Atividade atrito

- 1- → sem peso: ele desliza a uma inclinação de 20° - 25° .
- 1 bolinha: ele desliza a uma inclinação de 17° .
- 2 bolinhas: ele desliza a uma inclinação de 17° .
- 3 bolinhas: ele desliza a uma inclinação de 16° .
- 4 bolinhas: ele desliza a uma inclinação de 15° .

2- Entendemos que quanto maior o peso na caixa, menor é o grau do deslizamento, e menor o atrito.

3- A força aplicada aumenta. O coeficiente de atrito diminui cada vez que a massa aumenta.

Q4- Podemos no experimento que houve mudanças em relação à massa e os ângulos de inclinação

GRUPO D

Medida	0° (Cubo)	0_1 (Cubo + m)	0_2 (Cubo + 2m)	0_3 (Cubo + 3m)	0_4 (Cubo + 4m)
1	35	22	19	17	17
2	45	35	18	17	15
3	38	21	18	17	20
4	36	39	18	16	15
5	28	22	19	17	19
Média	36,4	27,8	18,4	16,8	17,2

Q5: Conforme aumenta a peso, o ângulo de inclinação diminui e mesmo acontece ao contrário se a massa diminuir, o ângulo de inclinação, consequentemente, irá aumentar.

Q6: $Fat \cdot N = q \cdot P \cdot \cos \theta$

$Fat = P_x = P \cdot \sin \theta$

$$M \cdot P \cdot \cos \theta = P \cdot \sin \theta \rightarrow M = \frac{M \cdot g}{M \cdot g} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$M = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$

Q7: $\tan 23,32 = \text{Tangente de } 23,32 \text{ rad} = 4,052$

Q8: Ela não deveria influenciar no ângulo de inclinação, pois ela deve permanecer a mesma, independentemente da massa.

GRUPO E

medida	θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
	(cubo)	(cubo+m)	(cubo+2m)	(cubo+3m)	(cubo+4m)
1	150	160	146	154	158
2	150	163	146	149	150
3	140	159	152	159	157
4	130	146	146	147	146
5	130	155	154	158	150
média	140	156,6	148,8	153,4	152,2
	(40)	(23,4)	(33,2)	(26,6)	(27,8)

Q1-) Quanto maior o peso do cubo, mais força é necessária para movimento.

Q2-) A força de atrito varia conforme a massa.

Q3-) A força aumenta conforme a massa aumenta, e, o coeficiente de atrito também.

Q4-) Que elas variam de acordo com a massa.

Q5-) Que essa variação de massa influencia diretamente com as medidas.

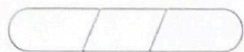
Q6-) Ambas utilizam ângulos e a força peso para calcular a força de atrito. $M_e \cdot P \cdot \cos \theta = P \cdot \sin \theta$
 $M_e = \frac{P \cdot \sin \theta}{P \cdot \cos \theta}$

Q7-) $M_e = 0,64$ $M_e = 0,39$

(40) 0,76 (23,4) 0,93

$M_e = 0,895$ $M_e = 0,428$

GRUPO E



Q8-) Que a massa não influencia no coeficiente de atrito

S T Q Q S S D

_ / _ / _

GRUPO F

Q1: Quanto mais bolinhas são colocadas sobre a caixa, mais a caixa fica inclinada.

Q2: A força de atrito aumenta agindo do lado contrário a força aplicada.

Q3: A força aplicada aumenta conforme maior massa, o coeficiente de atrito também aumenta por causa da força.

Medida	Cubo	(Cubo + m)	(Cubo + 2m)	(Cubo + 3m)	(Cubo + 4m)
1	20°	16°	15°	12°	12°
2	30°	18°	17°	15°	15°
3	20°	22°	18°	12°	11°
4	24°	14°	20°	17°	10°
5	15°	18°	12°	17°	12°
Média	21,8°	17,6°	17,4°	14,6°	12°

$$\frac{20+30+20+24+15}{5} = 109^\circ$$

$$\begin{array}{r} 109 \\ 5 \overline{) 545} \\ \underline{50} \\ 45 \\ \underline{40} \\ 50 \\ \underline{45} \\ 50 \\ \underline{45} \\ 50 \\ \underline{45} \\ 50 \end{array}$$

Q4: Quanto maior a massa, menor é o grau que o cubo consegue alcançar até seu deslizamento.

Q5: Com a massa menor o cubo alcançava graus maiores antes de deslizar, quando a massa foi (ou aumentou) aumentando o cubo alcançou graus menores.

___ / ___ / ___

GRUPO F

S T Q Q S S D

$$Q_6: u_p \cdot \cos \theta = P \cdot \sin \theta$$

$$u_{en} = \frac{C_a}{H_i} \quad C_{on} = \frac{C_a}{H_i}$$

$$u_e \cdot \cos \theta = u_{en} \theta$$

$$\tan = \frac{C_a}{C_a}$$

$$Q_7: u_e = \frac{u_{en} \theta}{\cos \theta} \quad u_e = \tan \theta$$

Q8: Quanto maior massa, maior vai ser o coeficiente de atrito e quanto menor a massa menor o coeficiente.

GRUPO G

1. Com a caixa vazia, a força necessária para movê-la é pequena, com mais peso fica mais difícil, com outro material também.

2. Que ele depende do peso e material.

3. Ambos aumentam com mais peso

	O_0	O_1	O_2	O_3	O_4
Medida	Cubo	Cubo+m	Cubo+2m	Cubo+3m	Cubo+4m
1	14°	15°	17°	18°	13°
2	19°	21°	15°	18°	12°
3	20°	15°	22°	20°	15°
4	21°	14°	17°	20°	15°
5	19°	14°	18°	15°	15°
média	$18,6^\circ$	$15,8^\circ$	$17,8^\circ$	$18,2^\circ$	14°

4. Que são muito irregulares, com medidas muito diferentes entre cada

5. Que conforme a massa cresce a angulação diminui e isso ocorre de forma inversamente proporcional

6



GRUPO H

1-) Quando o cubo tem mais massa, ele se movimenta mais devagar.

2-) A força de atrito dispersa a energia cinética (movimento)

3-) Aumenta. O coeficiente de atrito aumenta também.

Cubo	1	2	3	4
1	25°	18°	15°	13°
2	20°	21°	18°	14°
3	24°	16°	17°	13°
4	24°	15°	17°	11°
5	20°	17°	14°	15°
Média	22,6°	17,5°	15,2°	13,4°

4-) Quanto maior a massa, menor o ângulo de inclinação.

5-) Que a massa influencia diretamente na inclinação.

$$F_{\text{at}} = \mu_e \cdot p \cdot \cos \theta = p \cdot \sin \theta$$

$$\mu_e = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$\mu_e = \tan \theta$$

$$\mu_e = \tan \theta \quad \text{Média} = 16,64^\circ$$

$$\mu_e = 0,29887$$

8-) A força peso não influencia, conseqüentemente a massa não influencia no coeficiente de atrito.

GRUPO I

medida	O ₀	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
1	16	12	11	11	10
2	20	20	11	10	10
3	15	17	11	11	10
4	19	12	12	11	12
5	17	11	12	10	10
média	17,4°	14,2°	11,4°	10,5°	10° = 12,12°

Q1 O quanto maior a massa, a força aplicada terá que ser maior para assim movimentá-lo

Q2 A força de atrito continua sendo a mesma.

Q3 A força aplicada aumenta, conforme a massa aumenta. O coeficiente de atrito continua o mesmo.

Q4 O quanto maior a massa, menor é o atrito.

Q5 A massa influencia diretamente na inclinação.

$$Q6 \mu_e \cdot p \cdot \cos \theta = p \cdot \sin \theta \rightarrow \mu_e \cdot \cos \theta = \sin \theta \rightarrow \mu_e = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$

$$Q7 \mu_e = \tan \theta \rightarrow \mu_e = \tan 12,12^\circ \rightarrow \mu_e = 0,1548496$$

Q8 O peso não influencia, logo, a massa não irá influenciar, pois o peso depende da massa ($p = m \cdot g$)