

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Universidade Federal de Catalão  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Khelbes Roberto da Silva

## **A PROTOTIPAGEM NO ENSINO DE EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE**

Catalão  
2022

Processo

23070.041498/2022-56

Documento

3119253



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

### 2. Nome completo do autor

Khelbes Roberto da Silva

### 3. Título do trabalho

A prototipagem no ensino de equilíbrio e elasticidade

### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Jalles Franco Ribeiro Da Cunha, Professor do Magistério Superior**, em 23/08/2022, às 08:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **KHELRES ROBERTO DA SILVA, Discente**, em 24/08/2022, às 14:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 3119253 e o código CRC A2929FEF.

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



Universidade Federal de Catalão  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Khelbes Roberto da Silva

## **A PROTOTIPAGEM NO ENSINO DE EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEF) do Instituto de Física (IF) da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica. Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. Jalles Franco Ribeiro da Cunha

Catalão  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFCAT.

Silva, Khelbes Roberto da  
A prototipagem no Ensino de Equilíbrio e Elasticidade / Khelbes Roberto da Silva. - 2022.  
152, f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Jalles Franco Ribeiro da Cunha.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão, Instituto de Física, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede, Catalão, 2022.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.  
Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. prototipagem. 2. aprendizagem significativa crítica. 3. design thinking. 4. aprendizagem baseada por projetos. 5. equilíbrio e elasticidade. I. Cunha, Jalles Franco Ribeiro da, orient. II. Título.

CDU 159.9



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA  
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº 03 da sessão de Defesa de Dissertação de Khelbes Roberto da Silva, que confere o título de Mestre em Ensino de Física, na área de concentração Física na Educação Básica.

Aos três dias do mês de agosto de dois mil e vinte dois, a partir das 14:00 horas em Sala Virtual Googlemeet, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**A prototipagem no ensino de equilíbrio e elasticidade**” nas dependências da Universidade Federal de Catalão, onde os programas de pós-graduação stricto sensu em funcionamento encontram-se provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás, em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, já sendo realizada a transferência da Biblioteca Digital de Dissertações e Teses(BDTD). Assim, justifica-se os nomes das instituições neste documento, uma no cabeçalho(UFG), outra no corpo do texto(UFCAT). Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Jalles Franco Ribeiro da Cunha (PPGEF/UFCAT)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Professor Doutor Wytler Cordeiro dos Santos (UNB/GAMA)**, membro titular externo; **Professor Doutor Alessandro de Souza Carneiro (PPGEF/UFCAT)**, membro titular interno. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **( x ) Aprovado ( ) Reprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Jalles Franco Ribeiro da Cunha**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos três dias do mês de agosto de dois mil e vinte dois.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Jalles Franco Ribeiro Da Cunha, Professor do Magistério Superior**, em 12/09/2022, às 20:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandro De Souza Carneiro, Professor do Magistério Superior**, em 14/09/2022, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wytler Cordeiro dos Santos, Usuário Externo**, em 18/09/2022, às 10:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3182444** e o código CRC **5F2B2A3F**.

# A PROTOTIPAGEM NO ENSINO DE EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE

Khelbes Roberto da silva

Orientador

Prof. Dr. Jalles Franco Ribeiro da Cunha

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEF) do Instituto de Física (IF) da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica. Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Aprovada por:

**Jalles Franco Ribeiro Da Cunha**

---

Prof. Dr. Jalles Franco Ribeiro da Cunha  
(Presidente – IF UFCAT)

**Wytler Cordeiro dos Santos**

---

Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos  
(Membro externo vinculado ao programa – IF UNB)

**Alessandro De Souza Carneiro**

---

Prof. Dr. Alessandro de Souza Carneiro  
(Membro interno vinculado ao programa – IF UFCAT)

Catalão  
2022

*Dedico este trabalho a minha mãe (in memoriam), a meu pai e  
a minha amada esposa, Luciane.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jalles Franco Ribeiro da Cunha, pela dedicação e pelo acompanhamento no desenvolvimento deste trabalho.

A minha mãe, Maria Conceição e Silva (*in memoriam*), e meu pai, Zeferino Lourenço da Silva, que sempre dedicaram suas vidas à minha formação desde criança.

A minha amada esposa, Luciane Pontes, que sempre esteve ao meu lado, acompanhando e me incentivando na realização deste projeto.

Ao corpo docente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Catalão pela partilha de conhecimento e pela formação humana no ensino de Física.

Aos colegas do mestrado pelas inúmeras trocas de experiências.

A Secretaria de Estado da Educação de Goiás pelo incentivo à formação continuada de professores.

Ao Centro de Ensino em Período Integral Lyceu de Goiânia pela disponibilidade de se mostrar como campo de pesquisa e promoção do conhecimento.

A todos os estudantes que contribuíram de forma imensurável e única para a realização desta pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro que foi de suma importância para a realização deste estudo.

A Sociedade Brasileira de Física (SBF) pelo suporte e pela gestão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que tem contribuído de maneira substancial para o processo de formação de professores de Física.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001.

*“O que observamos como corpos e forças materiais  
nada mais são que formas e variações  
na estrutura do espaço.”*

*Erwin Schrodinger*

## RESUMO

Nesta dissertação é apresentada uma proposta de trabalho a partir de discussões estabelecidas em sala de aula com os estudantes. O estudo em questão objetiva a compreensão de conceitos referentes ao conteúdo de equilíbrio e elasticidade a partir de práticas desenvolvidas de forma colaborativa e que tenha vínculo com o cotidiano. Para tanto, propõe-se uma sequência didática fundamenta nos princípios da Aprendizagem Significativa Crítica. Com vista no engajamento e motivação dos estudantes é proposto um trabalho por meio de abordagens das metodologias ativas do Design Thinking e da Aprendizagem Baseada em Projetos. A pesquisa foi realizada no primeiro semestre de 2019 de forma presencial e pautou-se em pressupostos de uma pesquisa de cunho qualitativo fazendo uso do estudo de caso. Nessa pesquisa, foram construídos pelos estudantes, protótipos a partir de palitos de picolé para serem submetidos a ensaios mecânicos com objetivo de observar o comportamento elástico da estrutura em questão. Foi construído a partir de protótipos um objeto real que pode ser utilizado pela comunidade escolar local, um banco de sentar construído de concreto armado, Os resultados evidenciam um engajamento promissor dos estudantes na realização das atividades práticas e teóricas, bem como uma motivação acentuada na participação nas aulas em comparação às aulas expositivas tradicionais. No desenvolvimento das aulas foi verificado um compromisso progressivo dos estudantes no interesse de questionar conceitos da Física na realização das atividades práticas e teóricas. Neste sentido, a experiência vivida na aplicação desse produto evidencia indícios de uma aprendizagem significativa e problemáticas que podem ser superadas ao se trabalhar de forma interdisciplinar com outras disciplinas bem como ampliando o tempo de aula.

**Palavras-chave:** prototipagem; aprendizagem significativa crítica; aprendizagem ativa; design thinking; aprendizagem baseada por projetos; equilíbrio e elasticidade.

## ABSTRACT

In this dissertation a work proposal is presented from discussions established in the classroom with the students. The study in question aims to understand concepts related to the content of balance and elasticity based on practices developed in a collaborative way and that are linked to everyday life. To this end, a didactic sequence based on the principles of Critical Meaningful Learning is proposed. With a view to the engagement and motivation of students, a work is proposed through approaches to the active methodologies of Design Thinking and Project-Based Learning. The research was carried out in the first half of 2019 in person and was based on assumptions of a qualitative research using the case study. In this research, prototypes were built by the students from popsicle sticks to be submitted to mechanical tests in order to observe the elastic behavior of the structure in question. A real object was built from prototypes that can be used by the local school community, a seat made of reinforced concrete. The results show a promising engagement of students in carrying out practical and theoretical activities, as well as a strong motivation to participate in classes compared to traditional lectures. In the development of the classes, a progressive commitment of the students was verified in the interest of questioning concepts of Physics in the accomplishment of the practical and theoretical activities. In this sense, the experience lived in the application of this product shows signs of significant learning and problems that can be overcome when working in an interdisciplinary way with other disciplines as well as extending the class time.

**Keywords:** Prototyping; Critical Meaningful Learning; Active Learning; Design Thinking; Project-Based Learning; Balance and Elasticity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – TENSÃO DE CISALHAMENTO .....	48
FIGURA -2 - DIAGRAMA TÍPICO DE TENSÃO VERSUS DEFORMAÇÃO PARA UM METAL DÚCTIL SUBMETIDO À TENSÃO .....	49
FIGURA -3 – FORÇAS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO.....	53
FIGURA -4 – OS TIPOS DE TRELIÇAS MAIS COMUNS.....	54
FIGURA -5 DIAGRAMA DO CORPO LIVRE .....	55
FIGURA 6 - DIAGRAMA DO CORPO LIVRE .....	56
FIGURA 7 - EQUILÍBRIO DO CORPO EXTENSO GRUPO 1 .....	67
FIGURA 8 - EQUILÍBRIO DO CORPO EXTENSO GRUPO 2 .....	67
FIGURA 9 - EQUILÍBRIO DO CORPO EXTENSO GRUPO 3 .....	67
FIGURA 10 - EQUILÍBRIO DE UM BLOCO EM CADA EXTREMIDADE .....	67
FIGURA 11 -EQUILÍBRIO DE UM BLOCO E CINCO BLOCOS NAS EXTREMIDADES.....	67
FIGURA 12 - TRAÇÃO NOS CABOS .....	68
FIGURA 13 - TRAÇÃO NOS CABOS E BALANÇA DE MOLA .....	68
FIGURA 14 - MONTAGEM DE UM QUADRADO .....	69
FIGURA 15 - MONTAGEM DE UM SÓLIDO DE FORMA CÚBICA.....	69
FIGURA 16 - PROTÓTIPO DE UM CUBO .....	69
FIGURA 17 - ESTUDANTE COM O PRODUTO DA AULA FINALIZADO.....	69
FIGURA 18 - CONSTRUÇÃO DE VIGAS.....	70
FIGURA 19 - VIGAS EM PROCESSO DE SECAGEM.....	70
FIGURA 20 -SÓLIDO EM FORMA DE PIRÂMIDE .....	70
FIGURA 21 - TESTANDO A .....	70
FIGURA 22 - PROTÓTIPO PEQUENO DE UM BANCO .....	71
FIGURA 23 - PROTÓTIPO DE UM BANCO EM TAMANHO REAL.....	71
FIGURA 24 - PROTOTIPAGEM DE UM ENSAIO DE FLEXÃO EM PALITOS E PICOLÉ.....	71
FIGURA 25 - EFEITOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO .....	72
FIGURA 26 - CONSTRUÇÃO DO BANCO DE PALITOS DE PICOLÉ TRELIÇADO.....	73
FIGURA 27 - AUTOR DA DISSERTAÇÃO TESTANDO A RESISTÊNCIA DOS PROTÓTIPOS DE PALITOS DE PICOLÉ .....	74
FIGURA 28 - FORMA PARA CONSTRUÇÃO DO BANCO DE CONCRETO .....	74
FIGURA 29 - ARMAÇÃO CONSTRUÍDA EM AÇO 10 MM.....	75
FIGURA 30 -BANCO DE CONCRETO EM PROCESSO DE CURA .....	75
FIGURA 31 - BANCO DE CONCRETO PRONTO APROXIMADAMENTE 380KG .....	75
FIGURA 32 - GRÁFICO QUE REPRESENTA AS TRÊS CATEGORIAS APRESENTADAS.....	79
FIGURA 33 -GRÁFICO QUE REPRESENTA AS DUAS CATEGORIAS DE REPOSTAS .....	79
FIGURA 34 - TIPOS DE ALAVANCAS.....	92
FIGURA 35 - RESPOSTA DO ESTUDANTE A PARA QUESTÃO 1 .....	93
FIGURA 36 -RESPOSTA DO ESTUDANTE B PARA QUESTÃO 1 .....	93

FIGURA 37 - RESPOSTA DO ESTUDANTE C PARA QUESTÃO 1.....	93
FIGURA 38 -RESPOSTA DO ESTUDANTE D PARA QUESTÃO 1 .....	93
FIGURA 39 - TIPO DE ALAVANCA DEMOSTRADO PELO BRAÇO HUMANO .....	94
FIGURA 40 - RESPOSTA DO ESTUDANTE A PARA QUESTÃO 2A.....	95
FIGURA 41 RESPOSTA DO ESTUDANTE B PARA QUESTÃO 2A.....	95
FIGURA 42 - RESPOSTA DO ESTUDANTE C PARA QUESTÃO 2A.....	96
FIGURA 43 RESPOSTA DO ESTUDANTE D PARA QUESTÃO 2A .....	96
FIGURA 44 - RESPOSTA DO ESTUDANTE A PARA QUESTÃO 2B.....	96
FIGURA 45 - RESPOSTA DO ESTUDANTE B PARA QUESTÃO 2B.....	97
FIGURA 46 - RESPOSTA DO ESTUDANTE C PARA QUESTÃO 2B.....	97
FIGURA 47 - RESPOSTA DO ESTUDANTE D PARA QUESTÃO 2B.....	97
FIGURA 48 - SUPORTE TIPO GANGORRA.....	98
FIGURA 49 -RESPOSTA DO ESTUDANTE A PARA QUESTÃO 3 .....	98
FIGURA 50 -RESPOSTA DO ESTUDANTE B PARA QUESTÃO 3 .....	98
FIGURA 51 - RESPOSTA DO ESTUDANTE C PARA QUESTÃO 3.....	99
FIGURA 52 - RESPOSTA DO ESTUDANTE D PARA QUESTÃO 3 .....	99

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS .....	38
QUADRO 2 – CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS DO ESTUDO QUALITATIVO.....	59
QUADRO 3 – QUADRO DE CATEGORIAS A PARTIR DAS RESPOSTAS OBTIDAS DOS ESTUDANTES .....	77
QUADRO 4 – NÚMERO DE RESPOSTAS OBTIDAS POR MEIO DOS QUESTIONÁRIOS .....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABP</b>	Aprendizagem Baseada em Problemas
<b>BIE</b>	Buck Institute for Education
<b>BNCC</b>	Base Nacional Comum Curricular
<b>MNPEF</b>	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
<b>TDIC</b>	Tecnologias digitais de informação e comunicação
<b>MEC</b>	Ministério da Educação e Cultura
<b>LDB</b>	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
<b>PCNEM</b>	Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio
<b>EPI</b>	Equipamento de Proteção Individual

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1. A MOTIVAÇÃO PARA A FÍSICA.....	18
1.2. A ORIGEM DA PROPOSTA .....	20
1.3. A MOTIVAÇÃO PARA O TEMA.....	22
1.4. A PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA .....	23
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>25</b>
2.1 OS DOCUMENTOS OFICIAIS .....	25
2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA .....	27
2.3 O DESIGN THINKING NO ENSINO DE FÍSICA .....	34
2.4 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS.....	36
<b>3 EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE</b> .....	<b>39</b>
3.1 UM POUCO DE HISTÓRIA .....	41
3.2 EQUILÍBRIO DE UM CORPO DEFORMÁVEL .....	41
3.3 FORÇA DE SUPERFÍCIE.....	42
3.4 FORÇA DE CORPO .....	42
3.5 REAÇÕES DE APOIO .....	42
3.6 EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO .....	43
3.7 TENSÃO E DEFORMAÇÃO .....	45
3.8 CISALHAMENTO .....	47
3.9 TENSÃO HIDROSTÁTICA .....	48
3.10 ELASTICIDADE E PLASTICIDADE – COMPORTAMENTO ELÁSTICO .....	49
3.11 ESCOAMENTO.....	50
3.12 MATERIAIS DÚCTEIS .....	51
3.13 MATERIAIS FRÁGEIS .....	51
3.14 TRELIÇAS.....	52
3.15 TRELIÇAS SIMPLES .....	53
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>58</b>
4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	58
4.2 OS PARTICIPANTES E O AMBIENTE DA PESQUISA .....	61
4.3 A COLETA DOS DADOS.....	62
4.4 A ORIGEM DO PROJETO DO BANCO DE CONCRETO ARMADO.....	63
4.5 A CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	64

4.6 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO .....	66
<b>5 RELATO DE EXPERIÊNCIA E DISCUSSÃO .....</b>	<b>76</b>
5.1 RELATOS INICIAIS .....	76
5.2 RELATOS DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS .....	80
5.2.1 ATIVIDADE 1: EQUILÍBRIO DE CORPOS EXTENSOS .....	82
5.2.2 ATIVIDADE 2: TENSÃO OU TRAÇÃO NOS CABOS.....	83
5.2.3 ATIVIDADE 3: CONSTRUÇÃO DE UM CUBO EM PALITOS DE PICOLÉ.....	83
5.2.4 ATIVIDADE 4: CONSTRUÇÃO DE VIGAS EM PALITOS DE PICOLÉ .....	84
5.2.5 ATIVIDADE 5: CONSTRUÇÃO DE UM PIRÂMIDE QUADRANGULAR.....	85
5.2.6 ATIVIDADE 6: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM BANCO DE ASSENTO .....	85
5.2.7 ATIVIDADE 7: TENSIONANDO ESTRUTURAS EM PALITOS DE PICOLÉ .....	86
5.2.8 ATIVIDADE 8: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM BANCO TRELIÇADO .....	86
5.2.9 ATIVIDADE 9: DEMOSTRAÇÃO DA PRENSA HIDRAÚLICA.....	87
5.2.10 ATIVIDADE 10: CONSTRUÇÃO DO BANCO DE CONCRETO ARMADO .....	88
5.2.11 ATIVIDADE DE RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS EM SALA DE AULA.....	91
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL RESPONDIDO PELOS ESTUDANTES</b> .....	<b>107</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1. A MOTIVAÇÃO PARA A FÍSICA

*“Como professor devo saber que sem a curiosidade que me move, que me inquieta, que me insere na busca, não aprendo nem ensino. Exercer a minha curiosidade de forma correta é um direito que tenho como gente e a que corresponde o dever de lutar por ele, o direito à curiosidade (FREIRE, 2006, p. 85).”*

Durante a minha infância, a curiosidade me fazia questionar por que as coisas são construídas da forma que nos são apresentadas. Um fato que passava despercebido pela maioria das pessoas e que eu considerava excepcional era o telhado de um galpão que tinha 40 metros de comprimento por 30 metros de largura e nenhum suporte entre as laterais que pudesse dar sustentação às telhas. Apenas as treliças faziam o papel de sustentação de todas as telhas.

Meu pai dizia que “as vigas de madeira em forma de triângulos empurram o peso das telhas para cima”. O engenheiro agrônomo dono do galpão ouvia a conversa e disse: “Quando você chegar ao Ensino Médio, tem uma disciplina que se chama Física. Nessa disciplina, você vai estudar conceitos que possibilitam entender o porquê isso funciona dessa maneira”.

Nessa mesma época, gostava de pegar talo (pecíolo) de buriti (*Mauritia flexuosa*) para construir pequenos protótipos de objetos do cotidiano, como móveis, casa, galpão, caminhão, trator, ônibus e pontes. Isso motivado por meu pai, pois lembro que ele construiu um barquinho e me ensinou a construir um também.

A frase que ouvi do engenheiro foi um divisor de águas em minha vida. O entusiasmo de chegar ao Ensino Médio e estudar Física era um objetivo a ser conquistado. Lembro-me de que, nas aulas de Ciências do Ensino Fundamental, não estudei Física. Até a sétima série, os conteúdos abordados eram apenas os da disciplina de Biologia. Embora os livros da oitava série, hoje nono ano, abordem conceitos de Física, à época nenhum conteúdo dessa disciplina fora ministrado.

Enfim o Ensino Médio chegou, e a vontade de conhecer a dinâmica relacionada ao funcionamento de elementos do cotidiano não se concretizou. As aulas de Física eram baseadas em um modelo tradicional. Neste, o professor fazia a exposição dos conteúdos, com resolução de exercícios durante toda a aula. O livro adotado era pouco instrutivo no que diz respeito à parte experimental. O instrumento

de avaliação utilizado para obtenção de notas era somente por meio de provas. Nestas, cobrava-se a resolução de exercícios nos moldes dos resolvidos em sala de aula.

Entre uma aula e outra, a relação estabelecida com os conceitos da Física resumia-se na aplicação mecânica de uma equação para a resolução de um exercício. Os denominados “macetes”, uma engenhosa maneira de não esquecer uma equação até o dia da prova, eram apresentados com frequência. As minhas curiosidades da infância ficaram, portanto, sem respostas ao longo de todo o Ensino Médio. As abordagens metodológicas desenvolvidas em sala de aula, não apenas na disciplina de Física, não proporcionavam uma aprendizagem que estimulasse a criatividade e a curiosidade dos estudantes. A retórica já era conhecida: bastava reproduzir o que estava no livro ou em uma apostila, que o sucesso nas provas era garantido.

Tal metodologia a qual vivenciei na escola durante o Ensino Médio é criticada há décadas, visto que não favorece uma aprendizagem significativa que estabeleça um vínculo com o cotidiano dos estudantes. No entanto não cabe unicamente ao professor o processo de mudança. São necessárias políticas públicas que garantam, de forma sistemática, a formação dos docentes.

Ao terminar o Ensino Médio, já estava decidido sobre o curso superior que gostaria de cursar: Física. Sendo assim, submeti-me ao exame de vestibular e fui aprovado para o curso de Física da Universidade Federal de Goiás. Naquela época ainda não havia o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem).

As metodologias e as práticas vivenciadas durante a graduação em Física mantinham uma estreita relação com as vivenciadas no Ensino Médio. As inquietações as quais esperei que fossem respondidas ao longo de minha vida acadêmica, nessa perspectiva, continuam em aberto. Pensava que o conhecimento escolar pudesse proporcionar um esclarecimento objetivo do funcionamento de ferramentas e elementos estruturais das edificações produzidos pelo ser humano vinculadas ao mundo real, e não apenas uma explicação de conteúdos de forma idealizada desvinculado da realidade.

Durante o curso superior, nas diversas discussões, sobretudo durante as disciplinas de abordagem pedagógica, percebi que meus questionamentos estavam mais relacionados à estrutura curricular do sistema de ensino vigente e às políticas públicas de formação de professores, que praticamente não existem. O concreto, antes pensado como forma de conceber o idealizado, já não questionava a estrutura

estabelecida nas relações do processo de ensino e aprendizagem do sistema vigente em sala de aula. Esse processo extrapola o efetivo ambiente da própria sala.

À medida que se compreende a complexidade que se engendra nos processos de ensino e aprendizagem, percebe-se que há possibilidades de se pensar em propostas que estabeleçam maior engajamento e também uma motivação intrínseca dos estudantes em sala de aula. Para promover uma aprendizagem com significado dos conteúdos escolares, parece que há necessidade de se buscarem metodologias alternativas para que os estudantes se motivem, engajem-se e tornem-se sujeitos ativos no processo de aprendizagem dentro ou fora da sala de aula.

As discussões realizadas em sala de aula entre professor e estudantes são de extrema importância para o processo de ensino e aprendizagem. Os questionamentos realizados pelos estudantes não estão descritos nos planejamentos e planos de aula que nos professores elaboramos, são questionamentos únicos, que corroboram para a busca de respostas por meio de pesquisa em sala de aula. A seguir são apresentados alguns dos questionamentos realizados pelos estudantes que contribuíram para origem dessa pesquisa.

## 1.2. A ORIGEM DA PROPOSTA

A proposta de trabalhar tópicos de resistência dos materiais e desenvolver práticas experimentais que corroborem, de maneira significativa, a compreensão dos conceitos da Física surgiu durante uma aula experimental. Os estudantes de uma turma do Ensino Médio realizavam o experimento sobre a Lei de Hooke, realizado com uma mola, cujo objetivo é determinar a constante elástica da mola.

No decorrer da aula, alguns alunos aproximaram-se com uma régua e a colocaram apoiada sobre as mãos. Um deles, perguntou: “Professor, por que é mais fácil flexionar a régua quando ela está nessa posição horizontal (a maior parte da massa distribuída em um plano horizontal) do que quando ela está na posição vertical (a massa distribuída em um plano vertical)?” Antes de responder à pergunta, fiz o seguinte questionamento: “Para vocês, é mais interessante determinar a constante elástica dessa mola ou saber por que essa régua flexiona, mais ou menos, de acordo com a posição em que ela é colocada para uma mesma força aplicada?”.

Os estudantes, então, disseram que achavam mais interessante entender esse fenômeno que acontece com a régua, porque parece ser mais próximo das

situações da vida cotidiana. Em seguida, outro estudante continuou: “Se eu souber por que isso acontece, talvez eu saberia explicar muitas outras coisas, como, por exemplo, por que as vigas são construídas da maneira em que a régua está posicionada nesse momento (massa distribuída ao de um plano vertical). Não que o experimento que estamos realizando sobre a Lei de Hooke não seja importante, mas essa flexão da régua é bem mais real para mim.”. Após esse diálogo com os estudantes, em relação ao clássico experimento de determinar a constante da mola, percebi que seria interessante desenvolver uma prática ou um experimento sobre a Lei de Hooke que fizesse mais sentido e retratasse a realidade do que, de fato, ocorre com os materiais, de forma geral, quando são submetidos a forças.

Ante os questionamentos dos estudantes, fiquei pensando no quanto é importante para eles participarem de forma efetiva do desenvolvimento de práticas experimentais. Quando os estudantes participam de maneira ativa dessas práticas, há a possibilidade de estabelecerem relações entre conhecimentos prévios – advindos de fatos do cotidiano – e conhecimentos da Física.

Ainda com base nesses questionamentos de ordem prática, refleti sobre o quanto os fatos do cotidiano, realizados de forma sistematizada, contribuem para a formação de conceitos da Física. Do mesmo modo, como colaboram para o desenvolvimento da linguagem que é utilizada pela disciplina na explicação de fenômenos dia a dia. Nesse sentido, recordei-me dos exercícios que são resolvidos em sala de aula, sejam os de movimento de maneira geral ou as aplicações das Leis de Newton em situações ideais. São exemplos os bloquinhos, que são empurrados sobre uma mola até que essa se deforme, ou os que fazem o uso do conceito de torque (momento de uma força).

Ademais, há situações em que os estudantes indagam onde se encontra no cotidiano um bloco interligado a outro por meio de um fio ou um cabo, ainda sem massa, sendo puxado por uma força de intensidade  $F$  ao longo de um plano horizontal ou inclinado e sem atrito. São circunstâncias abstratas para os estudantes e que não contribuem para uma aprendizagem que tenha significado para eles. Esses conteúdos, talvez por motivos que extrapolam a sala de aula, acabam sendo trabalhados de forma idealizada e distante da realidade dos estudantes.

Ao trabalhar seis semestres ministrando aulas na Faculdade de Engenharia para graduandos em Engenharia Civil e Engenharia Elétrica, os estudantes sinalizaram que os conteúdos estudados nas disciplinas de Física são distantes da

vivência no mundo e não se relacionam com a realidade da Engenharia. Isso porque eles já estavam fazendo estágios em empresas que atuam na área em que eles estavam estudando.

Eles queriam que os conteúdos de Física fizessem mais sentido para as profissões que escolheram. Alegavam, também, que os conteúdos de Física estudados no Ensino Médio priorizam apenas a memorização e a aplicação de equações na resolução de exercícios fictícios distantes da realidade. Por fim, achavam que, amparados em conteúdos estudados na mecânica, seria possível desenvolver, desde o Ensino Médio, artefatos práticos ou experimentais para campos de estudo que envolvam as engenharias de maneira geral.

Como grande parte dos estudantes já trabalhava em ambientes corporativos da futura profissão, alegavam que os processos de elaboração de projetos ajudariam em qualquer área de estudo. Desta forma, as ideias pontuadas pelos estudantes em sala de aula referente ao distanciamento entre teoria e a prática cotidiana foram fundamentais para repensar a prática em sala de aula. Essas discussões serviram como ponto de partida para a motivação pelo tema que será apresentada a seguir.

### 1.3. A MOTIVAÇÃO PARA O TEMA

Os dilemas apresentados pelos estudantes dos ensinos Médio e superior levaram-me a pensar em uma proposta que pudesse trabalhar tópicos de resistência dos materiais no Ensino Médio por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente significativa. A proposta visa estabelecer no ambiente da sala de aula um local de investigação e de questionamentos, relacionando conhecimentos prévios, de forma prática e teórica em diversos contextos a fim de se verificar evidências de uma aprendizagem significativa crítica.

O trabalho em questão, busca, por meio de abordagens e metodologias inovadoras, construir uma sequência didática, que, proporcione o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa crítica, como propõe Moreira (2005) por meio dos onze princípios norteadores, um ensino de Física mais eficiente, centrado no aluno, onde “o professor fale menos, narre menos, e o aluno fale mais, participe criticamente de sua aprendizagem” (Moreira, 2017, p. 46). Dessa maneira o conhecimento da Física deve ser apresentado “através de estratégias instrucionais que levem o aluno a falar

mais, ou seja, a externalizar para o professor os significados que está captando” (Moreira, 2017, p. 49)

Tendo em vista, o princípio da interação social e do questionamento, neste trabalho, busca estabelecer relações entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio Moreira (2007) por meio de uma sequência didática. Procura-se, ainda, estabelecer um processo investigativo no ambiente da sala de aula por meio de práticas que envolvam os estudantes na construção de protótipos de objetos reais a fim de estimular a criatividade e a curiosidade dos(as) estudantes. Para isso, é proposto um roteiro de atividades práticas, que visam estabelecer ancoragem entre o conhecimento prévio e aplicação dos novos conceitos da Física trabalhados em momentos de discussão fortalecendo o vínculo entre prática e teoria.

Entender os conceitos da física por meio de relações estabelecidas com fatos presentes no cotidiano pode ser um instrumento de suma importância para a manutenção e prevenção da vida. Saber o como funciona as coisas no dia a dia fundamentados em conhecimentos da Física é de suma importância para viver nessa sociedade contemporânea. Embora, a física, seja para muitos uma ciência eminentemente experimental, não podemos perpetuar essa ideia de forma tão simplista.

É preciso avançar em conhecimentos que estabeleçam relações entre prática experimental e conhecimento teórico. E não reduzir a prática a um simples experimento legal ou porque estimule uma simples atividade recreativa, que nada acrescenta, estimulando apenas uma passa tempo para a manutenção do status quo dos estudantes em sala de aula. No entanto, essa visão de que a Física é uma ciência eminentemente experimental, reconhece-se o quanto é fundamental uma prática experimental ser guiada pelos conhecimentos que essa ciência desenvolveu ao longo da história.

#### 1.4. A PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho busca investigar os desafios e possibilidades de se implementar inovações didáticas no ensino da Física no Ensino Médio. As metodologias ativas do Design Thinking e Aprendizagem Baseada em Projetos se apresentam como mais uma alternativa no sentido de contribuir na elaboração e implementação de uma sequência didática sobre tópicos de resistência dos materiais

no ensino médio rompendo com aquela atitude passiva do estudante de apenas ouvir a aula. A partir da implementação das propostas por meio das metodologias ativas pretende-se responder às perguntas a seguir.

Como se percebe a motivação dos estudantes na realização das práticas desenvolvidas em relação a modificação da organização didática no ambiente escolar?

Qual é a percepção do pesquisador sobre a motivação dos estudantes na realização das atividades trabalhadas de maneira colaborativa?

Como os estudantes avaliam as atividades realizadas para o estudo de resistência dos materiais?

As práticas desenvolvidas estabelecem uma relação entre conteúdo teórico e fatos conhecidos no cotidiano?

Qual é o grau de envolvimento dos estudantes a partir de práticas oriundas de discussões realizadas em sala de aula?

Quais são as dificuldades apresentadas para a implementação e o desenvolvimento da proposta de tópicos de resistência dos materiais no ensino médio?

Há evidências de uma aprendizagem significativa crítica?

A partir dessas questões, pensar em uma abordagem metodológica que permita maior interação dos estudantes com o conteúdo de ensino se faz necessário. A experiência vivenciada, enquanto estudante e a discutida com os estudantes em sala de aula, evidencia que, inovar nesse ambiente pode influenciar no desenvolvimento de competências e habilidades a serem enfrentadas no cotidiano.

Como objetivo de responder tais questões elencadas anteriormente, o trabalho é organizado em 6 capítulos. No capítulo de número, como já exposto, é realizado uma breve introdução. No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica a fim de responder as questões de pesquisa. No terceiro capítulo apresentamos os conceitos da Física relativos a equilíbrio e elasticidade que fundamentam esta dissertação. No capítulo de número quatro é apresentado o percurso metodológico do trabalho. No quinto capítulo é apresentado o relato de experiência e as discussões desenvolvidas no decorrer da pesquisa. As considerações finais e encaminhamentos sobre a pesquisa são apresentados no sexto capítulo. No Apêndice B encontra-se o produto educacional desenvolvido nessa pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 OS DOCUMENTOS OFICIAIS

O Ministério da Educação e Cultura (MEC), fundamentado na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) – Lei n.º 9.394/1996 – com o objetivo de nortear políticas públicas que contribuam para melhorias, elaborou os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Em relação ao ensino tradicional, esse documento diz que

Esse quadro não decorre unicamente do despreparo dos professores, nem de limitações impostas pelas condições escolares deficientes. Expressa, ao contrário, uma deformação estrutural, que veio sendo gradualmente introjetada pelos participantes do sistema escolar e que passou a ser tomada como coisa natural. Na medida em que se pretendia ou propedêutico ou técnico, em um passado não muito remoto, o Ensino Médio possuía outras finalidades e era coerente com as exigências de então. “Naquela época”, o ensino “funcionava bem”, porque era propedêutico. Privilegiava-se o “desenvolvimento do raciocínio” de forma isolada, adiando a compreensão mais profunda para outros níveis de ensino ou para um futuro inexistente (BRASIL, 2000, p. 22).

Diante das novas exigências da sociedade contemporânea, esse documento apresenta uma abordagem sobre os conhecimentos de Física para o Ensino Médio com propostas diversificadas e contextualizadas que subsidiam o docente em sala de aula. A proposta dessa nova abordagem estabelece que os conhecimentos proporcionados pela Física, aliados à cultura e às tecnologias, tornaram-se indispensáveis para uma formação comprometida com uma cidadania contemporânea (PCNEM, 2000).

O papel a ser exercido pelos estudantes em uma sociedade em constante mudança passa por uma discussão sobre qual Física deve ser ensinada, uma vez que boa parte dos alunos não seguirá seus estudos nessa área.

É preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. Essa é a questão a ser enfrentada pelos educadores de cada escola, de cada realidade social, procurando corresponder aos desejos e esperanças de todos os participantes do processo educativo, reunidos através de uma proposta pedagógica clara. É sempre possível, no entanto, sinalizar aqueles aspectos que conduzem o desenvolvimento do ensino na direção desejada (BRASIL, 2000, p. 23).

A abordagem da Física no Ensino Médio, segundo as diretrizes do PCNEM, ganha nova dimensão voltada para uma formação comprometida com valores para a cidadania. “Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade” (BRASIL, 2000, p. 59).

Essa nova abordagem passa por uma rediscussão da Física que é ensinada conforme os modelos que não proporcionam uma aprendizagem que tenha significado para os estudantes. A proposta a qual os Parâmetros Curriculares Nacionais tentam redefinir visa proporcionar novos procedimentos ao ensino da Física para que os estudantes do Ensino Médio consigam estabelecer relações entre os conhecimentos da disciplina com fatos que fazem parte da vida cotidiana.

Os desafios de elaborar currículos básicos para os sistemas de ensino que norteiem propostas pedagógicas não são poucos. O MEC, nesse sentido, com intuito de encaminhar ações efetivas e que promovam uma aprendizagem mínima à qual todos os estudantes têm direito durante a educação básica, propôs a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Esse documento possui caráter normativo que define quais conhecimentos, competências e habilidades são essenciais para que os estudantes desenvolvam ao longo da educação básica.

A formação cidadã é muito presente no texto da BNCC. Além de propor ações direcionadas à investigação científica, há também elementos de ordem social. Nestes, estudantes, juntamente com seus professores, podem elaborar projetos que possibilitem intervenções, sejam de caráter local, sejam de maneira mais ampla. Dessa forma, a escola não é apenas um local onde os estudantes adentram para aprenderem matérias que já foram escritas em livros didáticos. É espaço para estimular a visão crítica, a autonomia de pensamento, a curiosidade, a criatividade, a inovação e escrever a própria história.

Os desafios a serem enfrentados na vida contemporânea requerem por parte dos discentes, competências e habilidades. Tais aptidões são essenciais para o desenvolvimento de qualquer atividade no mundo do trabalho. Nesse sentido, as competências a serem desenvolvidas pelos estudantes da educação básica para o enfrentamento dos dilemas da vida real são enumerados pela BNCC. Algumas dessas competências específicas das áreas das Ciências da Natureza e suas tecnologias, instituídas pela BNCC (BRASIL, 2017, p. 539), são:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.
2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da vida, da Terra e do cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.
3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das ciências da natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC).

O referencial teórico que norteia a proposta do presente trabalho dialoga com as competências gerais e específicas da área de Ciências da Natureza e suas tecnologias da BNCC. Além de possibilitar a aprendizagem de conceitos da Física, ancorados em uma prática real com base no desenvolvimento e na construção de protótipos, a proposta visa desenvolver nos estudantes uma atitude de compromisso com a formação humana comprometida com valores éticos e democráticos. Nesse sentido, a seguir é apresentado a teoria da aprendizagem crítica.

## 2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

Os documentos oficiais estabelecem que o processo de ensino e aprendizagem deve proporcionar aos estudantes o desenvolvimento de competências e habilidades durante a vida escolar. Logo, para que tais aptidões sejam desenvolvidas, a aprendizagem deve ter significado para os estudantes. Na concepção do psicólogo David Paul Ausubel (1918-2008), a aprendizagem deve ser significativa. Sendo assim, o pesquisador propôs a Teoria da Aprendizagem Significativa, a qual estabelece que os conhecimentos prévios influenciam o desenvolvimento dos estudantes.

Essa aprendizagem é entendida como uma reorganização das estruturas cognitivas que são capazes de produzir, com amparo no que o estudante já sabe, um significado que possibilita o desenvolvimento e a reelaboração do conhecimento. Essa estrutura é estabelecida em razão de uma “[...] interação ativa e integradora entre novos materiais de instrução e ideias relevantes da estrutura de conhecimentos existentes do aprendiz” (AUSUBEL, 2003, p. 43).

A aprendizagem não ocorre, portanto, de maneira espontânea. David Ausubel defende que ela, para ser significativa, deve possuir um compromisso por parte do estudante, de forma intencional, a fim de que haja uma ligação entre os conceitos preexistentes e as novas informações. O fato de o estudante querer relacionar os conhecimentos prévios com as novas informações é o que determina que tais informações sejam significativas.

A aprendizagem significativa de David Ausubel, de acordo com Moreira (2017) está na interação cognitiva entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios, ou seja, aqueles os quais o estudante já apresenta uma certa competência para diferenciar significados dos novos conhecimentos Moreira (2011, p. 22).

Nessa interação entre o novo e o prévio é que a relação se dá de maneira não arbitrária e não literal com aquilo que o estudante já conhece. Para o autor (Moreira, 2011, p. 23), o fato de o conhecimento prévio ser a variável que mais influência a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, não há evidências de que ela sempre atua como facilitadora da aprendizagem. Como o pesquisador argumenta, ela pode atuar, também, como bloqueadora de aprendizagens.

De acordo com Moreira (2011), há duas condições para que a aprendizagem significativa ocorra. A primeira está associada ao material de aprendizagem que deve ser potencialmente significativo, ao passo que a segunda condição está relacionada ao fato de que o estudante deve apresentar uma predisposição para aprender. O autor (Moreira, 2011) deixa claro que os materiais – por serem potencialmente significativos – não são significativos em si. Isso porque quem estabelece e dá significado a eles são as pessoas. Em outras palavras, o significado de cada material está naquele que interagiu e atribuiu significados por meio dos conhecimentos prévios estabelecidos conforme o contexto de cada da disciplina.

O material elaborado pelo professor é crucial para que o estudante interaja com o objeto de conhecimento. Nesse processo, os conhecimentos prévios atuam para o desenvolvimento de novas estruturas cognitivas. Essas estruturas dão suporte à negociação dos significados que os alunos vão adquirir ao longo do processo de ensino e aprendizagem.

Do mesmo modo, as relações sociais estabelecidas no ambiente escolar desempenham papel no desenvolvimento cognitivo dos estudantes. As funções mentais superiores têm origem nos processos sociais (Moreira, 2016). Na perspectiva interacionista social de Vygotsky, “[...] o desenvolvimento cognitivo é a conversão de

relações sociais em funções mentais; é por meio da socialização que se dá o desenvolvimento dos processos mentais superiores” (Moreira, 2011, p. 108).

Sob essa ótica, quando o professor, em seu planejamento, promove ações que priorizam atividades que necessitam da interação entre estudantes e objeto de conhecimento, há uma negociação de significados que se desenvolve nos diferentes contextos da vida social. O processo de aprendizagem não se dá de modo exclusivo no ambiente escolar, é um processo que está vinculado a todas as ações que os indivíduos realizam no decorrer da vida.

No contexto escolar, tais ações devem estar direcionadas a desenvolver nos discentes competências e habilidades para compreensão das diversas linguagens que compõem os diferentes campos de conhecimento e o aprimoramento da cidadania. Competências e habilidades não devem estar, em hipótese alguma, vinculadas única e exclusivamente ao mercado de trabalho.

Para Moreira, a aprendizagem, na sociedade contemporânea, não basta ser significativa. Ela deve ir além, a fim de que o estudante aprenda de forma crítica. Essa visão defendida pelo autor é denominada “Aprendizagem Significativa Crítica”. Nas palavras do pesquisador:

Também dentro de uma ótica contemporânea, é importante que a aprendizagem significativa também seja crítica, subversiva e antropológica. Quer dizer, na sociedade contemporânea não basta adquirir novos conhecimentos de maneira significativa, é preciso adquiri-los criticamente. Ao mesmo tempo em que é preciso viver nessa sociedade, integrar-se a ela, é necessário também ser crítico dela, distanciar-se dela e de seus conhecimentos quando ela está perdendo o rumo (MOREIRA, 2011, p. 173).

Essa nova abordagem – atribuída à aprendizagem significativa por Moreira (2012) – vem somar à visão de Paulo Freire, quando este afirma em seu livro *Pedagogia da Autonomia* que ensinar exige criticidade.

Precisamente porque a promoção da ingenuidade para a criticidade não se dá automaticamente, uma das tarefas precípuas da prática educativa-progressista é exatamente o desenvolvimento da curiosidade crítica, insatisfeita, indócil. Curiosidade com que podemos nos defender de “irracionalismos” decorrentes do ou produzidos por certo excesso de “racionalidade” de nosso tempo altamente tecnologizado. E não vai nesta consideração nenhuma arrancada falsamente humanista de negação da tecnologia e da ciência. Pelo contrário é consideração de quem, de um lado, não diviniza a tecnologia, mas, de outro, não há diaboliza. De quem a olha ou mesmo a espreita de forma criticamente curiosa (FREIRE, 2006, p. 31).

Tal concepção de uma educação crítica não é nova, como afirma Moreira, (2017). No entanto é preciso avançar nesse aspecto, ante uma educação acrítica, na qual as escolas se tornam centros de treinamento para os testes nacionais e internacionais, e os professores são obrigados a atuarem como treinadores (Moreira, 2017).

Essa nova abordagem, a Aprendizagem Significativa Crítica (ASC), em aprimoramento à aprendizagem significativa de Ausubel, “[...] implica a captação de significados com questionamentos. Sim, é preciso captar os significados de novos conhecimentos, tal como sugere a visão interacionista social, mas com criticidade” (MOREIRA, 2017, p. 167).

Para tanto, Moreira estabeleceu 11 princípios com o objetivo de facilitar o processo de ensino e aprendizagem, sobre os quais a ASC está fundamentada, quais sejam: 1) Princípio do conhecimento prévio; 2) Princípio da interação social e do questionamento; 3) Princípio da não centralidade do livro de texto; 4) Princípio do aprendiz como perceptor/representador; 5) Princípio do conhecimento como linguagem; 6) Princípio da consciência semântica; 7) Princípio da aprendizagem pelo erro; 8) Princípio da desaprendizagem; 9) Princípio da incerteza do conhecimento; 10) Princípio da não utilização do quadro de giz; e 11) Princípio do abandono da narrativa.

O primeiro princípio fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. O conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aquisição, com significado de novos conhecimentos (Moreira, 2011, p. 173).

No ensino de ciências, conhecimentos prévios não são apenas as conhecidas concepções alternativas. É muito mais do que isso. São esquemas, construtos, modelos mentais, invariantes operatórios, imagens fixas, ...E tudo isso pode funcionar como precursor ou como obstáculo para a construção e incorporação de novos conhecimentos à estrutura cognitiva. Esses conhecimentos prévios podem também conviver com novos conhecimentos inibindo a mudança conceitual, de tal modo que em determinada situação o aluno escolhe entre uma e outra resposta, a do professor e a sua (MOREIRA, 2016, p. 123).

O segundo princípio ancora-se na interação social que se dá entre os indivíduos e o objeto de conhecimento. Nesse princípio, os significados dentro de um contexto são compartilhados. A aprendizagem significativa, por sua vez, depende da interação cognitiva entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios relevantes (MOREIRA, 2016). Nessa interação em sala de aula, cabe ao professor – como mediador e conhecedor dos significados da sua disciplina – problematizar questões

para que os estudantes sintam-se motivados a participarem de forma ativa do processo de aprendizagem, dialogando e buscando respostas aos questionamentos relativos ao objeto de estudo.

Já o terceiro princípio trata da inviabilidade do livro-texto como única fonte de conhecimento a proporcionar uma ASC. Moreira argumenta que essa centralização do livro não contribui para que a aprendizagem seja crítica, visto que há uma diversidade de materiais que o professor pode utilizar como fonte de pesquisa.

O que está sendo questionado nesse princípio não é a qualidade do livro-texto, e sim o fato de ele ser a fonte exclusiva de pesquisa para o estudante. O sistema educacional brasileiro está estruturado de tal maneira que leva o professor a utilizar apenas um periódico. Ademais, os conteúdos são extensos, além de serem predeterminados por um currículo chamado de mínimo. Assim, essa dinâmica de utilizar apenas o livro de texto contribui para que visões distorcidas sobre como a ciência foi construída ao longo dos anos sejam reforçadas, além de serem pré-determinados por um currículo chamado de mínimo.

O quarto princípio enumerado por Moreira como facilitador para uma Aprendizagem Significativa Crítica está vinculado ao papel ativo do aluno no processo de aprendizagem. O estudante deve assumir a posição de perceptor, isto é, aquele que tem a capacidade de perceber, compreender e entender as informações que são compartilhadas no ambiente de ensino. Com amparo nesse entendimento, o estudante também fará representações fundamentadas em seus conhecimentos prévios e em novos conhecimentos adquiridos por meio de interações entre ele e os professores. A representação mental é, pois, um recurso valioso para o desenvolvimento cognitivo do discente. Por fim, nesse princípio, há também uma interação por meio da troca de significados entre os atores do processo de aprendizagem.

O quinto princípio que norteia a ASC é o conhecimento como linguagem. A percepção e a compreensão de um conhecimento passam por aprender uma nova linguagem. “Praticamente tudo o que chamamos de conhecimento é linguagem. Isso significa que a chave da compreensão de um conhecimento, ou de um conteúdo, é conhecer sua linguagem” (MOREIRA, 2011, p. 75). Sendo assim, de acordo com Moreira (2011), aprender um conteúdo de maneira crítica é poder perceber essa nova linguagem como mais uma possibilidade de entender o mundo.

O sexto princípio é o da consciência semântica. É preciso reconhecer em primeiro lugar, consoante Moreira (2011), que os significados são atribuídos às coisas pelas pessoas, ou seja, o significado está nas pessoas, e não nas palavras. Sabe-se que palavras com grafias iguais podem ter significados diferentes. Portanto deve-se considerar o contexto nos quais as palavras então sendo utilizadas. O pesquisador arremata afirmando que as pessoas não podem atribuir significados às palavras que estão fora do convívio de sua experiência.

A Física possui uma linguagem própria, expressa com termos conhecidos, porém com significados adversos do uso cotidiano. Não há outra possibilidade de avançar nesse princípio se não “ter consciência de que é variável a correspondência entre palavras e referentes verificáveis, ou seja, há níveis de abstração variáveis” (MOREIRA, 2011, p. 76). Por isso a importância do compartilhamento de significados por meio da interação. Quando o professor assume o papel de mediador, o compartilhamento de significados com os estudantes torna-se mais evidente.

O sétimo princípio apresentado por Moreira é o da aprendizagem a partir do erro. O ser humano está acostumado a vivenciar o erro como algo sempre negativo, a exemplo do erro no cotidiano escolar, o qual é punido com uma nota baixa. Superar esse equívoco requer esforço, exigindo uma criticidade do que é educação. É necessário entender que, para superar as dificuldades de aprendizagem, o erro faz parte do processo de desenvolvimento. Usar o erro como meio coercitivo em momentos de aprendizagem chega a ser um ato imoral.

O oitavo princípio é refere-se à aprendizagem a partir da desaprendizagem. Essa premissa ressalta que o professor deve se desdobrar para criar dinâmicas para que os estudantes percebam a importância de questionar conhecimentos adquiridos até então. Aprender a desaprender pode ser mais trabalhoso do que aprender um novo conceito. A tendência é buscar um lugar de conforto. Assumir que boa parte daqueles conhecimentos adquiridos ao longo da vida não explica conceitos dentro de um campo de conhecimento não é uma tarefa fácil. Às vezes os conhecimentos prévios podem funcionar como um obstáculo, impedindo a aprendizagem de novos conceitos. Então o ato de desaprender torna-se, nesse contexto, uma ação para a aprendizagem.

Seu efeito é grandemente facilitador da aprendizagem significativa, mas, às vezes, pode ser também inibidor. Quer dizer, não permite que o sujeito perceba novos significados, novas relações. Nesse caso, é preciso aprender

a não usar tal conhecimento. É esse o sentido de desaprender (não usar como ideia-âncora). Sem dúvida, isso é difícil, mas deve ser pelo menos tentado (MOREIRA, 2011, p.175 ).

É possível que a dificuldade enfrentada para desaprender vários conceitos esteja no fato de os alunos terem aprendido vários conteúdos da Física como sendo verdades absolutas. É dever da escola ensinar estratégias para que os estudantes possam perceber e distinguir o conhecimento relevante do irrelevante, a fim de sobreviverem nesta sociedade em constante transformação.

O nono princípio da Aprendizagem Significativa Crítica é o da incerteza do conhecimento. Todo conhecimento parte de perguntas que estão fundamentadas em três elementos vinculados entre si: definições, perguntas e metáforas (MOREIRA, 2011). Ainda de acordo com Moreira (2011), para aprender de maneira crítica por meio de perguntas, é preciso entender que as definições são instrumentos para se pensar, e as metáforas, instrumentos utilizados para pensar. O estudante deve perceber que o conhecimento é metafórico e construído a partir de perguntas feitas por humanos.

O décimo princípio remete à não utilização do quadro de giz. Ele é, neste princípio, o exemplo de uma metáfora. O quadro de giz pode ser o Power Point ou o vídeo que é utilizado do primeiro ao último dia de aula. Desse modo, é preciso modificar a abordagem, bem como os instrumentos de ensino.

O mundo está mudando. Será que a forma de aprender mudou? É preciso repensar o quadro e o giz. Não que eles não sejam mais necessários. Eles continuarão tendo a sua importância dentro de um contexto. Nesse sentido, deve-se inovar as abordagens de ensino, diferenciar o quadro e giz para proporcionar ações que mobilizem os estudantes a uma participação ativa movida pela curiosidade.

O décimo primeiro e último princípio refere-se ao abandono da narrativa pelo professor e deixar o aluno falar. É comum o professor narrar um conteúdo durante todo o tempo da aula. Esse é o padrão de se conduzir uma disciplina, uma vez que o professor que passou sua vida de estudante imerso nesse modelo de ensino o terá como fundamento para as suas aulas. Tal modelo, embora criticado por estudiosos da área da Educação, pois pouco contribui para a aprendizagem dos estudantes, sob determinadas circunstâncias, mostra-se necessário durante as aulas. Sendo assim, a mudança de estratégia ou de abordagem de ensino que promova uma aprendizagem mais eficiente não é algo tão simples como se parece.

Nesse cenário, é imperativo deixar o estudante falar. Tal ação pode evidenciar traços de uma Aprendizagem Significativa Crítica, por meio da externalização da linguagem. Quando o estudante fala, ele demonstra seus conhecimentos prévios para que o professor possa mediar os significados coerentes com o contexto apresentado. No momento em que o aluno se expressa, ele tem a oportunidade de interagir e questionar, proporcionando a interação de significados por meio de metáforas. O que o estudante fala, ainda que seja de um livro-texto, é de sua perspectiva para outros, como perceptor e representador de significados de suas próprias metáforas.

A linguagem é o elemento essencial e indispensável da fala. O aluno não poderia se expressar de outra maneira senão utilizando a linguagem, seja ela qual for. A consciência semântica é aprimorada à medida que o estudante fala e percebe que os erros são caminhos e estratégias para adquirir habilidades e competências. Do mesmo modo, ao passo que percebe os erros cometidos, está desaprendendo em prol do desenvolvimento de uma aprendizagem mais crítica.

Quadro e giz assumem uma perspectiva diferente. Tornam-se ferramentas para mediar a linguagem por meio de anotações que possibilitam a visualização de conceitos e proposições externalizadas pelos estudantes. Então o erro como parte natural da aprendizagem pode colaborar para o entendimento de que o conhecimento é incerto. Ele faz parte de uma construção histórica, na qual a ciência se desenvolve por meio de progressos e revoluções. Desta forma, a presente pesquisa busca introduzir uma abordagem metodológica que pode estimular o engajamento e a criatividade de forma colaborativa dos envolvidos no processo de aprendizagem, o design thinking.

### 2.3 O DESIGN THINKING NO ENSINO DE FÍSICA

O processo de ensino e aprendizagem é complexo. A educação tem exigido novas abordagens para que o processo de construção do conhecimento acerca dos conteúdos escolares seja mais efetivo e motive os estudantes. Os modelos tradicionais de ensino, os quais têm como fundamento a narrativa de um conteúdo do início ao fim durante uma aula, não fazem mais sentido em uma sociedade em constantes transformações. No cenário dinâmico em que se vive, é preciso inovar,

criar possibilidades no ambiente da sala de aula, a fim de que os estudantes sejam protagonistas do seu processo de aprendizagem. Ademais, é preciso que o ato de aprender não seja tão somente em função de uma nota ao final de um período.

O Design Thinking é uma abordagem que catalisa a colaboração, a inovação e a busca por soluções mediante a observação e a cocriação, com base no conceito de prototipagem e na análise de diferentes realidades (CAVALCANTE e FILATRO, 2018). O Design Thinking, por sua essência centrada no ser humano, busca compreender o problema o qual se deseja resolver. Essa fase é conhecida como empatia, entendida como a capacidade de se colocar no lugar do outro por meio da observação, interação e vivência. É nessa fase que acontece a organização dos conhecimentos prévios dos sujeitos envolvidos, bem como a imersão no contexto analisado com objetivo de coletar o máximo de informações para uma análise dos dados.

Ao compreender o problema na fase da empatia, é hora de projetar soluções. Nessa etapa, ocorre o refinamento do problema, por meio de uma chuva de ideias, conhecida como *brainstorming*. Nesse momento, pode-se utilizar uma mídia digital com o objetivo de dinamizar o processo para cada participante expor suas ideias no mural. A proposta é que os envolvidos contribuam de maneira significativa com ideias que possam desenvolver um projeto colaborativo para a solução do problema. Desse modo, o grupo analisará as soluções viáveis segundo os critérios estabelecidos de forma colaborativa, a fim de se tornarem tangíveis por meio de protótipos.

Após essa fase as melhores ideias são analisadas e encaminhadas para a etapa da prototipagem, visto que reduz tempo e custo, dinamizando todo o processo. Os erros, na abordagem do Design Thinking, são vistos como fases para se chegar ao êxito de um projeto construído de forma colaborativa.

A prototipagem dinamiza os processos, reduzindo tempo e custo. As ideias tangíveis são essenciais para se alcançarem objetivos estabelecidos na fase da empatia. É nessa etapa que se aprende com os erros, que as ideias discordantes são resolvidas por meio da boa comunicação e que a testagem de protótipos evita que as falhas ocorram no final do processo, garantindo a implementação da melhor solução.

Neste estudo, havia uma preocupação em inovar a maneira de abordar os conteúdos de Física durante as aulas. O objetivo era que a motivação e o engajamento dos estudantes na realização das atividades proporcionassem uma aprendizagem que

desenvolvesse a curiosidade e a investigação. O Design Thinking é, assim, uma abordagem que possibilita ao professor o desenvolvimento de técnicas que colocam os estudantes como protagonistas de suas próprias aprendizagens.

É comum, nas aulas de Física, os discentes mostrarem-se apáticos em uma aula ministrada de forma tradicional, na qual só o professor fala. Convém esclarecer que nem sempre uma aula tradicional é a vilã da não aprendizagem. Ela é a única alternativa encontrada pelo docente como meio de proporcionar aos estudantes uma aula. O fato de a aula ser tachada como tradicional não significa que não haverá aprendizado. Cada estudante tem sua forma de aprender. Cabe ao professor, enquanto mediador, buscar abordagens de ensino que garantam aos estudantes as mais diversas possibilidades de aprendizagem.

Na abordagem do Design Thinking, os métodos empregados são os mais diversos possíveis, para que se possa alcançar os resultados desejados. Isso não significa que não há método. Quer dizer que, para cada problema ou projeto a ser desenvolvido, deve-se conhecer com profundidade a questão a ser solucionada.

O fato de a sala de aula ser um ambiente complexo e o Design Thinking, uma abordagem que se propõe a trabalhar com situações também complexas, este se mostra mais uma possibilidade de metodologias ativas que se soma à Aprendizagem Baseada em Projetos. O objetivo é desenvolver, de forma efetiva, habilidades e competências necessárias para viver nesta sociedade em constantes transformações. Visando integrar a realidade dos estudantes com os conteúdos da Física optamos em desenvolver uma metodologia ativa, a aprendizagem baseada em projetos (ABP).

## 2.4 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS

A Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) é uma abordagem de ensino que procura envolver os estudantes por meio dos conteúdos escolares vinculados ao mundo real. O intuito, conforme pontuado, é desenvolver habilidades e competências para viver e integrar uma sociedade em constantes mudanças.

A aprendizagem de forma colaborativa é uma prática estimulada na ABP. De acordo com Moran (2015), a Aprendizagem Baseada em Projetos possui uma abordagem de ensino que adota o princípio da aprendizagem que envolve os estudantes em um trabalho colaborativo, a fim de resolverem uma demanda dentro

da realidade de uma comunidade. A ABP tem como um de seus objetivos a elaboração de um produto, seja ele concreto ou não. Segundo Bender (2014, p. 9):

A aprendizagem baseada em projetos é um modelo de ensino que consiste em permitir que os alunos confrontem as questões e os problemas do mundo real que consideram significativos, determinando como abordá-los e, então, agindo de forma cooperativa em busca de soluções.

A ABP é, portanto, uma metodologia ativa a qual se dedica a uma aprendizagem centrada no estudante, estimulando um trabalho de cunho investigativo e priorizando o pensamento crítico na resolução de problemas reais, quer sejam eles de âmbito local ou não.

“A ABP é um formato de ensino empolgante e inovador, no qual os estudantes selecionam muitos aspectos de sua tarefa e são motivados por problemas do mundo real que podem, e em muitos casos irão, contribuir para a sua comunidade. [...] pode ser definida pela utilização de projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos estudantes [...]” (BENDER, 2014, p. 15).

O Buck Institute for Education (BIE), é um instituto com sede nos Estados Unidos que desenvolve pesquisa na área da educação e formação de professores desenvolvendo materiais com objetivo de tornar a escola e a sala de aula mais eficiente com o uso da Aprendizagem Baseada em Projetos. Esse instituto salienta que não há uma definição aceita de ABP. No entanto ela é caracterizada pelo BIE em termos de padrões como

“um método sistemático de ensino que envolve os alunos na aquisição de conhecimentos e de habilidades por meio de um extenso processo de investigação estruturada em torno de questões complexas e autênticas e de produtos e tarefas cuidadosamente planejadas. Essa definição abrange um espectro que varia desde projetos breves de uma ou duas semanas, baseados em um único assunto em uma sala de aula, até projetos interdisciplinares durante todo o ano letivo e que envolvem a participação da comunidade e de adultos fora da escola” (Buck Institute for Education, 2008, p.18).

De acordo com Bender (2014) devemos distinguir a aprendizagem baseada em projetos de outros projetos de ensino, que embora sejam eficazes e facilitam a aprendizagem de conteúdos, não podem ser considerados exemplos de ABP. Para delimitar o que é ABP, Bender (2014) mostra em um quadro as características essenciais do que a configuram, as quais são apresentadas a seguir no Quadro 1.

Quadro 1 – Características da Aprendizagem Baseada em Projetos

<p><b>Âncora.</b> Introdução e informações básicas para preparar o terreno e gerar o interesse dos alunos.</p> <p><b>Trabalho em equipe cooperativo.</b> É crucial para as experiências de ABP, enfatizado por todos os seus proponentes como forma de tornar as experiências de aprendizagem mais autênticas.</p> <p><b>Questão motriz.</b> Deve chamar a atenção dos alunos, bem como focar seus esforços.</p> <p><b>Feedback e revisão.</b> A assistência estruturada deve ser proporcionada, de modo rotineiro, pelo professor ou no interior do processo de ensino cooperativo. O feedback pode ser baseado nas avaliações do docente ou dos colegas.</p> <p><b>Investigação e inovação.</b> Dentro da questão motriz abrangente, o grupo precisará gerar questões adicionais focadas nas tarefas do projeto.</p> <p><b>Oportunidade de reflexão.</b> Criar oportunidade para a reflexão dos alunos dentro de vários projetos é aspecto enfatizado por todos os proponentes da ABP.</p> <p><b>Processo de Investigação.</b> Pode-se usar diretrizes para a conclusão do projeto e a geração de artefatos para estruturá-lo. O grupo também pode desenvolver linhas de tempo e metas específicas para a conclusão de aspectos do projeto.</p> <p><b>Resultados apresentados publicamente.</b> Os projetos da ABP pretendem ser exemplos autênticos dos tipos de problemas que os alunos enfrentam no mundo real, de modo que alguma apresentação pública dos resultados do projeto é fundamental dentro da ABP.</p> <p><b>Voz e escolha do aluno.</b> Os alunos devem ter voz em relação a alguns aspectos sobre como o projeto pode ser realizado, além de serem encorajados a fazerem escolhas ao longo de sua execução.</p>
--

Fonte: Bender (2014, p. 32).

Esses aspectos não devem ser vistos como passos a serem seguidos no processo de ensino ou na elaboração de projetos, mas como propriedades ou traços que devem ser encontrados na maioria dos projetos da ABP (BENDER, 2014). Embora haja diversas maneiras de abordar a ABP em sala de aula, vale ressaltar o seu enquadramento no contexto do currículo escolar. Os conteúdos curriculares devem ser contemplados com a implementação da proposta de um ensino, considerando as características da ABP.

[...] a âncora e as questões motrizes usadas para estruturar projetos de ABP envolvem, tipicamente, cenários do mundo real, e essa ênfase tende a tornar o ensino mais relevante para as vidas dos alunos. Esse fator associado ao poder de escolha dos alunos em várias atividades tende a aumentar a motivação e, muitas vezes, resulta em um maior envolvimento acadêmico (BENDER, 2014, p. 33).

É nessa perspectiva que os estudantes se sentiram motivados e desafiados para o processo de aprendizagem ativa. O fato de o conteúdo escolar fazer sentido para eles na resolução de um problema que seja parte do mundo real aumenta a motivação e o engajamento. Essas características evidenciam a diferença entre tarefas cotidianas realizadas pelo professor em sala de aula e o que, de fato, é uma abordagem de ensino fundamentado na ABP.

### 3 EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE

A arte de construir é uma marca do ser humano desde os primórdios. A busca pelo desenvolvimento de materiais que resistam ao tempo e aos impactos remonta às civilizações antigas da humanidade. A construção das pirâmides é uma demonstração de que os egípcios dominavam conhecimentos sobre o equilíbrio e a resistência mecânica dos materiais. Na Antiguidade, os gregos também deram suas contribuições para o entendimento do equilíbrio dos corpos.

O grego Arquimedes de Siracusa, que viveu entre 287 e 212 a.C., elaborou um sistema para verificar o centro de gravidade dos corpos por meio de uma alavanca, demonstrando as condições de equilíbrio dos corpos. A teoria de Arquimedes serviu de base para o desenvolvimento de dispositivos denominados guinchos e guindastes, mecanismos que utilizam o princípio de funcionamento de alavanca presentes em qualquer empreendimento da construção civil.

O estudo de resistência dos materiais visa analisar o dimensionamento das peças que serão utilizadas em uma estrutura. Com objetivo de verificar se uma peça está em equilíbrio, verifica-se as intensidades das forças que atuam em uma peça. Caso o equilíbrio não seja satisfeito, é indício de que a soma vetorial de todas as forças é diferente de zero.

Para que as condições de equilíbrio sejam satisfeitas, é necessário conhecer o limite da resistência mecânica do material. Esse limite é conhecido por meio de ensaios mecânicos aos quais peças ou materiais são submetidos. Nesses ensaios, é possível analisar, dentro de uma margem de segurança, o comportamento do material ao ser submetido à intensidade de forças. No ramo da Engenharia Civil, essas forças que atuam nos corpos de forma geral, são conhecidas como “esforços”.

Com os dados obtidos por meio da força aplicada por unidade de área versus o deslocamento sofrido pelo material, é possível plotar um gráfico tensão versus deformação. Ao se analisar esse gráfico, identifica-se o limite entre o regime elástico e o regime plástico do material. Na prática, a análise dos limites elástico e plástico dos materiais ratifica a segurança de qualquer estrutura. O fato de não conhecê-los pode induzir a erros, os quais podem colocar a vida das pessoas em risco. Esse conhecimento faz toda a diferença na área de Gerenciamento de Projetos. A compreensão do tipo de material a ser utilizado em um projeto minimiza o tempo de

entrega, reduz os custos e diminui os riscos que impactem de modo negativo uma estrutura.

As edificações construídas pelo ser humano têm ganhado os noticiários. São prédios caindo, pontes que não conseguem se manter de acordo com os fins para os quais foram projetadas, passarelas desmoronando em razão de projetos que não levaram em conta a força da água que poderia ser aplicada de baixo para cima e barragens que se romperam e mataram centenas de pessoas.

Diante desses fatos, surgem as seguintes perguntas: será que os projetos realizados levaram em conta a física aplicada? Será que as pessoas que frequentam esses ambientes que foram palco de tragédias não observaram algo de estranho acontecendo nessas estruturas? Não que eles sejam obrigados a verificá-las. O que se defende neste estudo é que, quando se tem conhecimento, ele pode fazer a diferença na avaliação de uma estrutura.

A Estática é o ramo da Física que investiga as condições de equilíbrio dos corpos de acordo com uma comunidade científica. Ela é o estudo do comportamento físico dos materiais sob a ação de forças, e a subsequente modelagem desse comportamento é chamado de resistência dos materiais.

A resistência dos materiais, consoante Hibbeler (2011), é o ramo da Mecânica que estuda as relações entre as cargas externas (forças externas) aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas que agem no interior do corpo. Esse corpo deformável, na realidade, é um corpo rígido o qual é formado por um sistema de partículas em que todas as distâncias entre elas são constantes. Ademais, em virtude das forças externas às quais um material é submetido, são realizados cálculos com o objetivo de verificar as deformações dos corpos bem como a sua estabilidade (HIBBELER, 2010).

O projeto de construção de uma estrutura recorre aos princípios da Estática para determinar a intensidade das forças que são aplicadas sobre os vários elementos que a compõem. Por sua vez, as forças internas que mantêm os átomos em distâncias simétricas uns em relação aos outros são de “forças de vínculo”. Pode-se afirmar que essas forças obedecem à terceira lei de Newton (SYMON, 1996). Na realidade, nenhum corpo é perfeitamente rígido. O que ocorre é apenas uma idealização que se aproxima do real.

Vale salientar que, em uma estrutura, outros fatores como o tamanho dos elementos, a flexão e a estabilidade dependem do tipo de material de que são

constituídos. Entender o comportamento de uma estrutura sólida ao ser submetida a forças externas em vários pontos é crucial para a aplicação precisa das equações de equilíbrio de corpos rígidos.

### 3.1 UM POUCO DE HISTÓRIA

A origem da resistência dos materiais remonta ao início do século XVII, quando Galileu realizou experimentos para estudar os efeitos da força aplicada sobre hastes e vigas feitas de diferentes materiais. Entretanto, para a compreensão adequada desses efeitos, foi necessário realizar descrições experimentais precisas das propriedades mecânicas dos materiais.

Os métodos utilizados passaram por uma melhoria no início do século XVIII. À época, desenvolveram-se estudos experimentais e teóricos acerca do assunto, sobretudo na França, por cientistas como Saint-Venant, Poisson, Lamé e Navier. Como esses estudos se baseavam em aplicações da mecânica de corpos materiais, foram denominados “mecânica dos materiais” ou, como são chamados atualmente, “resistência dos materiais”.

Com o passar dos anos, depois de os problemas fundamentais da mecânica dos materiais terem sido resolvidos, tornou-se necessário usar técnicas avançadas da Matemática e da Computação para resolver assuntos mais complexos. Como resultado, esses assuntos expandiram-se para outras áreas da mecânica avançada, como a Teoria da Elasticidade e a Teoria da Plasticidade.

A pesquisa nessas áreas é contínua, não apenas para entender a necessidade de resolver problemas avançados de Engenharia, mas também para justificar a maior utilização e as limitações a que está sujeita a teoria fundamental da mecânica dos materiais.

### 3.2 EQUILÍBRIO DE UM CORPO DEFORMÁVEL

As leis e os princípios sobre os quais está fundamentada a Estática atuam na compreensão de conceitos que, por sua vez, ancoram-se na resistência dos materiais. Diante desse papel que a matéria desempenha, apresentar-se-ão nos próximos tópicos os fundamentos da Estática.

### 3.3 FORÇA DE SUPERFÍCIE

A força de superfície constitui a força que um corpo exerce sobre o outro pelo contato direto. Toda força de contato é distribuída pela área de contato. Não se deve esquecer, porém, que força é uma grandeza vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido. A orientação em que a força é exercida deve ser, portanto, considerada. Se a área sobre a qual a força é aplicada for muito pequena, é preciso fazer aproximações, idealizando-se que toda a força é aplicada em um ponto. Se essa força é exercida ao longo de uma área estreita, é possível idealizá-la com uma distribuição linear da força. Nesse caso, haverá força por unidade de comprimento.

### 3.4 FORÇA DE CORPO

Na Engenharia, trabalha-se com o conceito de força de corpo. Para os físicos, é conhecida como força de campo ou força de ação a distância. Um corpo exerce força no outro sem a necessidade de haver contato físico. Um exemplo, de acordo com a física newtoniana, é a força que a Terra exerce sobre os corpos em sua superfície ou a força que um ímã exerce sobre outro ímã ou materiais ferromagnéticos. Embora a força de campo seja aplicada em cada átomo que compõe o corpo, para fins didáticos, ela será representada por uma única força sendo exercida no centro de massa desse corpo. Tal força que a Terra exerce no centro de massa do corpo é denominada “peso do corpo”, que também é uma grandeza vetorial.

### 3.5 REAÇÕES DE APOIO

A terceira lei de Newton afirma que um corpo A exerce uma força em um corpo B, e esse corpo B exerce uma força no corpo A de igual intensidade, mesma direção e sentidos opostos. Porém nunca se equilibram, porque são aplicadas em corpos diferentes. As forças de contato ou de superfície que atuam nos apoios ou pontos de contato por causa da ação de uma força são denominadas “reações de apoio”.

Utiliza-se o diagrama do corpo livre para identificar as reações de apoio, sejam em sistemas bidimensionais, sejam tridimensionais. Na maioria das vezes, as

reações de apoio são aplicadas no sentido de impedir translação ou rotação de um corpo.

### 3.6 EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO

Para um corpo estar em equilíbrio, dois equilíbrios devem ser satisfeitos: o equilíbrio de forças e o equilíbrio de torques. De acordo com HALLIDAY (2016) o equilíbrio está fundamentado na segunda lei de Newton, que diz que a soma vetorial de todas as forças que agem sobre um corpo é igual ao produto da massa pela aceleração vetorial desse corpo. Para o equilíbrio de forças, a aceleração vetorial desse corpo é nula. Então a soma vetorial de todas as forças que agem sobre um determinado corpo é igual a zero.

A segunda lei de Newton é expressa pela equação:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

Tal equação, para um sistema em três dimensões, é representada por três equação ao longo das direções x, y e z.

$$\Sigma F_x = ma_x$$

$$\Sigma F_y = ma_y$$

$$\Sigma F_z = ma_z$$

As acelerações ao longo das direções x, y e z são nulas. Sendo assim, conclui-se que a soma vetorial das forças que são exercidas no centro de massa de um corpo rígido é nula, conforme se apresenta na equação abaixo.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

Qualquer engenheiro projetista, ao elaborar um projeto, deve fazer uma análise para identificar onde todas as forças e todos os torques externos são exercidos em uma estrutura. Se não o fizer, colocará a estrutura em risco. Ademais, deve-se considerar as qualidades dos materiais que serão utilizados para que a estrutura permaneça estável.

A condição de equilíbrio de forças – em que a soma vetorial de todas as forças é nula – está associada ao movimento de translação de um corpo e pode ser escrita em termos da variação do momento linear em relação ao tempo. Dizer que a

soma vetorial de todas as forças é igual a zero equivale a afirmar que a variação do momento linear em relação ao tempo é constante. Nesse sentido, a expressão da segunda lei de Newton para o movimento de translação é descrita pela taxa de variação temporal do momento linear.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

O momento linear é, pois, escrito pela expressão:

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

Por meio dessa equação, nota-se que se a aceleração vetorial é nula, portanto, a velocidade não pode variar. Se um corpo está em equilíbrio de translação, o momento linear é constante:

$$\vec{P} = \vec{0}$$

Caso se derive uma constante em relação ao tempo, a taxa do momento linear é nula.

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{0}$$

A segunda condição de equilíbrio que deve ser satisfeita é o equilíbrio de torques. Torque, originado do termo “torção”, ou ato de torcer, é uma grandeza vetorial. Para calcular o torque em razão da força  $\vec{F}$ , é necessário conhecer, além do vetor  $\vec{F}$  (módulo e direção), o ponto P do corpo em que a força age. Posto isso, é conveniente considerar a força como exercida em qualquer ponto da linha de ação. Define-se torque como sendo o produto vetorial entre o braço de alavanca (vetor  $\vec{r}$ ) e a força. A equação vetorial para o torque é expressa por:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Ademais, o módulo do torque é expresso pela equação a seguir, em que o ângulo  $\theta$  é o menor ângulo entre o vetor  $\vec{r}$  e o vetor força  $\vec{F}$ .

$$\tau = rF\text{sen}\theta$$

O equilíbrio de rotação de um corpo está associado à segunda lei de Newton para as rotações. O torque é igual à taxa do momento angular, ou seja, a

derivada do momento angular em relação ao tempo é igual ao torque. Já o momento angular é igual ao produto vetorial do raio vetor  $\vec{r}$  pelo momento linear  $\vec{P}$ .

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$$

O módulo do momento angular é expresso pela seguinte equação:

$$L = rmv\text{sen}\theta$$

Nesse caso, o ângulo  $\theta$  é o menor ângulo entre os vetores  $\vec{r}$  e  $\vec{P}$ .

O torque também é igual à taxa da variação temporal do momento angular. Se a soma de todos os torques é igual a zero, logo a taxa do momento angular é nula, conforme descrito nas equações que seguem:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0}$$

$$\Sigma \vec{\tau} = \vec{0}$$

Embora essa condição de equilíbrio seja abstrata, ela é essencial para a construção de qualquer estrutura presente no cotidiano. Quando essa condição não é satisfeita, o torque que age no corpo em virtude de forças tende a provocar rotações. As estruturas de maneira geral, a exemplo de uma casa, um prédio, uma passarela ou uma ponte, não podem sofrer movimento de translação nem de rotação. Para garantir que isso não ocorra, uma análise cuidadosa das condições de equilíbrio é necessária. Essas condições de equilíbrio devem ser satisfeitas com todo rigor. Caso contrário, a estrutura correrá o risco de ser danificada por forças atuantes.

### 3.7 TENSÃO E DEFORMAÇÃO

As forças internas que são exercidas em qualquer superfície dentro dos sólidos são denominadas “tensões”. A tensão constitui uma força por unidade de área que é exercida por uma superfície qualquer dentro do material. E se a força empurrar o material de tal forma que seu volume diminua, essa tensão é chamada de “compressão”. Por outro lado, se a força exercida através da superfície for paralela à secção transversal, recebe o nome de tensão de cisalhamento.

Quando um pequeno volume  $\Delta V$  em um corpo está sob tensão, o material dentro do volume fica sob a ação de forças de tensão exercidas através da superfície pelo material que o envolve. Se o material é deformado em razão das tensões, de tal maneira que o volume  $\Delta V$  adquira forma e tamanho diferentes, esse fenômeno recebe o nome de deformação.

A natureza e a extensão da deformação dependem da natureza e do valor das tensões e da composição do material (SYMON, 1996). A deformação está associada a uma mudança da forma do corpo que ocasiona variação de volume. A tração, por sua vez, é uma espécie de deformação relativa ao aumento de dimensões do material, a qual constitui o corpo. Por fim, a deformação é definida como sendo o acréscimo percentual do comprimento do material do corpo em evidência.

Se um corpo de comprimento  $l$  sofrer a ação de uma força  $\vec{F}$  perpendicular à área transversal  $A$ , de tal maneira que ele seja esticado até um comprimento  $l + \Delta l$ , as definições de tensão e deformação são expressas pelas equações:

$$Tensão = \frac{F}{A}$$

$$Deformação = \frac{\Delta l}{l}$$

Quando essas relações são verificadas, de modo experimental, para deformações não muito grandes, a tensão é proporcional à deformação dos materiais sólidos. A deformação é, assim, uma razão adimensional entre a variação do comprimento pelo comprimento. A deformação de um corpo rígido, denominado “corpo de prova”, pode ser medida por meio de um instrumento chamado extensômetro. O extensômetro é colocado no corpo de prova, e esse, ao sofrer deformação por causa das forças externas, tem suas propriedades elétricas alteradas.

A relação de proporcionalidade entre tensão e deformação configura a Lei de Hooke, válida para pequenas deformações. A razão entre a tensão e a deformação é constante para qualquer material, desde que a tensão não seja muito grande.

Para um aumento de apenas uma dimensão em virtude da tensão, a razão entre a tensão e a deformação é chamada de “módulo de Young”, sendo expressa por:

$$Y = \frac{\textit{tensão}}{\textit{deformação}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{Fl}{A\Delta l}$$

$$Y = \frac{Fl}{A\Delta l}$$

Em suma, ao se analisarem os módulos de Young de um material a ser submetido, a princípio, ao ensaio de tração e, depois, ao ensaio de compressão, mesmo que eles sejam quase iguais, o comportamento em relação ao limite de ruptura pode ser diferente. Um exemplo é o concreto. Ele resiste a imensas tensões de compressão, mas não suporta a tensão de tração. Esse é o motivo pelo qual engenheiros são rigorosos em colocarem concreto em locais que sofrerão tensões de compressão. Nos locais onde ocorre a tensão de tração, usam-se barras ou colunas em aço, que resistem a esse tipo de tensão.

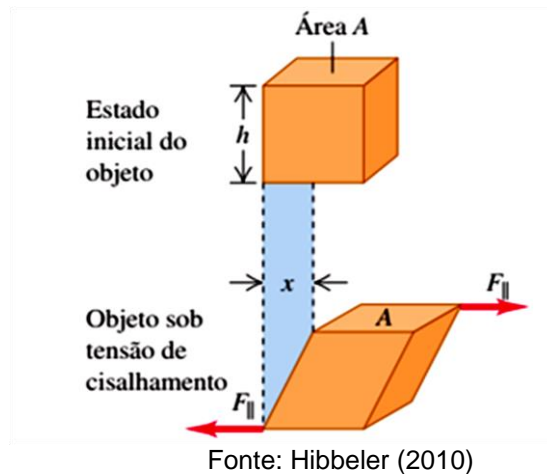
### 3.8 Cisalhamento

No caso de tensão de cisalhamento, a tensão é definida pela equação

$$\textit{Tensão} = \frac{F}{A}$$

Nessa perspectiva, a intensidade da força  $\vec{F}$  é a força exercida através de e paralela à área  $A$ . Em outras palavras, o vetor força  $\vec{F}$  encontra-se no mesmo plano da área  $A$ , e não na direção perpendicular ao plano da área. A tensão de cisalhamento resultante consiste no movimento da área  $A$  paralelo a outra área  $A$  por uma distância  $\Delta l$ , relativa ao plano paralelo da área  $A$  e situado a uma distância  $\Delta x$  de  $A$ , conforme se percebe na Figura 1.

Figura 1 – Tensão de Cisalhamento



Nesse tipo de situação se as forças aplicadas em sentidos opostos e intensidades, tal qual cause ruptura do material, proporciona um corte no local. A força que gera o corte é uma componente tangencial da força que age sobre a superfície.

Nesse caso, podemos determinar o módulo de elasticidade correspondente  $G$  que é designado módulo de cisalhamento e expresso pela equação

$$\frac{F}{A} = G \frac{\Delta x}{L}$$

Como exemplo, podemos verificar tensões de cisalhamento, quando alguém sofre uma fratura e nas oficinas mecânicas, onde peças tais como eixos, barras axiais e parafusos empenadas são submetidas a forças para que sejam desempenados.

### 3.9 TENSÃO HIDROSTÁTICA

Se uma substância for submetida a uma força, ocorrerá, de modo proporcional, um acréscimo de pressão  $\Delta p$ . Assim, a deformação resultante será uma variação de volume, a qual se define por

$$Deformação = \frac{\Delta V}{V}$$

Nesse caso, nomeia-se a razão entre a tensão e a deformação de módulo volumétrico  $B$ , e ela é expressa pela equação

$$B = \frac{tensão}{deformação} = - \frac{\Delta p V}{\Delta V}$$

Na equação, o sinal negativo visa tornar a constante  $B$  positiva, uma vez que, na compressão, a variação de volume é negativa e, na expansão, a variação de pressão é negativa.

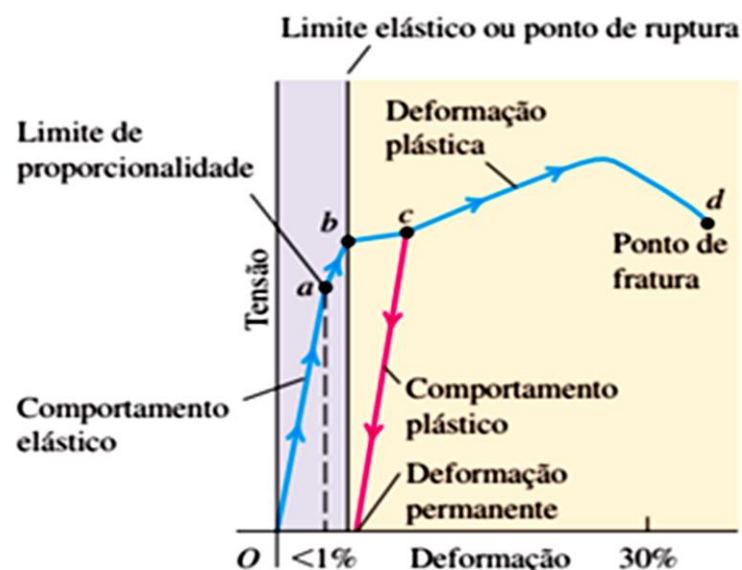
### 3.10 ELASTICIDADE E PLASTICIDADE – COMPORTAMENTO ELÁSTICO

A lei de Hooke estabelece uma proporcionalidade entre a tensão e a deformação. No entanto sua validade é restrita dentro de um certo limite.

Quando se analisa um gráfico tensão versus deformação com amparo na lei de Hooke, observa-se que ele obedece a uma função de primeiro grau, isto é, o gráfico é uma reta com uma certa inclinação. Nesse sentido, a tangente do ângulo dessa inclinação é igual ao módulo de Young. A deformação, em contrapartida, corresponde à porcentagem de aumento do comprimento do corpo de prova.

Para entender melhor esse limite de validade, considere-se o gráfico tensão em função da deformação da figura 2 construído acerca de um metal como o cobre ou o ferro doce. O esquema foi dividido em trechos de “O” a “d”. O trecho de “O” a “a” corresponde ao regime elástico para o qual a lei de Hooke é válida. Nesse cenário, a tensão no ponto é denominada “limite de proporcionalidade”. No trecho de “a” a “b”, não há um regime de proporcionalidade, portanto a lei de Hooke não é obedecida.

Figura -2 - Diagrama típico de tensão versus deformação para um metal dúctil submetido à tensão



Fonte: Diagrama típico de tensão versus deformação para um metal dúctil submetido à tensão HIBBELER (2010)

Se a força à qual o material está submetido for retirada, ele volta ao seu estado inicial. Isso porque se a curva for traçada de “b” a “O” corresponde à mesma curva que foi traçada de “O” a “b”. Desse modo, a deformação do material é reversível.

Estabelecendo-se um paralelo com o princípio da conservação da energia, diz-se que as forças aplicadas são conservativas. A energia que é utilizada para promover a deformação é recuperada quando a força exercida é retirada. O limite elástico corresponde ao ponto “b”. A partir desse ponto, uma vez aumentada a intensidade da força aplicada, o corpo de prova não retorna ao comprimento inicial. Nesse sentido, o corpo de prova sofreu – a partir desse ponto – uma deformação irreversível.

Caso se amplie a intensidade da força a partir do ponto “c”, produz-se um aumento da deformação para um acréscimo relativamente pequeno da tensão. Essa fase é conhecida como escoamento até atingir o ponto “d”, que se refere à fratura do corpo de prova. Já o intervalo entre “b” e “d” corresponde ao comportamento plástico do material ou à deformação plástica. Esse processo é irreversível. Sendo assim, o material em hipótese alguma retorna a seu estado inicial.

### 3.11 ESCOAMENTO

O conceito de escoamento está associado à fase em que o material, ao sofrer um aumento de tensão acima do limite de elasticidade, entra em colapso, não retornando mais ao seu comprimento original, ocorrendo, assim, uma deformação permanente. Esse comportamento foi demonstrado no gráfico da figura 2 pela região que vai do ponto “c” ao ponto “d”. A tensão, nesse caso, é denominada “tensão de escoamento”, e a deformação, “deformação plástica”. Após atingir o ponto em que começa o escoamento, não é preciso aumentar a tensão. O aumento de comprimento continuará até que atinja um limite máximo.

Quando o escoamento termina, nota-se no corpo de prova uma diminuição da área transversal. Essa fase corresponde ao endurecimento por deformação. No limite da resistência, à medida que o corpo se alonga, há uma região específica que continuará a diminuir sua área transversal com aplicação da tensão. Essa fase é conhecida como “estricção”. Depois dessa etapa, o corpo de prova atinge a tensão de ruptura, e acontece a falha ou a quebra do corpo.

### 3.12 MATERIAIS DÚCTEIS

Os materiais os quais apresentam deformação entre o limite de elasticidade e o ponto de ruptura são chamados de materiais dúcteis. Esses materiais são submetidos a grandes deformações antes de sofrerem a ruptura. Tais materiais são utilizados em grandes projetos, por sua capacidade de absorverem impactos ou energia antes de sofrerem a ruptura.

Em determinados materiais, como a borracha, a tensão não é proporcional à deformação. Contudo se trata de um material elástico. Ela é um polímero que exhibe um comportamento não linear. Ao ser submetida a tensões, o seu comprimento pode aumentar um certo comprimento relativo ao seu tamanho inicial e, ainda assim, ela permanece com um comportamento elástico. Por outro lado, há materiais que retornam ao seu estado inicial, porém com uma curva diferente. Esse fato é denominado “histerese elástica”. O trabalho realizado para esticar o material é maior do que aquele para retornar ao estado inicial. Isso se deve a forças não conservativas relacionadas ao atrito no interior do material.

Por outro lado, a madeira é um tipo de material que se destaca por seus atributos considerados moderadamente dúcteis. A resistência da madeira varia de espécie para espécie e depende de fatores como: grã (orientação das fibras), idade, tamanho, onde é cortada e teor de umidade à qual é submetida. A madeira é um material fibroso, o que influencia suas características de tração e compressão. Isso se deve ao fato de a orientação das fibras da madeira interferir no tipo de forças – paralelas ou perpendiculares – que serão exercidas.

### 3.13 MATERIAIS FRÁGEIS

Materiais que quebram logo após o término do regime elástico recebem o nome de “materiais frágeis ou quebradiços”. O escoamento que exibem ao serem tensionados é pequeno. Nesse sentido, a tensão de ruptura nesses materiais não é bem definida. Fala-se, então, em tensão de ruptura média (Hibbeler, 2010).

Por meio de ensaio de materiais, verifica-se que esse tipo de elemento apresenta uma resistência alta quando submetido à compressão, algo que não acontece em um ensaio de tração. A mistura – água, areia, brita e cimento –,

conhecida como concreto, é um exemplo clássico de um material frágil. O concreto é reforçado com hastes de aço para suportar forças de tração.

### 3.14 TRELIÇAS

A maioria dos corpos estudados trata-se de um único corpo rígido, e a força que atua nesse corpo é a força peso ou de contato. Em geral, ambas atuam no centro de massa ou centro de gravidade desse corpo. Desde o ensino básico, estudam-se blocos individuais ou interligados por meio de fios sem massa, movendo-se em um plano horizontal ou inclinado. Há no cotidiano, do mesmo modo, um tipo de estrutura utilizada com frequência no ramo das engenharias e que depende de conceitos da Física: a treliça.

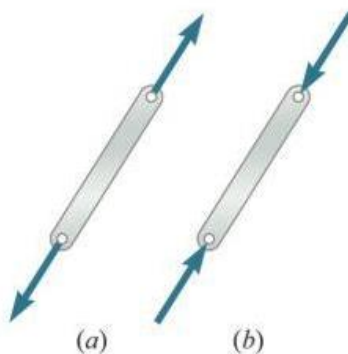
A treliça é um dos principais tipos de estruturas da Engenharia que oferece, ao mesmo tempo, uma solução prática e econômica a muitas situações da área, sobretudo no projeto de pontes e edifícios (BEER *et al.*, 2013). As treliças são projetadas para suportar a ação de forças externas por meio de elementos retilíneos e conectados apenas em suas extremidades, em juntas conhecidas como nó. Ademais, elas são projetadas para aguentarem as forças que agem ao longo de um plano. Por esse motivo, são tratadas como estruturas bidimensionais. Essas treliças são denominadas “treliças planas”.

Em geral, os elementos de uma treliça são esbeltos e podem suportar pequena carga lateral; todas as cargas. Portanto, devem ser aplicadas às várias juntas e não aos elementos propriamente ditos. Quando uma carga concentrada é aplicada entre dois nós ou quando uma carga distribuída é suportada pela treliça, como no caso de uma treliça de ponte, é preciso prever um sistema de pavimentação, que, por meio de longarinas e vigas transversais, transmite a carga aos nós (BEER *et al.*, 2013, p. 231).

Os elementos que compõem uma treliça estão sujeitos a duas forças. Estas atuam na mesma linha de ação, possuem o mesmo módulo e sentidos contrários. Essas forças atuam em outros elementos e estão de acordo com a terceira lei de Newton. Nela se estabelece que o par de ação e reação são forças que atuam em corpos diferentes, ou seja, que mantêm contato, possuem a mesma direção e sentidos opostos na mesma linha de ação. Cada elemento pode, então, ser tratado como um componente sob a ação de duas forças, e a treliça toda pode ser considerada um grupo de pinos e elementos com duas forças (BEER *et al.*, 2013). Posto isso, as forças

que agem nos elementos, ilustrada na Figura 3, tendem a tracionar o elemento, como mostrado em (a), ou a comprimi-lo, conforme exemplificado em (b).

Figura -3 – Forças de tração e compressão



Fonte: Beer *et al.* (2013, p. 232).

Esses elementos estão sujeitos à ação de duas forças. Além disso, para estarem em equilíbrio, as forças devem ter a mesma intensidade, serem aplicadas na mesma direção e possuírem sentidos opostos, satisfazendo, assim, o equilíbrio de forças, o qual afirma que a soma vetorial de todas as forças é igual a zero. Nessas situações, como a ilustrada na Figura 3.3, os pesos dos elementos são desprezados para facilitar a resolução de problemas.

A equação para o equilíbrio de torques, sob esse enfoque, é satisfeita uma vez que essas forças estão aplicadas nos elementos de tal maneira que não fazem os elementos rotacionarem. Isso tudo graças à linha de aplicação das forças até um dos pontos de apoio ser igual a zero. Então a soma vetorial de todos os torques em razão das forças é nula.

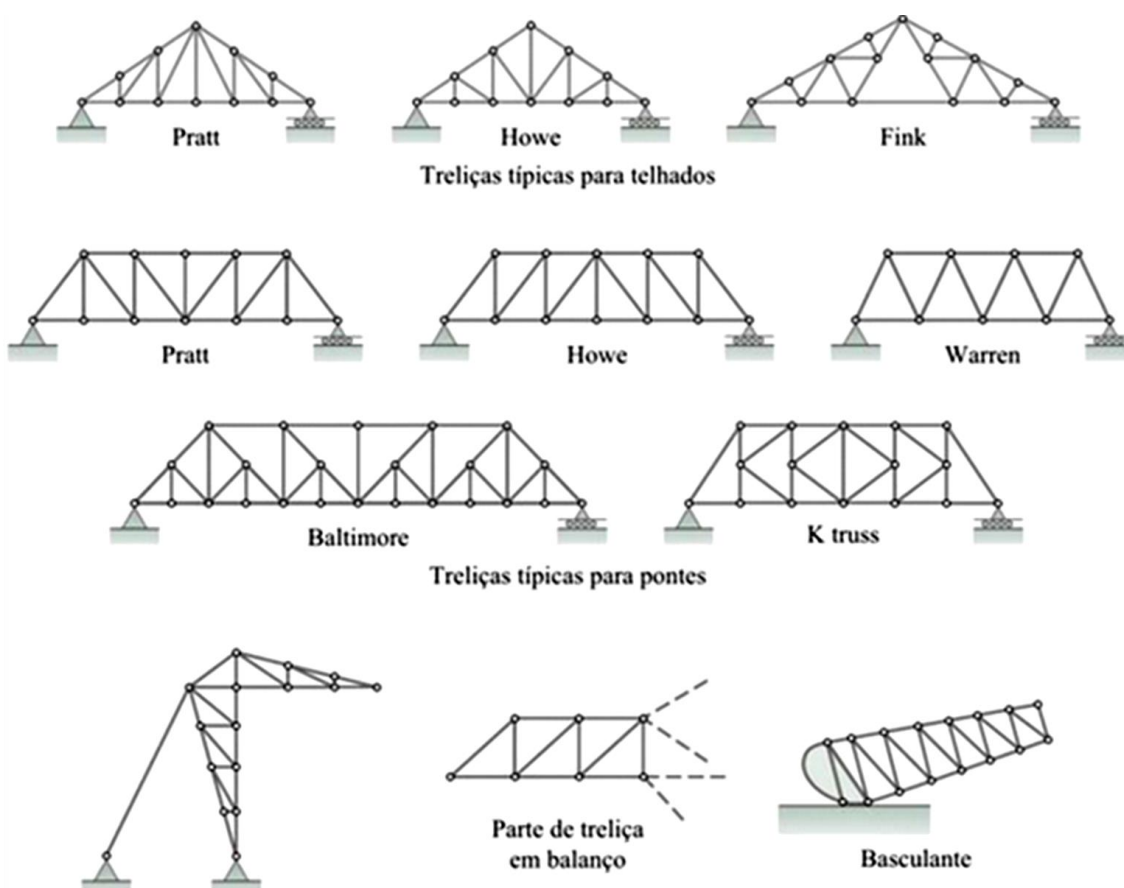
### 3.15 TRELIÇAS SIMPLES

As treliças simples são estruturas construídas por elementos de duas forças indeformáveis, conectados entre si pelos nós, os quais formam unidades triangulares dispostas em um mesmo plano. Entende-se “indeformável” por rígido, pois as deformações que acontecem são desprezíveis. Tais componentes podem sofrer ação de forças de compressão ou tração.

Convém mencionar que o termo “rígido” indica que a treliça não entrará em colapso (BEER *et al.*, 2013, p. 233). Em uma treliça, pode haver mais elementos do

que o necessário para evitar o colapso. Nesse caso, tem-se uma treliça indeterminada, a qual não pode ser analisada apenas com as equações de equilíbrio (MERIAM, 2013). Na Figura 4, é possível observar alguns tipos de treliças.

Figura -4 – Os tipos de treliças mais comuns



Fonte: Beer *et al.* (2013, p. 232).

O fato de as treliças serem formadas, em sua grande maioria, de triângulos, não significa que configuram uma treliça simples (BEER *et al.*, 2013, p. 232). Nesse sentido, destacam-se, como exemplos de treliças que não são simples, as treliças do tipo Fink e Baltimore, conforme ilustradas na Figura 4.

Na análise de treliças simples, utiliza-se com frequência o método dos nós. Nele emprega-se o diagrama do corpo livre para a treliça, em que as forças externas são aplicadas aos nós. Quando há um corpo rígido, deve-se considerar a força externa aplicada ao centro de massa ou centro de gravidade. Essa metodologia consiste em replicar as condições de equilíbrio em cada nó da treliça. Portanto, para a análise das forças atuantes na treliça, é mais simples iniciar pelo nó em que há ao menos uma força conhecida.

Para facilitar a aplicação do método dos nós é aconselhável que se comece em um nó cuja intensidade da força é conhecida e, no máximo duas forças de intensidades desconhecidas. Em seguida fazer o uso das equações de equilíbrio a seguir.

$$\sum F_X = 0$$

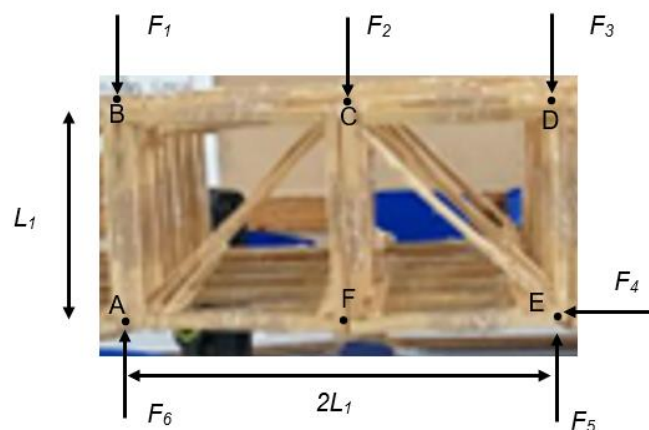
$$\sum F_Y = 0$$

$$\sum \tau = 0$$

De tal forma que produza as equações algébricas que contenha as incógnitas a serem determinadas. Por meio da aplicação dessas duas equações de forma correta, o sentido correto das forças será conhecido. A partir de uma observação cuidadosa do diagrama do corpo livre, a direção e o sentido da força podem ser determinados. Nos casos complexos, pode-se inferir uma direção e um sentido de uma incógnita. Assim que determinar a intensidade de uma força bem como a sua direção e sentido, basta utilizar esses dados para os nós subsequentes.

Seguindo uma convenção de sinais, adota-se sinal positivo para as forças que estão tracionando e sinal negativo para as forças de compressão. Para os torques adota-se, torque positivo se a força faz com que a barra gire no sentido anti-horário e torque negativo se a força faz a barra girar no sentido horário, as forças que chegam ao nó são forças de compressão e as forças opostas a estas são forças de tração.

Figura -5 Diagrama do corpo livre



Fonte: arquivo do autor

Aplicando as equações para determinar as reações de apoio, temos que:

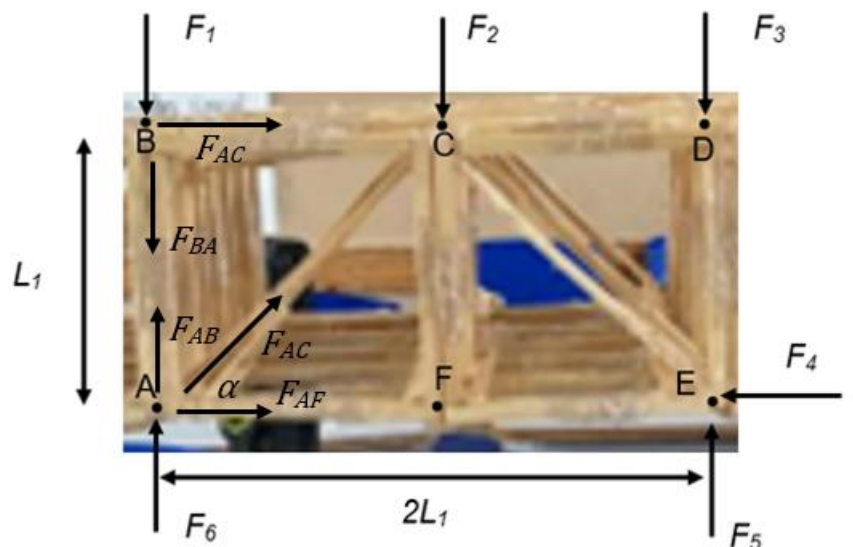
$$\begin{aligned}\sum F_X &= 0 \\ F_4 &= 0 \\ \sum F_Y &= 0 \\ + F_6 + F_5 - F_1 - F_2 - F_3 &= 0\end{aligned}$$

Tomando o nó A como referência temos que:

$$\begin{aligned}\sum \tau &= 0 \\ + 2F_5L_2 - 2L_2F_3 - L_2F_3 &= 0\end{aligned}$$

O método dos nós é aplicado para as forças que atuam nas direções vertical e horizontal. E, nesse caso, não se aplica o equilíbrio de torques. Para aplicar o método dos nós, consideramos que em um nó da barra, quando tracionada, as forças atuam no sentido de “saindo do nó” e se a força for de compressão, consideramos as forças no sentido de “entrando no nó”. A partir de diagrama do corpo livre da figura a seguir podemos escrever as equações em relação ao eixo x e em relação ao eixo y para cada nó subsequente.

Figura 6 - Diagrama do corpo livre



Fonte: arquivo do autor

Para o nó A temos as seguintes equações.

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_1 - F_{AB} = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$+F_{AC} = 0$$

Para o nó B temos as seguintes equações.

$$\sum F_y = 0$$

$$+F_6 + F_{AB} + F_{AC} \operatorname{sen}\alpha = 0$$

As equações para os nós subsequentes são descritas da mesma forma. De acordo com Beer (2013) “o fato de a treliça inteira ser um corpo rígido em equilíbrio pode ser usado para escrever três equações adicionais que envolvam as forças indicadas no diagrama de corpo livre”.

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a abordagem metodológica que fundamenta a presente pesquisa.

Em um primeiro momento, demonstram-se os aspectos teóricos que amparam a escolha pela abordagem de natureza qualitativa. Em seguida, discutem-se os atributos metodológicos do estudo de caso. Em continuidade, apresentam-se os motivos pelos quais se escolheu o estudo de caso como método de pesquisa. Por fim, anunciam-se os participantes, o local e o contexto em que o projeto de pesquisa foi desenvolvido.

### 4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

*“[...] aprender é uma aventura criadora, algo, por isso mesmo, muito mais rico do que meramente repetir a lição dada. Aprender para nós é construir, reconstruir, constatar para mudar, o que não se faz sem abertura ao risco e à aventura do espírito (FREIRE, 2006, p. 69)”.*

O desenvolvimento de práticas pedagógicas inovadoras que coloquem os estudantes como protagonistas no processo de ensino e aprendizagem é complexo. Nessa mesma linha, existe o desafio de fazer com que os estudantes se engajem e se sintam motivados para a realização das atividades, sejam elas de forma prática ou teórica. Isso porque parece que não há uma metodologia única que garanta a eficiência desse processo. Diante desse cenário que se estabelece no ambiente da sala de aula, a pesquisa se fundamenta em uma abordagem de natureza qualitativa.

A pesquisa qualitativa, consoante Bogdan e Biklen (1994), possui cinco características que norteiam a investigação, quais sejam: ela tem o ambiente natural como fonte direta dos dados e o pesquisador como instrumento-chave; a investigação qualitativa é descritiva; os pesquisadores qualitativos estão preocupados com o processo, e não apenas com os resultados e o produto; os pesquisadores qualitativos tendem a analisar seus dados de forma indutiva; e, por último, explora o significado das coisas na perspectiva dos sujeitos envolvidos no processo investigativo.

O estudioso Robert Stake (2011, p. 25) apresenta em seu livro *Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam* um quadro com as características

especiais de uma investigação de natureza qualitativa, as quais estão expostas no Quadro 2.

Quadro 2 – Características especiais do estudo qualitativo

1. **O estudo qualitativo é interpretativo.** Fixa-se nos significados das relações humanas, considerando diferentes pontos de vista. Os pesquisadores se sentem confortáveis com significados múltiplos e respeitam a intuição. Os observadores em campo, por sua vez, mantêm-se receptivos para identificar desenvolvimentos inesperados. Esse tipo de estudo reconhece que as descobertas e os relatórios são frutos de interações entre o pesquisador e os sujeitos.
2. **O estudo qualitativo é experiencial.** É empírico e está direcionado ao campo. Do mesmo modo, enfoca as observações feitas pelos participantes e leva mais em consideração o que eles veem do que o que sentem. Esforça-se para ser naturalístico, para não interferir nem manipular para obter dados. Sua descrição, nesse sentido, oferece ao leitor do relatório uma experiência indireta (vicária). Por fim, está em sintonia com a visão de que a realidade é uma obra humana.
3. **O estudo qualitativo é situacional.** É direcionado aos objetos e às atividades em contextos únicos e defende que cada local e momento possuem características específicas que se opõem à generalização. É mais holístico do que elementarista, não analítico de forma redutiva. Seu planejamento raramente destaca comparações diretas, e seus contextos são descritos em detalhes.
4. **O estudo qualitativo é personalístico.** É empático e trabalha para compreender as percepções individuais. Busca mais a singularidade do que a semelhança e honra a diversidade. Procura o ponto de vista de pessoas, estruturas de referência, compromissos de valor. Nele, os problemas retratados geralmente são emic (surgem das pessoas), e não etic (levantados pelos pesquisadores). Mesmo nas interpretações, prefere-se o uso da linguagem natural, em vez de construções mais elaboradas. No que tange aos pesquisadores, estes são éticos, evitando intromissões e riscos aos sujeitos, e constituem o principal instrumento de pesquisa.
5. **Quando o estudo qualitativo é bem conduzido, também é provável que seja:**
  - bem triangulado**, com evidências, assertivas e interpretações redundantes. Antes de elaborar o relatório, os pesquisadores tentam, de maneira proposital, desmentir suas próprias interpretações. Os relatórios, nessa perspectiva, fornecem informações para que os leitores também possam fazer suas inferências. Ademais, auxiliam os leitores a identificarem a subjetividade e os pontos de vista dos pesquisadores.
  - bem informado** sobre as principais teorias e compreensões profissionais relacionadas à investigação. Os pesquisadores, assim, são metodologicamente competentes e instruídos em relevantes disciplinas. Já os relatórios referem-se à literatura, contudo não tentam ensiná-la.
6. **Os pesquisadores qualitativos têm opções estratégicas, tendendo mais para uma ou outra, ...**
7. com a finalidade de gerar conhecimento ou auxiliar no desenvolvimento da prática e da política;

8. com a finalidade de representar casos comuns ou maximizar a compreensão de casos únicos;
9. com a finalidade de defender um ponto de vista seu ou de outrem;
10. com a finalidade de destacar a visão mais lógica ou mostrar múltiplas realidades;
11. com a finalidade de trabalhar com a generalização ou com a particularização;
12. com a finalidade de interromper o trabalho depois de suas descobertas ou continuar a promover melhorias.

Fonte: Robert Stake (2011, p. 25)

Com o objetivo de descrever, analisar e interpretar os fenômenos que ocorreram durante o desenvolvimento da pesquisa, bem como procurar indícios de uma aprendizagem significativa crítica, é pertinente adotar como método de pesquisa o estudo de caso. Para Robert Yin (2010, p. 39), o estudo de caso é uma investigação empírica que examina um fenômeno contemporâneo em profundidade e em seu contexto de vida real, em especial quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são evidentes. Na concepção de Stake (1983, p. 25) esse método de pesquisa possibilita a compreensão de problemas educacionais de maneira prática.

(...) acredito que a maioria das pesquisas educacionais deva estar a serviço da educação, claramente, proporcione melhor compreensão de seus problemas práticos. É admissível que algumas pesquisas sejam abstratas, sobretudo com vistas à formação de pesquisadores (...). Um argumento a favor de estudos de caso, segundo a abordagem naturalista, é que muitos educadores os consideram significativos e, algumas vezes, úteis.

Os fenômenos educacionais que ocorrem dentro da sala de aula são carregados de subjetividades que vão além desse ambiente. Para descrever tais fenômenos de maneira mais natural e efetiva, o estudo de caso possui elementos que possibilitam ao pesquisador descrever, analisar e interpretar dentro de um contexto específico. Posto isso, Ludke (1983, apud André, 2005, p. 15) argumenta que esse método descreve com naturalidade o fenômeno a ser pesquisado.

O método surge oportunamente, procurando responder à exigência de melhores e mais efetivas contribuições da pesquisa para a realidade da prática educacional. O estudo de caso procura retratar naturalmente a realidade do fenômeno educacional em sua inteireza, sem depender muito de artifícios analíticos utilizados por outros métodos mais tradicionais da investigação científica.

No estudo de caso, o processo de coleta de dados em uma investigação, seja ela qualitativa ou quantitativa, é central. Para Stake (2011), a coleta deve contar

com várias fontes de obtenção de dados, a fim de que se tenha uma visão holística do fenômeno a ser analisado. Ele afirma que os métodos de coleta de dados devem ser escolhidos e fundamentados nas questões a serem investigadas. Por fim, o autor cita como fonte de coleta de dados: observação dos fenômenos, análise de documentos, questões expositivas, questionários, entrevistas e outras fontes de coletas de dados de acordo com os casos a serem investigados.

Essa pesquisa tem como foco a descrição e a interpretação dos fenômenos observados com amparo nos pressupostos de uma investigação qualitativa de estudo de caso. Para Lüdke e André (1986, p. 17), “quando queremos estudar algo singular, que tenha um valor em si mesmo, devemos escolher o estudo de caso”. A fim de garantir esses pressupostos, os dados desta pesquisa foram obtidos por meio da observação direta, de relatos documentais produzidos ao longo do projeto, de questões expositivas referentes ao tema de estudo, respondidas pelos estudantes durante o desenvolvimento da proposta de trabalho, e ainda por meio de provas de múltipla escolha realizadas no decorrer do bimestre.

#### 4.2 OS PARTICIPANTES E O AMBIENTE DA PESQUISA

O projeto de pesquisa foi desenvolvido no primeiro semestre do ano letivo de 2019, de forma presencial, em uma escola da rede estadual localizada na região metropolitana de Goiânia, em turmas com estudantes do Ensino Médio. Os participantes da pesquisa possuíam idades de 15 a 18 anos e moravam nas mais diversas regiões da cidade de Goiânia. A escola é funcionava em tempo integral e, por isso, é denominada de centro de ensino em período integral. Nesse modelo, os alunos entram às 7h30 e saem às 17h.

No turno matutino, que funciona das 7h30 às 11h45min, os estudantes participam de cinco aulas. Das 11h46 às 13h25, acontece o intervalo para almoçarem e realizarem outras atividades, conforme a individualidade de cada um. Já no período vespertino, das 13h25 às 17h, os discentes participam de quatro aulas, sendo a carga horária da disciplina de Física de duas aulas semanais com 50 minutos cada. Cabe ressaltar que, em ambos os períodos, há um intervalo de 15 minutos para os alunos lancharem.

Na escola, há três laboratórios: um de Física, um de Química e um de Biologia. O laboratório de Física possui três bancadas que comportam 24 estudantes

sentados. Há materiais no laboratório de Física, todavia em quantidade insuficiente para montar kits experimentais. Por exemplo, se o professor desejar trabalhar com a capacidade total do laboratório, é necessário dividir os alunos em seis grupos para realizar os experimentos. Essa parece ser a realidade da maioria das escolas públicas no Brasil, de acordo com publicações de dissertações produzidas pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Na escola já existiu um laboratório de informática, contudo, no período de desenvolvimento da pesquisa, ele se encontra desativado por falta de computadores. O professor que desejasse realizar atividades com suporte de tecnologias que necessitam de computadores ou outro tipo de dispositivo com acesso à internet encontrará dificuldade para o desenvolvimento da aula.

A instituição, por outro lado, conta com a sala de aula temática. Nela é o professor que organiza a sala conforme a temática a ser desenvolvida; é ele que permanece nessa sala durante o período de aula ao longo da semana. Nessa dinâmica, são os estudantes que se deslocam pela escola, conforme o horário escolar.

Esse é um fato que agrega eficiência ao fazer pedagógico do professor e dinamiza o tempo da aula, em virtude da organização de recursos tecnológicos a serem usados em sala de aula, a exemplo da montagem de projetor junto com o notebook. Uma vez que a sala é exclusiva de um professor, não há necessidade de se preocupar com a dinâmica de montar e desmontar os recursos didáticos para se deslocar para uma próxima aula.

### 4.3 A COLETA DOS DADOS

A pesquisa foi desenvolvida ao longo das aulas de Física na sala temática do pesquisador e em um local do ambiente escolar onde foram construídos os bancos de concreto armado. O fato de o pesquisador ter como ambiente natural de investigação sua própria sala de aula favoreceu a coleta de dados por meio da observação direta, registrada no diário de campo. Nesse caso, foi possível catalogar a análise das relações que os estudantes estabeleciam uns com os outros durante o desenvolvimento das atividades relacionadas ao projeto.

Para a coleta de dados, adotaram-se a observação direta, as anotações dos estudantes, um questionário com questões abertas, questões dissertativas como exercícios, provas com questões objetivas e seminários apresentados pelos discentes. O material coletado compõe as aulas de Física. Isso porque o projeto foi desenvolvido de forma natural, inserido como atividade diferenciada ao longo das aulas de Física, oriundo de questionamentos feitos pelos próprios estudantes.

Para a coleta de dados na fase de observação, não havia um fato predeterminado a ser observado. Como os procedimentos a serem realizados pelos estudantes nas atividades propostas não requeriam um padrão único a ser seguido, não era possível estabelecer quais fatos seriam relevantes para serem observados. A riqueza das observações obtidas estava nas relações que os estudantes estabeleciam entre si de forma colaborativa, pois eles necessitavam da ajuda do outro para realizarem as atividades práticas. O pesquisador registrou as observações por meio fotos e breves vídeos relativos a cada atividade proposta. Para tanto, o investigador utilizou como ferramenta um aparelho de telefone celular.

#### 4.4 A ORIGEM DO PROJETO DO BANCO DE CONCRETO ARMADO

Sabe-se que alguns conceitos da Física sempre estarão presentes na execução de ações do cotidiano, atuando sobre a força, a pressão, o torque, o movimento de forma geral e em inúmeros outros conceitos trabalhados de forma interdisciplinar. Destaca-se, nesse quadro, o ato de sentar em algum objeto, algo comum na vida do ser humano desde os primórdios de sua existência. Pode-se inferir, portanto, que a existência da vida, tal qual conhecida, deve-se a esses fenômenos.

Ao longo da vida, é normal naturalizar objetos como não dignos de um conhecimento sistematizado, ou seja, tudo aquilo que faz parte do cotidiano existe pelo simples fato de existir. Não há a necessidade de entender por que ou como algo funciona. Sendo assim, é possível estudar conceitos da Física relacionados ao objeto sobre o qual se senta?

Nessa perspectiva de entender o funcionamento dos aparatos por meio de um conhecimento sistematizado, os estudantes do Centro de Ensino em Período Integral Lyceu de Goiânia que questionaram a flexão da régua, conforme mencionado,

durante uma das aulas de Física, sugeriram que fossem construídos bancos para se sentar.

A ideia da construção dos bancos para a escola ficou evidente após um estudante subir no telhado de um corredor da instituição para pegar uma bola. Para descer, ele pulou em cima do único banco existente na escola, e o banco quebrou ao meio. Sendo assim, a ideia de construir um banco de concreto ganhou “força”. Dessa forma, pesquisador e alunos se reuniram com o objetivo de concretizar, em sala de aula, uma forma de construir um banco que pudesse ser resistente e, ao mesmo tempo, aconchegante para o ato de sentar-se.

#### 4.5 A CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O desenvolvimento da sequência didática visa proporcionar aos estudantes conhecimentos relacionados às estruturas dos objetos que fazem parte da vida cotidiana. Como exemplo, ressalta-se a estrutura de uma cadeira, de uma mesa, de uma casa, de um prédio ou de uma ponte.

A situação da flexão da régua, citada pelos estudantes durante a aula de práticas experimentais de Física, está conectada às propriedades mecânicas dos sólidos. Esses atributos compõem do material mais rudimentar ao mais sofisticado a ser utilizado em qualquer projeto, pois nele constará o componente o qual pode sofrer a ação de uma força. Para o desenvolvimento de um projeto que utiliza materiais sólidos, é importante conhecer essas propriedades e o seu comportamento na presença de forças atuantes.

A resistência dos materiais está interessada nas propriedades mecânicas dos sólidos, e tais propriedades estão relacionadas de forma intrínseca a duas grandezas físicas: tensão e deformação, presentes na construção de uma estrutura, simples ou complexa.

O trabalho desenvolvido construiu uma sequência didática que evoluiu de práticas experimentais convencionais a práticas não convencionais, uma vez que partiu de ideias oriundas de discussões em sala de aula com estudantes do Ensino Médio.

As atividades desenvolvidas pelos estudantes consistiam em verificar o equilíbrio estático por meio de um protótipo de uma gangorra. Do mesmo modo, deveriam construir um protótipo de um banco com formas retangulares; um protótipo

de uma célula ortorrômbica unitária com palitos de picolé; uma pirâmide de base quadrangular, com objetivo de formar uma treliça espacial; um banco treliçado, também com palitos de picolé; e, por fim, um banco de concreto armado com base nos protótipos de palitos de picolé para serem utilizados pela comunidade escolar em momentos de socialização.

As estruturas dos protótipos deveriam seguir três critérios. Primeiro, deveriam prezar a estabilidade. Dentro desse aspecto, a estrutura deveria obedecer às duas equações do equilíbrio estático (equilíbrio de forças e equilíbrio de torques). O segundo critério é o da resistência, em que a estrutura deveria resistir às tensões internas do material exercidas por forças externas. E o terceiro é o critério da rigidez. Neste, além de resistir às tensões internas geradas por forças externas aplicadas, as estruturas não poderiam se deformar de maneira excessiva, não podendo chegar a um regime plástico.

A proposta visou à aprendizagem de conceitos de Física referentes aos conteúdos de equilíbrio de forças, equilíbrio de torques, centro de gravidade, centro de massa, deformação (variação relativa do comprimento) e tensão (força por unidade de área). Ademais, considerou a relação quando um objeto está sob tração ou compressão, sob tensão de cisalhamento, a flexão de um corpo de prova e a abordagem teórica e prática de treliças.

A fim de compreender a curva tensão versus deformação, em um primeiro momento utilizou-se uma balança digital para verificar o quanto de força um ou mais palitos de picolé suportam até a ruptura e se a forma em que esses palitos estão dispostos ao sofrerem a ação de forças influencia na intensidade da força até a ruptura. Já para verificar a “carga” que os cubos e as pirâmides suportavam, utilizou-se o empilhamento de livros sobre eles. Os estudantes também verificaram a “carga” que esses protótipos suportavam subindo em cima dele, lançando mão de seus próprios pesos. Por último, usou-se uma prensa hidráulica para os ensaios de tração, compressão e flexão em palitos de picolé.

No desenvolvimento da proposta, procurou-se criar um ambiente de investigação e de questionamentos constantes, de forma que os estudantes pudessem estabelecer vínculos entre conhecimentos prévios e novos, de caráter teórico e prático, à medida que a complexidade aumentava.

#### 4.6 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO

O projeto descrito nesta pesquisa é composto por atividades desenvolvidas, no ambiente escolar, em forma de sequência didática. Para o seu desenvolvimento, abordaram-se os conteúdos de vetores em duas e três dimensões, diagrama de corpo livre, centro de gravidade, centro de massa, momento linear, momento de uma força (torque), momento angular, equilíbrio de forças, equilíbrio de torques, lei de Hooke, elasticidade, módulo de elasticidade, tração, compressão, cisalhamento, tensão hidrostática e treliças.

No início do projeto, foi aplicado um questionário como o objetivo de verificar os conhecimentos prévios dos estudantes. A seguir são apresentadas as atividades que foram sendo elaboradas e realizadas pelos estudantes no ambiente escolar

##### ATIVIDADE 1: EQUILÍBRIO DE CORPOS EXTENSOS

CONTEÚDO: centro de massa e centro de gravidade.

Objetivos: apresentar aos estudantes uma situação prática que evidencie um ponto no qual o equilíbrio de corpos extensos é possível.

RECURSOS: suporte de haste cilíndrica de ferro, pedaços de tábua de madeira, sólidos em forma cúbica, projetor e computador.

Questões para discussão.

1. Discutir os conceitos de centro de massa e centro de gravidade.
2. Expor e dialogar com os estudantes sobre os conceitos de centro de massa e centro de gravidade aplicados aos corpos extensos.
3. Revisar os conceitos de centro de massa aplicados aos objetos do cotidiano.

Figura 7 -  
Equilíbrio do  
corpo extenso  
grupo 1



Figura 8 -  
Equilíbrio do  
corpo extenso  
grupo 2



Figura 9 -  
Equilíbrio do  
corpo extenso  
grupo 3

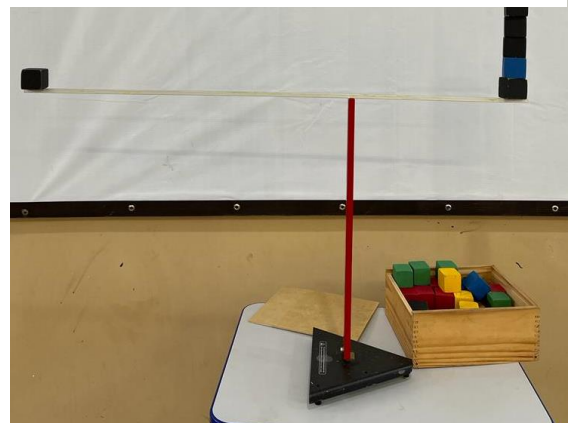


Fonte: Arquivo do autor.

Figura 10 - Equilíbrio de um bloco em cada  
extremidade



Figura 11 - Equilíbrio de um bloco e cinco  
blocos nas extremidades



Fonte: Arquivo do autor.

## ATIVIDADE 2: TENSÃO NOS CABOS

CONTEÚDO: tensão e cisalhamento.

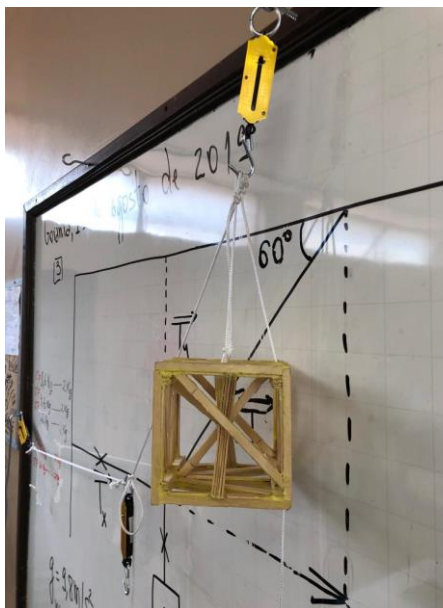
OBJETIVO: entender os conceitos de tensão e cisalhamento.

RECURSOS: balanças de molas, cabos, objeto massivo e projetor.

Questões para discussão.

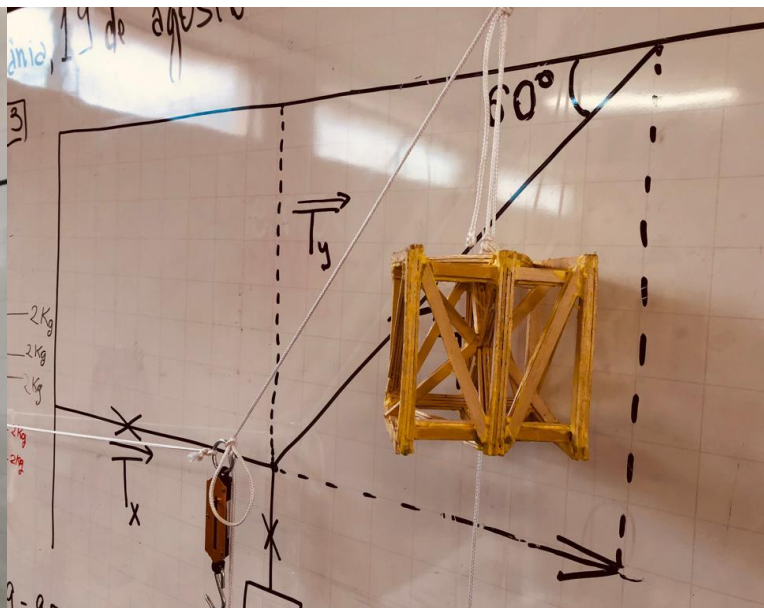
1. Discutir os conceitos de tensão e cisalhamento no cotidiano.
2. Expor e dialogar com os estudantes sobre os conceitos de tensão e cisalhamento e suas implicações em fenômenos recorrentes do cotidiano.
3. Revisar os conceitos de tensão e cisalhamento e suas implicações no centro de massa de um corpo.

Figura 12 - Tração nos cabos



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 13 - Tração nos cabos e balança de mola



Fonte: Arquivo do autor.

### ATIVIDADE 3: CONSTRUÇÃO DE UM CUBO EM PALITOS DE PICOLÉ

CONTEÚDO: geometria dos objetos no cotidiano e momento de inércia.

OBJETIVO: discutir a importância da distribuição de massa dos objetos para a sustentação de estruturas físicas.

RECURSOS: palito de picolé, fita adesiva, cola quente, pistola para cola quente e projetor.

Questões para discussão.

1. Discutir a importância da distribuição de massa dos corpos na sustentação de estruturas físicas no cotidiano.
2. Expor e dialogar com os estudantes sobre as formas dos objetos no cotidiano.
3. Quais são os tipos de alavancas utilizadas no cotidiano? Qual é o conceito da Física que torna uma alavanca especial?

Figura 14 - Montagem de um quadrado



Figura 15 - Montagem de um sólido de forma cúbica

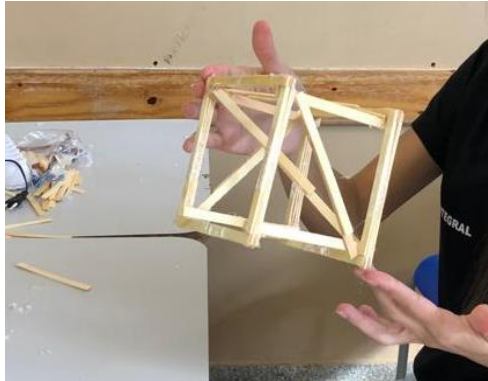
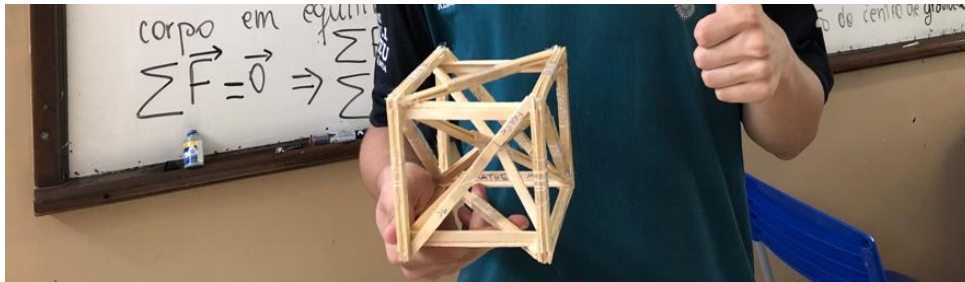


Figura 16 - Protótipo de um Cubo



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 17 - Estudante com o produto da aula finalizado



Fonte: Arquivo do autor.

#### ATIVIDADE 4: CONSTRUÇÃO DE VIGAS DE PALITOS DE PICOLÉ

CONTEÚDO: momento de inércia.

OBJETIVO: entender que a distribuição de massa de um corpo em torno de um eixo de rotação influencia o momento de inércia.

RECURSOS: suporte de haste cilíndrica de ferro, pedaços de tábua de madeira e projetor.

Questões para discussão.

1. Por que as vigas de sustentação das residências são coladas da maneira que se verifica no cotidiano?
2. Qual é a importância do centro de massa dos corpos extensos na construção de uma estrutura qualquer?

Figura 18 - Construção de vigas



Figura 19 - Vigas em processo de secagem



Fonte: Arquivo do autor.

## ATIVIDADE 5: CONSTRUÇÃO DE UM PIRÂMIDE QUADRANGULAR

CONTEÚDO: geometria dos corpos.

OBJETIVO: discutir a importância da forma como os objetos se comportam para sustentação de estruturas.

RECURSOS: palitos de picolé, fita adesiva, cola quente e projetor.

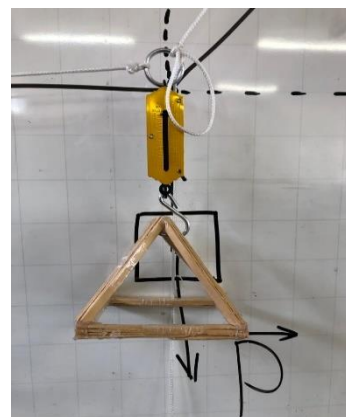
Questões para discussão.

1. Por que a forma como os objetos são construídos influenciam a sustentação de “cargas” (peso)?
2. Quais são as relações matemáticas importantes que podem ser utilizadas para determinar as dimensões dos lados da pirâmide?

Figura 20 - Sólido em forma de pirâmide



Figura 21 - Testando a resistência do sólido



Fonte: Arquivo do autor.

## ATIVIDADE 6: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM BANCO DE ASSENTO

**CONTEÚDO:** centro de massa, tensão e equilíbrio dos corpos.

**OBJETIVO:** discutir a importância do equilíbrio dos corpos no cotidiano.

**RECURSOS:** palitos de picolé, fita adesiva, cola quente, cola de madeira, fita métrica e projetor.

*Figura 22 - Protótipo pequeno de um banco*



*Figura 23 - Protótipo de um banco em tamanho real*



Fonte: Arquivo do autor.

#### ATIVIDADE 7: TENSIONANDO ESTRUTURAS EM PALITOS DE PICOLÉ

**CONTEÚDO:** tensão e cisalhamento.

**OBJETIVO:** entender os conceitos de tensão e cisalhamento em razão da aplicação de forças.

**RECURSOS:** palitos de picolé, balança digital, suporte cilíndrico de aço e projetor.

*Figura 24 - Prototipagem de um ensaio de flexão em palitos e picolé*



Fonte: Arquivo do autor.

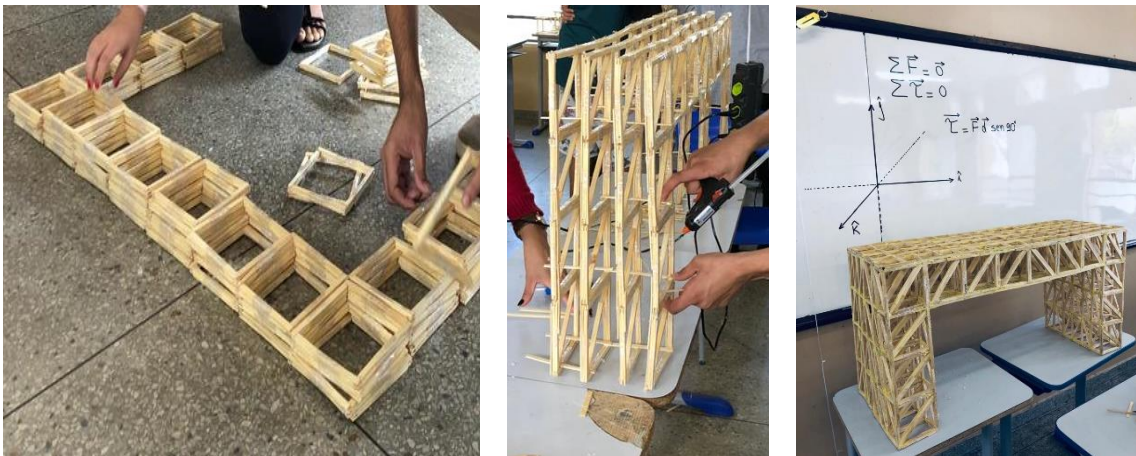
Figura 25 - Efeitos do ensaio de tração



Fonte: Arquivo do autor.

**ATIVIDADE 8: CONSTRUÇÃO DE UM BANCO TRELIÇADO****CONTEÚDO:** treliça.**OBJETIVO:** discutir a importância das treliças nas construções de estruturas.**RECURSOS:** palitos de picolé, cola quente, fita adesiva, cola de madeira, fita métrica e projetor.

*Figura 26 - Construção do banco de palitos de picolé treliçado*



Fonte: Arquivo do autor.

**ATIVIDADE 9: DEMOSTRAÇÃO DA PRENSA HIDRÁULICA****CONTEÚDO:** pressão e tensão.**OBJETIVO:** entender o processo de ensaios mecânicos em materiais.**RECURSOS:** prensa hidráulica, objetos construídos em palitos de picolé e projetor.

Figura 27 - Autor da dissertação testando a resistência dos protótipos de palitos de picolé



Fonte: Arquivo do autor.

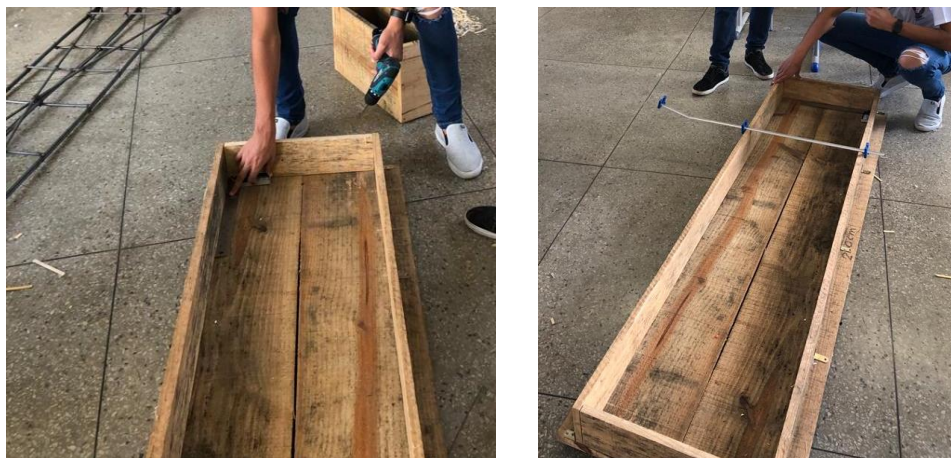
#### ATIVIDADE 10: CONSTRUÇÃO DO BANCO DE CONCRETO ARMADO

CONTEÚDO: tipos de alavancas, torque, equilíbrio, tensão e cisalhamento.

OBJETIVO: entender os conceitos fundamentais da mecânica dos materiais.

RECURSOS: areia, cimento, barra de aço, tabua em madeira, pregos, ferramenta de corte, ferramenta para furar, Equipamento de Proteção Individual (EPI) e projetor.

Figura 28 - Forma para construção do banco de concreto



Fonte: Arquivo do autor.

*Figura 29 - Armação construída em aço 10 mm*



Fonte: Arquivo do autor.

*Figura 30 - Banco de concreto em processo de cura*



Fonte: Arquivo do autor.

*Figura 31 - Banco de concreto pronto aproximadamente*



Fonte: Arquivo do autor.

## 5 RELATO DE EXPERIÊNCIA E DISCUSSÃO

Neste subtópico, serão realizados os relatos das atividades desenvolvidas com base nas discussões realizadas com os estudantes em junho de 2019, no Centro de Ensino em Período Integral Lyceu de Goiânia.

### 5.1 RELATOS INICIAIS

Na tentativa de conhecer os anseios dos estudantes em relação ao que seria desenvolvido ao longo das aulas de Física, para um melhor entendimento do conteúdo relativo a tópicos de resistência dos materiais, realizaram-se, ao longo de duas aulas, seções de Design Thinking. Durante essas aulas, o professor conduziu momentos de empatia, a fim de verificar e conhecer o problema a ser solucionado de acordo com a perspectiva dos estudantes.

Nessas seções, os alunos discutiram o que seria desenvolvido no decorrer das aulas, com o objetivo de entenderem o conteúdo estudado com base em fatos da vida cotidiana. Depois de algum tempo de discussão, eles concluíram que deveriam criar espaços que pudessem dar dinamismo à vivência deles na escola, ou seja, algo que viabilizasse momentos de descontração, já que havia espaços ociosos e que não eram utilizados. Então surgiu a ideia de construir nesses locais ambientes compostos de bancos e mesas junto com ornamentações específicas de cada grupo.

De acordo com os alunos, esses locais tornar-se-iam aconchegantes e serviriam para conversar com os colegas, estudar e, até mesmo, como uma sala de aula ao ar livre. Os estudantes, então, foram divididos em grupos de quatro a seis pessoas e visitaram os locais viáveis à efetivação do projeto. Já para identificar os conhecimentos prévios dos alunos, foi-lhes solicitado que respondessem a um questionário com perguntas discursivas referentes a conceitos de Física – equilíbrio e elasticidade – conforme apresentado no anexo A. As questões elaboradas dessa forma visam formar categorias passíveis de terem seu conteúdo analisado, tal como sugere Bardin (1977).

Com base nas respostas obtidas, verificou-se que os estudantes possuem pouca vivência com os principais conceitos a serem abordados no desenvolvimento do trabalho (torque, centro de massa, tensão, cisalhamento, plasticidade e treliças).

Na aula em que os estudantes responderam ao questionário, identificou-se também um esforço para desempenharem tal atividade. Naquele momento de reflexão, boa parte dos conceitos apresentados parecia ser desconhecida dos estudantes. Eles falavam de forma clara: “Professor, nunca ouvi falar nessa palavra!”, “Professor, não sei do que se trata” ou “Professor, é a primeira vez que vejo essa palavra”. Essas foram algumas das manifestações orais ouvidas durante a aplicação do questionário.

O formulário continha 21 questões e foi respondido por 35 estudantes. Para a análise das perguntas, o pesquisador estabeleceu três categorias. A primeira versava sobre o fato de o estudante explicar a resposta com conceitos da Física. Na segunda, o estudante explicou, porém não apresentou conceitos da Física. Por fim, na terceira categoria, o estudante não respondeu à questão. As três categorias encontram-se descritas no Quadro 3.

Quadro 3 – Quadro de categorias a partir das respostas obtidas dos estudantes

Categorias	Categorias apresentadas nas respostas
Categoria 1	Explicação envolvendo conceitos da Física
Categoria 2	Explicação sem relacionar conceitos da Física
Categoria 3	Não respondeu à questão

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse de tais divisões, as questões foram analisadas e, segundo as respostas obtidas, foram distribuídas conforme exposto no Quadro 4. As respostas que foram contabilizadas para a categoria 1, mesmo que não esteja totalmente correta, mas apresenta indícios por meio de conceitos que desencadeia um raciocínio lógico para explicação da questão, ela foi contabilizada para a categoria. Para as categorias 2 e 3, a contagem deu-se consoante a categoria, correspondendo a uma explicação não relacionada a conceitos da Física e aos que não responderam à questão.

Quadro 4 – Número de respostas obtidas por meio dos questionários

QUESTÕES	Número de respostas obtidas		
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
Questão 1	9	17	9
Questão 2	2	29	4
Questão 3	10	16	9
Questão 4	4	11	20

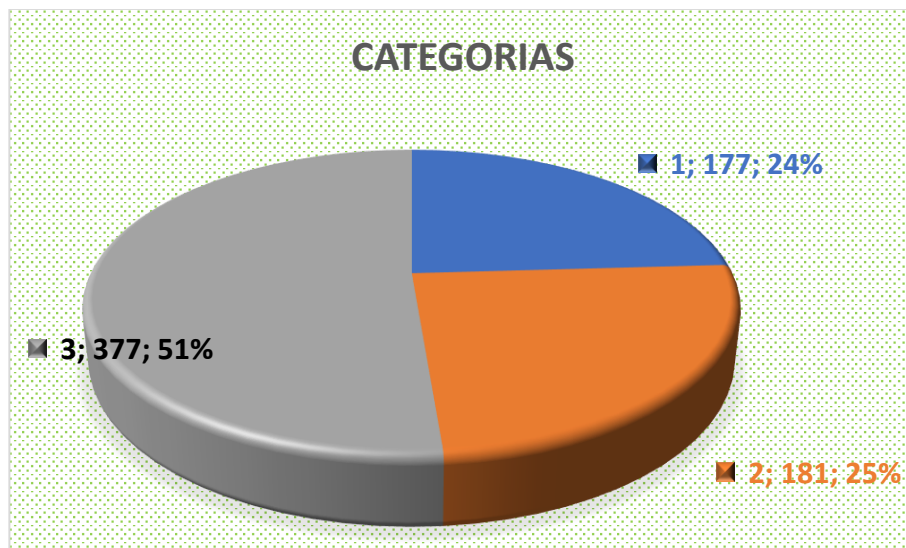
Questão 5	4	19	12
Questão 6	9	8	18
Questão 7	1	4	30
Questão 8	1	1	33
Questão 9	12	10	13
Questão 10	19	10	6
Questão 11	12	14	9
Questão 12	1	8	26
Questão 13	8	10	17
Questão 14	9	3	23
Questão 15	4	2	29
Questão 16	25	4	6
Questão 17	7	4	24
Questão 18	5	0	30
Questão 19	1	0	34
Questão 20	25	6	4
Questão 21	9	5	21
Total parcial	177 (24%)	181(25%)	377(51%)
Total	177 (24%)	558 (76%)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Depreende-se da amostra obtida que 24% das respostas (177 respostas) demonstraram evidências as quais, de alguma maneira, envolviam conceitos da Física. Já 25% (181 respostas) não apresentaram explicações relacionadas a conceitos da disciplina. Nesta última, as explicações aludiram a conhecimentos da vida cotidiana, não se referindo aos conceitos de forma sistematizada. Em relação a essa categoria, não se atribuiu um juízo de valor – se é correto ou incorreto. Houve somente a análise da forma com explicaram a questão, se a associaram à Física ou não.

Os dados referentes à categoria 1 foram analisados com amparo nas explicações ou em exemplos citados, contendo frases que esclareciam as questões ancoradas em conceitos de Física. Cabe ressaltar que a maior parte das questões solicitava que os estudantes descrevessem o conceito e citassem exemplos do cotidiano. Nesse sentido, nenhuma resposta obtida na categoria 1 ficou respondida em completude, visto que ou o estudante explicou o conceito ou citou apenas um exemplo. Em síntese, elaborou-se o gráfico, demonstrado na Figura 30, no qual consta a porcentagem das respostas fornecidas às três categorias.

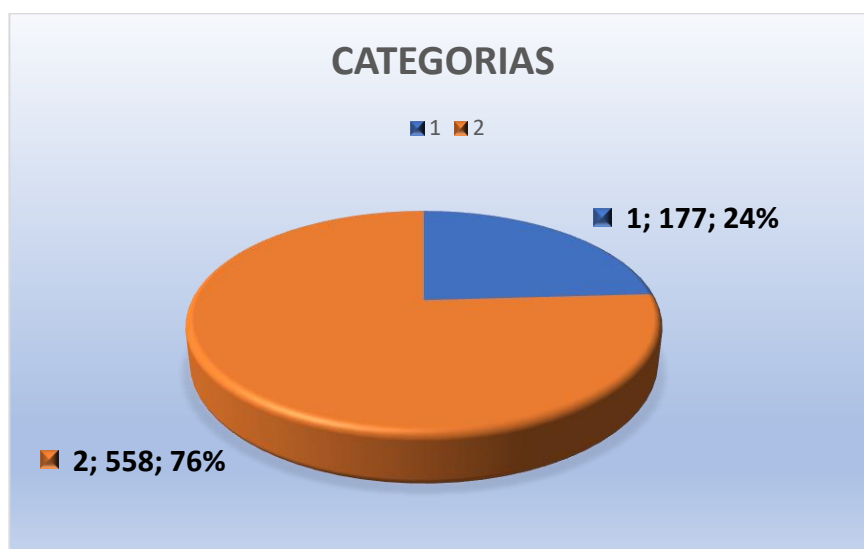
Figura 32 - Gráfico que representa as três categorias apresentadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere ao estudante que não fornece explicações ancorado em conceitos físicos de forma sistematizada, criou-se um gráfico, ilustrado na Figura 31, no qual consta a porcentagem das categorias. Cabe ressaltar, mais uma vez, que não se emitiu juízo de valor acerca da explicação dos fenômenos do cotidiano fundamentados em teorias da Física. As questões têm por objetivo verificar se os estudantes conhecem tais conceitos.

Figura 33 -Gráfico que representa as duas categorias de repostas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em suma, pode-se inferir dos dados apresentados que a maior parte dos estudantes da amostra da pesquisa não obteve uma experiência a qual pudesse levar à formação de conceitos de forma sistematizada, referente ao conteúdo de equilíbrio e elasticidade.

## 5.2 RELATOS DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Na aula da atividade 1, apresentou-se a proposta da sequência didática a ser desenvolvida em sala de aula até a produção do banco de concreto. A proposta de trabalho foi apresentada conforme as discussões e seguindo as ideias propostas pelos estudantes durante as duas primeiras aulas a partir das seções de *Design Thinking*. Nessas duas aulas, por meio das discussões, os estudantes foram questionados sobre a importância de estudar os conteúdos da Física para o entendimento do funcionamento de muitas ferramentas e obras construídas pelo ser humano no cotidiano. E como estudar Física de forma a entender a relação dos conteúdos com a vida cotidiana? Logo após os questionamentos, os alunos foram separados em equipes de quatro a seis estudantes com objetivo de propor sugestões que pudessem melhorar o que é estudado na disciplina de Física com a realidade cotidiana.

Nesse sentido, como resultado dos questionamentos, obtiveram-se as seguintes respostas, as quais são transcritas na sequência.

Equipe 1: o estudo da Física é importante para descobrirmos a sustentabilidade das vigas e devemos fazer cálculos, para construir prédios e casas. É necessário física, para que se possa fazer cálculos de massa, peso e altura. A física é muito importante para que essas construções não desabem. A parte elétrica de algum lugar, como a luz é gerada e como ela chega até nós e como chega na lâmpada, quanto tempo leva etc.

Equipe 2: podemos estudar a física através de medições para saber se a escola é um lugar seguro para alunos e professores. Podemos fazer experimentos para descobrir a inércia, a força de atrito, o torque, o impulso, a quantidade de movimento, o centro de massa, o equilíbrio de forças, a energia e sua conservação, entre outros. E através desses experimentos aprender física na prática. E como isso

afeta a vida das pessoas que frequentam a escola. Através desse projeto podemos mudar a realidade do nosso colégio Lyceu de Goiânia, um lugar que tem que ter conforto, pois é integral.

Equipe 3: espera-se que na fundamentação das contribuições que a física pode dar para a solução de alguns problemas encontrados no estado de conservação da escola. A física está presente nos seguintes conceitos: inércia, força (em especial a força de atrito), torques, quantidade de movimento, centro de massa, equilíbrio de forças, energia e suas conservações, entre outros. Com o objetivo de tornar o ambiente escolar cada vez melhor para comunidade, valorizando e aproveitando os recursos para melhorar a escola.

Equipe 4: a física é importante para proporcionar o entendimento das coisas na sala de aula, porque a física estuda entre outras coisas a interação entre os corpos e a consequências dessas interações. Assim, com a ajuda da física, nós podemos fazer mudanças para melhorar cada vez mais nosso ambiente de estudo. Segundo a terceira lei de Newton, se você aplicar uma determinada força numa mesa que solta farpas, a mesa aplicará essa mesma força de volta e isso pode causar acidentes na sala de aula. Concluindo, é muito importante o estudo da física, principalmente, nas escolas para que os alunos saibam se eles estão seguros ou não.

Equipe 5: a física está envolvida com todos os objetos que manuseamos no dia a dia. Quando não há uma força de atrito em um chão liso, a grande risco de haver um acidente por isso deve existir uma força de atrito, ou seja, o chão deve ser áspero. A física também pode estar envolvida na velocidade do carro, por exemplo um carro com velocidade média de 60 km por hora em uma pista. Também em caso de acidentes que envolve a força e peso como cair de um copo já que ele foi atraído pelo campo gravitacional da Terra. A física também está envolvida com a saúde, pois graças a balança sabemos quando a segurança de nosso corpo corre risco quando a massa está acima do normal, a pressão e a temperatura também.

A partir das repostas fornecidas pelos estudantes nessa discussão rápida, que durou entre 20 e 25 minutos, de forma oral e escrita, ficou claro que incorporaram em suas respostas conceitos da Física que ouviram ou apreenderam em aulas anteriores. Embora os estudantes relataram em sala de aula a dificuldade em

aprenderem conteúdos de Física, reconhecem a sua importância para entender diversos conceitos para ampliar o conhecimento, seja para provas de admissão em universidades ou para o mundo do trabalho. Admitem que a maior dificuldade está em aplicar equações para resolver exercícios, mas essa dificuldade não teve início com o estudo da Física, advém de anos anteriores.

### 5.2.1 ATIVIDADE 1: EQUILÍBRIO DE CORPOS EXTENSOS

Na atividade da figura 1, na qual os estudantes manipulam os pedaços de madeira de tal modo que eles permaneçam em equilíbrio, a forma com que eles engajaram para realizar a atividade foi bem interessante. Cada equipe se revezou de dois em dois para realizarem a atividade. Os estudantes conversavam entre si sobre qual era a melhor maneira de colocar os pedaços de madeira para estabelecer o equilíbrio.

Na primeira tentativa, eles colocaram os pedaços de madeira de qualquer forma, mas, depois de um certo tempo, todos os estudantes perceberam que os pedaços maiores deveriam ficar na parte inferior para que o equilíbrio se estabelecesse de uma maneira mais fácil. Quando colocavam o maior pedaço de madeira em cima, segundo eles, era mais difícil para estabelecer o equilíbrio. Isso estava evidente para todos que estavam participando da atividade prática.

A atividade da gangorra com os blocos de madeira parecia desafiar a paciência dos estudantes. Quanto mais difícil a configuração do sistema, mais os estudantes se sentiam desafiados. Na realização da atividade, bastava equilibrar um bloco em uma das extremidades e cinco na outra. No entanto houve estudantes que estavam tentando equilibrar oito blocos de um lado e um do outro.

Nessa atividade eles foram percebendo que, à medida que aumentavam o número de blocos de um lado, tinham que diminuir a distância dos blocos até o ponto de apoio. Esse fato aconteceu com todas as equipes a partir da segunda tentativa. Os estudantes passaram, então, a questionar uns aos outros por que isso acontecia. No início, achavam que o equilíbrio da gangorra se estabelecia porque o peso de ambos os lados era igual. Logo, por meio de uma balança, passaram a medir a massa dos blocos e verificaram que de um lado da gangorra havia uma massa bem superior à massa do outro lado.

Depois de um tempo, perceberam que havia uma relação entre o peso dos blocos e a distância. Problematizou-se a situação solicitando que eles descobrissem uma relação de multiplicação ou divisão que permanecesse a mesma entre o peso e a distância do ponto de apoio. No decorrer das atividades, perceberam que o sistema só permanecia em equilíbrio quando a multiplicação entre o peso e a distância era igual. Foi quando perceberam que estavam multiplicando força pela distância que era a grandeza vetorial chamada de torque. Notaram que quando o torque gerado pela força peso do lado esquerdo era igual ao torque gerado pela força peso do lado direito o sistema barra e blocos permaneciam em equilíbrio.

### 5.2.2 ATIVIDADE 2: TENSÃO OU TRAÇÃO NOS CABOS

Nessa atividade, os estudantes observaram que há uma relação entre o ângulo para o qual a tensão no cabo aumenta e diminui. Verificaram que, ao passo que o ângulo aumentava, a tensão nos cabos aumentava. Do mesmo modo, identificaram que à medida que a tensão nos cabos aumentava, há um local no cabo que o diâmetro vai diminuindo até que ele se rompe. Associaram esse fenômeno ao cisalhamento e ao escoamento.

Além disso, sugeriram, de forma verbal, que “a tensão no cabo foi intensa que o cabo passou para o regime de plasticidade, não retomando a forma inicial”. A manifestação dessa ideia demonstra um entendimento por parte dos estudantes, o que pode ocorrer com os materiais ao serem submetido a forças intensas.

### 5.2.3 ATIVIDADE 3: CONSTRUÇÃO DE UM CUBO EM PALITOS DE PICOLÉ

Essa atividade convida os estudantes a usarem a criatividade e construir um cubo utilizando palitos de picolé e cola. Antes de colocar a mão na massa, surgiu uma ideia de que é fácil construir um cubo a partir dos palitos de picolé. Quando, porém, os estudantes começaram a montar o cubo e logo que eles ficaram semiprontos, veio a questão: “Estudantes, isso que vocês construíram é realmente um cubo?”. Foi quando perceberam, por meio de uma régua e um paquímetro, que o sólido construído não se tratava de um cubo. O objeto parecia um cubo, mas não o era em virtude das medidas das arestas.

Essa foi uma atividade em que os estudantes colaboraram bastante uns com os outros, pois era quase impossível construir um sólido de forma cúbica em uma aula de maneira individual. Então o trabalho em equipe funcionou de forma engajada.

A construção desses sólidos tinha como objetivo pôr à prova de resistência, ou seja, sofreriam a ação de uma força para verificar o que acontecia. A partir do momento que os sólidos ficavam prontos os estudantes queriam colocá-los a prova. Para isso os estudantes deram a ideia de empilhar livros sobre o sólido. À medida que ele foram colocando livros sobre o sólido ele começaram a dizer “nossa, aqueles palitos estão flexionando” ou “olha está rompendo ali tira os livros”.

Alguns estudantes usavam a expressão “os palitos estão entortando”, e alguns estudantes dizem “não, os palitos estão flexionando, de um lado os palitos sofrem uma tensão e do lado oposto sofre uma compressão”. Quando os estudantes aumentavam o número de livros sobre o sólido alguns diziam “agora o nosso cubo vai romper o limite de elasticidade e vai a plasticidade, ou seja, vai quebrar. Nessas falas, percebe-se a evolução conceitual nas falas observadas, uma vez que não foram verificadas essas palavras nas questões do primeiro questionário. Portanto, há evidências de uma evolução no entendimento dos conceitos estudados.

#### 5.2.4 ATIVIDADE 4: CONSTRUÇÃO DE VIGAS EM PALITOS DE PICOLÉ

Nessa atividade, os estudantes colocaram a mão na massa com o objetivo de verificarem se a forma como uma viga é colocada em uma estrutura influencia na resistência a aplicação de forças. Essa foi uma questão que surgiu em aulas de laboratório, quando estudantes questionaram sobre a flexão da régua, caso comentado no texto anterior. Essa atividade também necessita de uma habilidade prática dos estudantes. Ao construírem a viga a partir de palitos de picolé, em conversas entre eles, podemos ouvir o seguinte comentário, “será por que as vigas são sempre colocadas de forma na vertical e não na horizontal”, aí o outro estudante responde, “para suportar mais peso” o outro volta a questionar, mas, por que suporta mais peso?

Durante o desenvolvimento das práticas, foi possível verificar um grande envolvimento no realizar a atividade prática juntamente com muito diálogo, seja em relação a própria prática ou outro assunto particular dos próprios estudantes. Considera-se muito importante essa socialização do diálogo entre os estudantes e

como o professor. Os questionamentos fazem parte do fazer pedagógico em sala de aula. Quando o estudante fala é possível verificar a evolução desencadeado a partir a participação de forma ativa, diferente de quando somente o professor fala durante toda a aula.

#### 5.2.5 ATIVIDADE 5: CONSTRUÇÃO DE UM PIRÂMIDE QUADRANGULAR

A ideia da construção da pirâmide surgiu a partir dos questionamentos de que se o protótipo do cubo suporta mais força que o protótipo de uma pirâmide quadrangular, ou seja, que tenha a mesa base do cubo. Os alunos resolveram, então, construir pirâmides para realizar o ensaio mecânico desse protótipo. A ideia de construir protótipos a partir de palitos de picolé tem como fator importante o custo e o fácil acesso ao material. Assim como construir o primeiro protótipo de um cubo não foi uma tarefa fácil o protótipo da pirâmide também foi um pouquinho trabalho, requer muita dedicação e perseverança. Durante a construção desse protótipo, os estudantes tiveram que utilizar alicate e fazer cortes no palito aproximadamente de quarenta e cinco graus.

Nessa atividade, os estudantes passaram associar o que estava sendo realizado ao que estudaram na disciplina de Matemática. Perguntaram se era possível calcular a área das faces, o volume dos protótipos construídos e se também poderiam realizar medidas e calcular a distância entre dois vértices por meio da lei dos cossenos ou teorema de Pitágoras.

#### 5.2.6 ATIVIDADE 6: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM BANCO DE ASSENTO

Essa atividade foi proposta para testar as ideias tangíveis que surgiram durante a aula de *Design Thinking* para construção do banco de concreto armado. Primeiro foram construídos vários protótipos de bancos de palitos de picolé até que se chegou a um modelo que, na visão da maioria dos estudantes que participarem, era uma ideia bastante viável.

Ao construir os protótipos de bancos de palitos de picolé, esse eram submetidos por uma força que o estudante exercia sobre ele, verificando uma certa flexão. Alguns flexionavam mais outros menos. Alguns estudantes colocavam livros

sobre o protótipo, porque diziam que não somos capazes de exercer a mesma força em diferentes protótipos.

Nessa atividade os estudantes tiveram que realizar medidas e verificar a escala a qual o protótipo seria construído. Os estudantes projetaram um banco de 200 centímetros de comprimento e 45 centímetros de largura e comprimento. Logo dividiram por dez e verificaram que deveriam construir um protótipo de 20 centímetros de comprimento por quatro vírgula cinco centímetro de largura e altura.

#### 5.2.7 ATIVIDADE 7: TENSIONANDO ESTRUTURAS EM PALITOS DE PICOLÉ

Os estudantes verificaram no desenvolvimento dessa atividade que a forma com que o palito é colocado na balança digital, é necessário exercer uma intensidade maior de força para que ele ultrapasse o regime de elasticidade, até a sua quebra. Então passaram a questionar o porquê isso acontece. Essa atividade tinha como objetivo levar o estudante a entender o gráfico força versus deslocamento da Figura 2 p. 49. O estudante verifica de forma simples do comportamento elástico até a deformação permanente do material.

A outra atividade foi o ensaio mecânico realizado nos protótipos de cubo. Os estudantes colocaram livros em cima do protótipo e observavam o que acontecia à medida que a massa sobre o ele aumentava. A partir da observação realizada verificavam o que poderia melhorar no próximo protótipo a ser construído. Durante o ensaio sobre o protótipo alguns estudantes diziam “olha, está flexionando, desse lado está acontecendo a compreensão e do outra está tensionando” até acontecer a deformação permanente do objeto de estudo.

#### 5.2.8 ATIVIDADE 8: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM BANCO TRELIÇADO

O protótipo do banco treliçado foi uma atividade bem instigante para os estudantes. Nessa atividade demonstraram uma habilidade prática incrível. Na construção do bando as equipes trabalharam em forma colaborativa, primeiro construíram quadrados em palitos de picolé depois colaram os quadrados uns aos outros até obter um formato em forma de “U” como mostra a Figura 20. As partes foram sendo coladas até construir o protótipo treliçado.

Depois de pronto, surgiu a pergunta? Será que suporta uma pessoa sentada em cima? No primeiro momento, a sensação que tiveram é que o banco fosse quebrar com uma pessoa ao se sentar. Depois que passaram por esse teste mental, um estudante teve coragem de sentar-se. De uma forma geral, ficaram impressionados, pois o banco não quebrou e verificaram que poderia sentar mais uma pessoa, que o banco não quebraria, segundo alguns estudantes. Assim, dois estudantes sentaram, e o banco não quebrou. E assim, vários questionamentos foram sendo realizados, à medida que mais estudantes sentavam no banco, até atingir o limite uma massa aproximadamente de 327kg.

#### 5.2.9 ATIVIDADE 9: DEMOSTRAÇÃO DA PRENSA HIDRÁULICA

Nessa atividade da prensa hidráulica, os estudantes puderam observar na prática o que acontece com um corpo ao sofrer ação de forças. Na realização dessa atividade, verificaram na prática e de forma mais elaborada a questão da flexão e compreensão de materiais. Foi realizado de forma simples um ensaio de compreensão sobre nos protótipos construído pelos estudantes, o protótipo de cubo, o protótipo de pirâmide, a viga de palitos e o protótipo do banco de palito de picolé.

A questão do gráfico foi retomada nessa atividade, e um certo número de estudantes mencionou um suas explicações o comportamento elástico e o comportamento plástico dos materiais. Na prensa hidráulica, há uma alavanca para que uma força exercida sobre ela para que a intensidade da força no cilindro de aço seja aumentada. Os estudantes, durante a realização da atividade, associaram ao braço o conceito de torque. Puderam perceber nessa que o conceito de torque está presente no cotidiano bem mais do que imaginavam.

Um estudante durante a aula disse: “então quase tudo no dia a dia há torque, porque a maioria das coisas movimentam e vai girar em torno de algo”. Nessa fala, parece haver uma evidência que o estudante está relacionando torque a relação de força e distância do ponto de aplicação de força e isso pode fazer com que o corpo gire.

Ademais, os estudantes escreveram um breve relato sobre o ensaio de tração. A seguir são transcritos os relatos de quatro estudantes.

No ensaio de tração a tração é de acordo com a força aplicada, fazendo uma deformação permanente e quanto mais força aplicada ele acaba se rompendo. O limite da tração pode deixar o material na sua posição inicial sem fazer qualquer deformação. O módulo de elasticidade mostra o quanto é rígido o material, mas só pode ir até certo ponto. O limite de ruptura é quando o material se rompe e ele é menor do que o limite de resistência. O ensaio de tração são todas essas composições e mais algumas outras (Estudante A).

O ensaio de tração é quando uma força é aplicada sobre um elástico, por exemplo, e ele se alonga, e quando você libera essa força, é notório uma deformação no elástico. Para saber como os materiais se comportam e se é seguro para o dia a dia devemos saber sobre a resistência dos materiais. Quando um objeto com elasticidade recebe uma força, depois é liberado, ele se deforma, o que pode ser importante, caso ocorra algo durante o dia a dia (Estudante B).

Ensaio de tração, ele é feito para ver a resistência de algum certo material, por exemplo, quando você puxa um elástico até ele arrebentar, e consegue ver a resistência dele. Também existe a deformação do material que ocorre, por exemplo, quando você estica um elástico ele se alonga pode voltar a tamanho normal e quando você para de exercer uma força muito grande sobre ele, ele não volta a posição original ele se alonga ou se deforma. Em um ensaio de tração de um parafuso, que é colocado em uma máquina hidráulica até se partir, e com isso podemos fazer um diagrama de tensão que mostra até que ponto ele resiste sem partir (Estudante C).

Um ensaio de tração é utilizado para testar a resistência de um material para uma maior segurança dos consumidores. Nesse ensaio podemos medir a força que o objeto suporta, quanta tração ele aguenta antes de se deformar e o nível de deformação que o produto sofre. Em um determinado nível de força, a tração é proporcional à força, passando desse nível o objeto sofre uma deformação permanente (Estudante D).

Verifica-se, portanto, por meio dos relatos, que os estudantes entenderam o ensaio realizado com a prensa hidráulica. A partir dos relatos, percebe-se que ocorreu uma evolução conceitual em relação aos conceitos estudados em sala de aula. Já nas manifestações por escrito, notam-se vários termos que fazem parte do estudo de resistência dos materiais. Há evidência de uma aprendizagem que começa a ter significado. E, também, reconhecem de forma prática a importância do estudo de resistência dos materiais.

#### 5.2.10 ATIVIDADE 10: CONSTRUÇÃO DO BANCO DE CONCRETO ARMADO

O desenvolvimento do projeto do banco de concreto armado nasceu com a perspectiva de que os estudantes aplicassem os conhecimentos da física elencadas no currículo escolar. Segundo os estudantes, a Física estudada não mostra uma relação com o cotidiano. A frase que é sempre enunciada pelos estudantes todo ano,

mais uma vez foi pronunciada por um deles: “para que estudar física, se não vou utilizar isso na minha vida”. Esse mesmo estudante depois de participar desse processo disse “professor, nunca pensei que um objeto tão simples como um banco de sentar pudéssemos estudar esse tanto de coisa, não é fácil, mas a minha opinião sobre a física não é a mesma, agora quando olho para uma ponte, um prédio ou mesmo uma cadeira, passo a questionar se aquilo é seguro para eu atravessar, morar ou sentar”.

Nessa modalidade de aprendizagem, da qual se exige dos estudantes pensar, projetar e colocar a mão na massa para ver as coisas acontecerem de fato, não é uma tarefa simples. Durante a realização das atividades, havia questionamentos que sempre aparecem, do tipo: “será que esse conteúdo vai ser cobrado na prova do Enem?” A questão de ser protagonista da sua própria aprendizagem e perceber o professor como um mediador no processo de ensino, não é uma tarefa fácil, as evidências sugerem como algo a ser desenvolvido constantemente. De acordo com algumas falas, às vezes parece sugerir que aula é somente aquele momento em que o professor está explicando, escrevendo na lousa e o estudante copiando. Segundo alguns estudantes, a questão de pensarem em aula tradicional se deve ao fato de terem vivenciado essa prática durante vários anos na escola.

O desenvolvimento do projeto do banco de concreto armado foi um problema identificado pelos estudantes durante as conversas utilizando a abordagem do *Design Thinking*. Conforme as discussões, se a escola tivesse mais lugares para os estudantes ficarem em momentos de descanso seria um local melhor. Entende-se que, para a construção dos bancos, o conteúdo da Física que mais se qualifica para envolver os estudantes em um processo do qual há como fazer uma relação entre teoria e prática, é o conteúdo de equilíbrio e elasticidade, ou melhor, estudar tópicos de resistência dos materiais.

Em um primeiro momento, foi realizada uma pesquisa de materiais e preço desses materiais para a construção do banco de concreto. Discutiu-se o que precisaria para construir os bancos. Foi feita uma lista de materiais necessários. A partir dessa lista, os estudantes fizeram uma pesquisa de preço, alguns fizeram a pesquisa pela internet, outros em loja de materiais de construção próximo de suas residências.

O primeiro item comprado foram as tábuas e os pregos para a construção da forma do banco para colocar o concreto. Professor e estudantes foram até uma madeira e compraram as tábuas, já cortadas na medida que foi discutida em sala de

aula. As medidas do banco que foram definidas ficaram assim: dois metros de comprimento, 45 centímetros de altura e 45 centímetros de largura.

Em segundo lugar, compraram-se barras (6m) de vergalhão de aço e arame para fixar e construir a estrutura de aço que fica no interior do banco para dar sustentação. As barras já vieram cortadas no comprimento de dois metros. Os participantes só tiveram que cortar pequenas barras de 35 centímetros para construir a estrutura das pernas do banco, isso com o auxílio de um corta vergalhão. Os estudantes ao manusearem esse corta vergalhão e disseram: “esse instrumento de corte é uma alavanca interfixa, é a que multiplica a intensidade da força com mais eficiência, porque o braço de alavanca é mais, produzindo um torque mais intenso”.

Ao ouvir essa explicação de vários estudantes, verificou-se que o que foi estudado em sala de aula de forma teórica foi utilizado em suas explicações, fazendo a relação entre a teoria e a prática.

Os estudantes calcularam a quantidade de materiais que utilizariam na fabricação do banco, a areia, a brita, o cimento e a água. Esses materiais foram comprados, também, em uma loja de materiais de construção conforme o planejado no orçamento.

Para a construção do banco alguns estudantes comentaram que poderia utilizar EPI para a realização do trabalho que não era tão simples com parecia durante as discussões. Então, foram compradas luvas para mãos, óculos de proteção para os olhos e capacetes de proteção para cabeça, todos de acordo com as normas de segurança. Na realização do trabalho os estudantes tiveram a oportunidade de conhecer ferramentas reais e de fato, tais com: alicate, furadeira, parafusadeira, corta vergalhão, pá, enxada, carrinho de carga e martelo.

Ao manusear essas ferramentas, perguntou-se quais conceitos eram possíveis de verificar em cada instrumento. As respostas eram diversas, tais como “o torque é verificado nas instrumento alicate, corta vergalhão, furadeira e no carrinho de mão”, “ao fazer o uso do vergalhão podemos verificar o cisalhamento”, “podemos perceber a barra de aço flexionar”, “podemos perceber a tensão de compressão quando usamos as ferramentas de corte”, “trabalhos com massa de areia, brita e cimento, logo podemos saber o peso de cada um desses materiais”. Assim eles estavam percebendo na prática o que era estudado em sala de aula.

O trabalho a ser realizado não era, segundo os estudantes, uma tarefa simples e fácil, porque muitos diziam, “Professor, fazer concreto não é fácil, quem

nunca mexeu com isso vai sentir muita dificuldade”. Diante do exposto por vários estudantes, perguntou-se quem já tinha trabalho em fazer concreto. Foram selecionados dez estudantes que se prontificaram em construir o banco de concreto em um dia específico. Marcamos uma data no período vespertino e construímos o banco em uma tarde, cerca de quatro horas. Então, o banco ficou pronto naquele mesmo dia, passou para o processo de secagem e cura do concreto.

Os estudantes jogaram água no concreto durante sete dias consecutivo para o processo de cura. Depois do processo de cura, retiramos a forma do banco. Então a construção do banco foi finalizada com êxito. Os estudantes comentavam, “nossa não acredito que o banco tão sonhado ficou pronto”, “que legal, fomos da teoria à prática”, “pensei que esse projeto iria ficar apenas no papel”, “ não acredito que aqueles banquinhos de palitos de picolé se transformação nesse banco que ninguém dá conta de levantar”, “nosso, quero ver quebrar no banco agora”, “pela primeira vez fiz algo que vamos utilizar para a vida toda”, “nunca mais vou ver um banco da forma que via antes”, “quem diria que em um banco fosse estudar tanta física assim”, “agora sei a função das alavancas, são muito úteis na nossa vida”, “quero ver alguém sentar agora e não entender o que é pressão e tensão”, “quero ver alguém dizer que nunca sentou na vida” e “construo um banco, logo sento em muitos conceitos da Física”.

Essa foram algumas frases que foram ouvidas após a construção do banco de concreto armado.

#### 5.2.11 ATIVIDADE DE RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS EM SALA DE AULA

A partir das práticas desenvolvidas no ambiente escolar de forma prática, buscou-se verificar se os estudantes estabeleciam, de forma cognitiva, a relação entre a teoria estudada referente ao conteúdo de equilíbrio no decorrer das aulas por meio do livro-texto de Física *Ser Protagonista* (FUKUI *et al.*, 2016, p. 216).

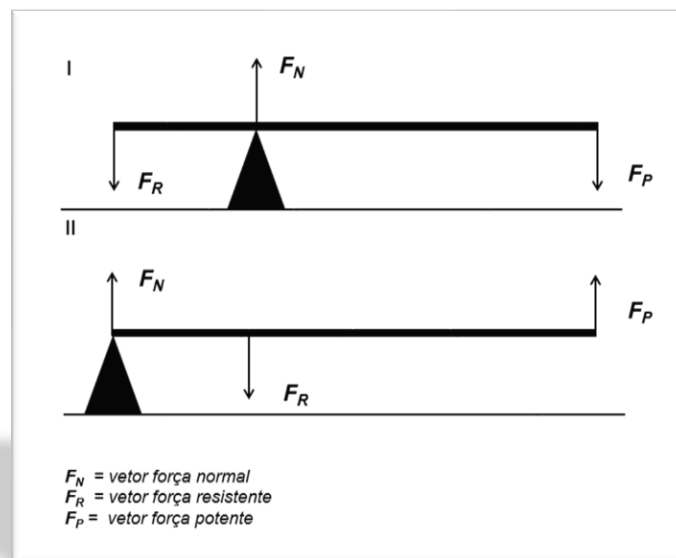
A dinâmica das aulas priorizava um espaço onde os estudantes pudessem estabelecer um ambiente de investigação e de questionamentos acerca do conteúdo estudado. Para tanto, faz-se necessário verificar se os estudantes conseguem estabelecer relações entre as práticas desenvolvidas e conteúdo teórico a fim de que promova uma aprendizagem com significado e que seja crítica (MOREIRA, 2005).

Após a realização da atividade dez estudantes resolveram exercícios do livro texto adotado na escola. Nessa aula de resolução de exercícios, o conteúdo foi apresentado de forma dialógica por meio de projeção e explicações escritas na lousa. A seguir são apresentadas resoluções de três questões adaptadas do livro *Ser protagonista* (FUKUI *et al.*, 2016, p. 226) adotado pela escola e as resoluções desenvolvidas por quatro estudantes.

Os estudantes durante o processo de construção de todos as estruturas de palitos de picolé e o banco de concreto armado tiveram contato com vários tipos de alavancas, com objetivo de verificar se eles fazem a relação entre a prática e a teórica acerca dos tipos de alavancas foi pedido para que respondessem à questão 1 adaptada da obra de Fukui *et al.* (2016, p. 226).

Questão 1. Em cada tipo de alavanca é possível identificar onde estão localizados o ponto de apoio, a reação normal de apoio, a força potente e a força resistente. A partir dos aparatos da figura a seguir, que são modelos de tipos de alavancas, dê exemplos de instrumentos que funcionam de acordo com os princípios das alavancas da ilustração.

Figura 34 - Tipos de alavancas



Fonte: Adaptado de Fukui *et al.* (2016, p. 226).

Respostas dos estudantes:

Figura 35 - Resposta do estudante A para questão 1

15- Tipo I: Carrinho de mão, gangorra, balança, guindaste.  
Tipo II - Pinça

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 36 -Resposta do estudante B para questão 1

15 - I - carrinho II - pinça de mão

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 37 - Resposta do estudante C para questão 1

15 - I. gangorra, balança, guindaste  
II - pinça,

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 38 -Resposta do estudante D para questão 1

15 - I - gangorra, guindaste  
II - pinça

Fonte: Arquivo do autor.

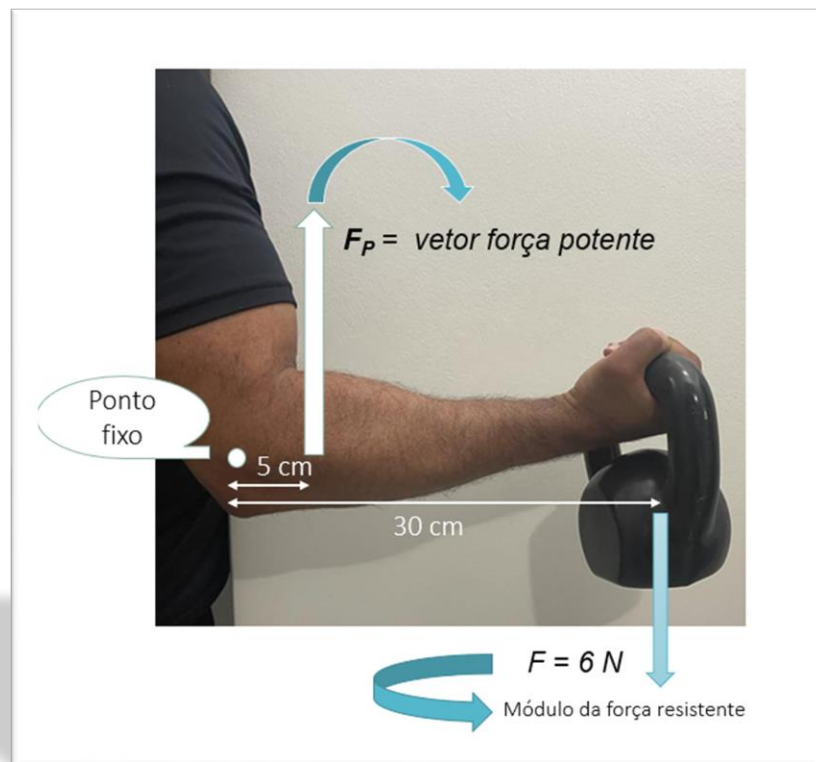
Os estudantes ao construírem os protótipos passaram a questionar que tipo de alavanca é o nosso braço. No livro texto há uma questão que foi resolvida por eles que exemplifica o contexto. A questão 2 adaptada da obra de Fukui *et al.* (2016, p. 226).

**Questão 2.** A figura a seguir mostra parte de um braço segurando um objeto para treino chamado de Kettlebell, cujo peso é de 6 N.

a) Determine a intensidade da força  $F_1$  que o bíceps deve exercer para que o braço mantenha o objeto parado nessa mesma posição horizontal. Para facilitar o desdobramento da questão despreze o peso do braço.

b) De forma colaborativa com os colegas, faça uma pesquisa e investiguem o porquê esse tipo de alavanca requer uma ação maior da força aplicada aos bíceps.

Figura 39 - Tipo de alavanca demonstrado pelo braço humano



Fonte: Adaptado de Fukui *et al.* (2016, p. 226).

Respostas dos estudantes:

Figura 40 - Resposta do estudante A para questão 2a

$\sum F = 0$   
 $F_N + F_P - F_2 = 0$   
 $\sum \tau = 0$   
 $\pm \tau_1 \pm \tau_2 \pm \tau_3 = 0$   
 $+ F_N \cdot 0 + F_P \cdot 5 - F_2 \cdot 30 = 0$   
 $+ F_N \cdot 0 + F_P \cdot 5 - 6 \cdot 30 = 0$   
 $5F_P - 180 = 0$   
 $F_P = \frac{180}{5}$   
 $F_P = 36 \cdot 10 \text{ N}$   
 $F_P = 360 \text{ N}$

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 41 Resposta do estudante B para questão 2a

$\sum F = 0$   
 $+ F_N + F_P - F_2 = 0$   
 $\sum \tau = 0$   
 $\pm \tau_1 \pm \tau_2 \pm \tau_3 = 0$   
 $\tau = \pm Fd \sin \theta$   
 $\tau = \pm Fd \sin 90^\circ$   
 $\tau = \pm Fd$   
 $+ F_N \cdot 0 + F_P \cdot 5 - F_2 \cdot 30 = 0$   
 $- 5F_P - 6 \cdot 30 = 0$   
 $- 5F_P - 180 = 0$   
 $- 5F_P = 0 + 180$   
 $F_P = \frac{180}{5}$   
 $F_P = 36 \cdot 10 \text{ N}$   
 $F_P = 360 \text{ N}$

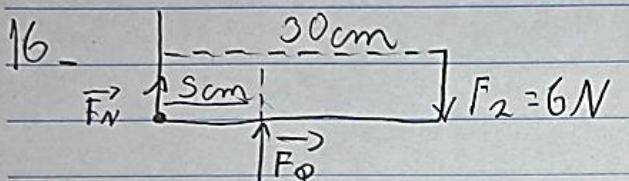
Fonte: Arquivo do autor.

Figura 42 - Resposta do estudante C para questão 2a

$$\begin{aligned}
 & 16 - 10 \sum F = 0 \quad \theta = 90^\circ = 1 \\
 & +F_N + F_p - F_2 = 0 \\
 & \sum \tau = 0 \\
 & +\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0 \\
 & +F_N \cdot 0 + F_p \cdot 0,05 - F_2 \cdot 30 = 0 \\
 & 0,05 F_p - 1,80 = 0 \\
 & 5 F_p = 1,80 \\
 & F_p = \frac{1,80}{0,05} \\
 & F_p = 360/10 \quad F_p = 360 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 43 Resposta do estudante D para questão 2a



$$\begin{aligned}
 & \sum \tau = 0 \\
 & +F_N \cdot 0 + F_p \cdot 5 - F_2 \cdot 30 = 0 \\
 & 0,05 F_p - 1,80 = 0 \\
 & F_p = \frac{1,80}{0,05} \quad F_p = 360/10 \\
 & F_p = 360 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 44 - Resposta do estudante A para questão 2b

16 Porque quanto mais perto do ponto de apoio mais força é necessária.

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 45 - Resposta do estudante B para questão 2b

b) Quanto mais próximo do ponto de apoio mais força se aplica.

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 46 - Resposta do estudante C para questão 2b

b-1 Quanto mais próximo do ponto de apoio, mais força tem que aplicar

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 47 - Resposta do estudante D para questão 2b

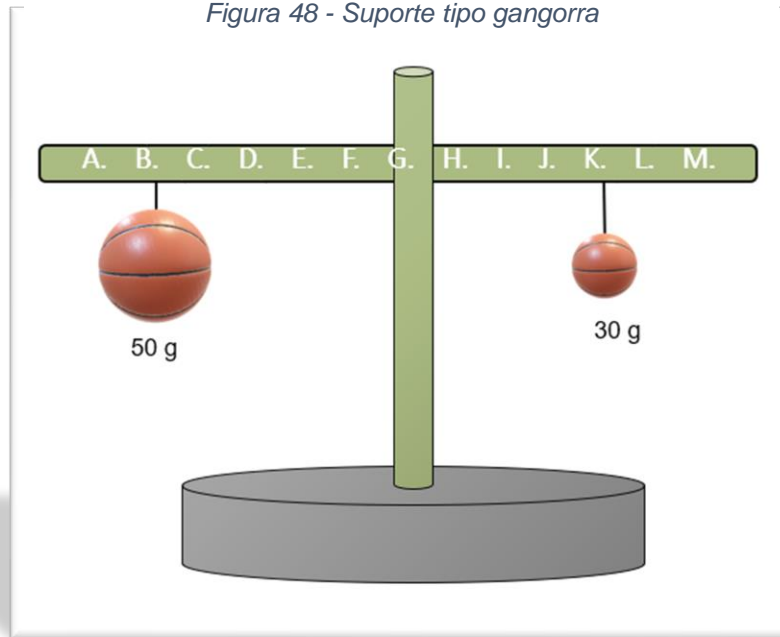
b, Porque quanto mais próximo do ponto de apoio, mais força é necessário.

Fonte: Arquivo do autor.

A questão a seguir, resolvida pelos estudantes evidencia que eles entenderam que só há equilíbrio de rotação quando a soma vetorial de todos os torques é nula. Para responder à questão 3, os estudantes tiveram que fazer o uso desse conceito que é de fundamental importância para estabelecer o equilíbrio. A seguir mostra a questão adaptada da obra de Fukui *et al.* (2016, p. 226).

**Questão 3.** No sistema esquematizado da figura a seguir foram realizados furos do lado direito de cada letra ao longo da haste horizontal, cuja distância uns dos outros é de 1 cm. Determine o valor da massa que deve ser colocada no furo da letra I para que o sistema permaneça em equilíbrio estático satisfazendo o equilíbrio de rotação.

Figura 48 - Suporte tipo gangorra



Fonte: Adaptado de Fukui *et al.* (2016, p. 226).

Resposta do estudante:

Figura 49 -Resposta do estudante A para questão 3

$$\begin{aligned}
 17 - P_1 &= m \cdot g \\
 P_1 &= 50 \cdot 10 \\
 P_1 &= 500 \text{ N} \\
 P_2 &= 300 \\
 \sum \tau &= 0 \\
 500 \cdot 5 - 300 \cdot 5 - F_x \cdot 2 &= 0 \\
 2500 - 1500 - 2F_x &= 0 \\
 2F_x &= -1000 \\
 -F_x &= -500 \\
 F_x &= 500 \text{ N} \\
 P_x &= 65 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 50 -Resposta do estudante B para questão 3

$$17 - \sum \tau = 0$$

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 51 - Resposta do estudante C para questão 3

b-1 Quanto mais próximo do polo de apoio, mais força tem que aplicar

$$P_1 = 50 \cdot 10 = 500 \text{ N}$$

$$P_2 = 30 \cdot 10 = 300 \text{ N}$$

$$\sum \tau = 0$$

$$+500 \cdot 5 - 300 \cdot 4 - F_x \cdot 2$$

$$+ 2500 - 1200 - 2F_x$$

$$F_x = \frac{1300}{2}$$

$$F_x = 650 \text{ N}$$

$$F_x = 65 \text{ kg}$$

Fonte: Arquivo do autor.

Figura 52 - Resposta do estudante D para questão 3

$$P_1 = 50 \cdot 10 = 500 \text{ N}$$

$$P_2 = 30 \cdot 10 = 300 \text{ N}$$

$$\sum \tau = 0$$

$$+500 \cdot 5 - 300 \cdot 4 - F_x \cdot 2$$

$$+ 2500 - 1200 - 2F_x$$

$$-2F_x = 1300$$

$$F_x = \frac{1300}{-2}$$

$$F_x = 650 \text{ N}$$

$$P_x = 65 \text{ kg}$$

Fonte: Arquivo do autor.

A partir das respostas desenvolvidas pelos estudantes, infere-se que há indícios de uma aprendizagem com significado. Há fatos que um questionário ou prova não mostram, mas o olhar atento do pesquisador pode observar e acompanhar no desenvolvimento do estudante ao expressar e falar.

Durante a realização dessa atividade teórica, pôde-se ouvir comentários que demonstra um engajamento e uma motivação por meio das práticas realizadas. Os comentários emitidos tais como “esse tipo de alavanca aqui estávamos utilizando para cortar os palitos de picolé ou para cortar o vergalhão”, “Ué essa alavanca aqui é

a mesma coisa do carrinho de mão que estávamos carregando os sacos de cimento” ou “nossa, esse exercício aqui é parecido com os bancos que nós estávamos construindo” e “acho que esse caixote do problema é parecido com o cubinho que a gente estava construindo”. Essas falas demonstram um certo grau de envolvimento dos estudantes na realização das atividades, parece que para eles há algo de concreto para eles. A riqueza dessas cenas vivenciadas pelo pesquisador em sala de aula dificilmente é captada pela resolução de exercícios dos estudantes.

Durante a realização das atividades práticas e teóricas observamos que os questionamentos e a participação dos estudantes em comparação com uma aula tradicional que ministrávamos foi bem superior. Tendo em vista a riqueza de detalhes percebidos pelo pesquisador no decorrer do desenvolvimento desse trabalho, essa pesquisa visa, em momentos futuros, um desdobramento com objetivo de investigar questões que surgiram a partir da aplicação desse produto e que ficaram em aberto devido ao tempo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou investigar os desafios e as possibilidades de se implementarem inovações didáticas no ensino da Física no Ensino Médio em sala de aula a partir de temáticas sugeridas pelos estudantes. Com base nas metodologias ativas do *Design Thinking* e da Aprendizagem Baseada em Projetos, elaborou-se e implementou-se uma sequência didática sobre tópicos de resistência dos materiais no ensino médio que possam contemplar os conteúdos de equilíbrio e elasticidade.

Com a implementação da proposta por meio das metodologias ativas, este estudo buscou responder às seguintes questões: Como se percebe a motivação dos estudantes na realização das práticas desenvolvidas em relação a modificação da organização didática no ambiente escolar? Qual é a percepção do pesquisador sobre a motivação dos estudantes na realização das atividades trabalhadas de maneira colaborativa? Como os estudantes avaliam as atividades realizadas para o estudo de resistência dos materiais? As práticas desenvolvidas estabelecem uma relação entre conteúdo teórico e fatos conhecidos no cotidiano? Qual é o grau de envolvimento dos estudantes a partir de práticas oriundas de discussões realizadas em sala de aula? Quais as dificuldades apresentadas para a implementação e desenvolvimento da proposta de tópicos de resistência dos materiais no ensino médio? Há evidências de uma aprendizagem significativa crítica?

Os estudantes mostraram-se bastante envolvidos no desenvolvimento das atividades propostas. Foram muitas as atividades, embora pareçam simples, mas, de acordo com os estudantes envolvidos, nunca trabalharam e não imaginavam que pudessem estudar tantos conceitos da Física a partir da construção de um banco de sentar, que é um objeto bastante comum no cotidiano. Segundo muitos estudantes, nunca mais vão olhar para um banco de sentar da mesma forma que o conhecia, é algo muito interessante, produzir conhecimento e entender o funcionamento de muitas edificações a partir de algo que utilizamos a toda hora.

Em relação aos conteúdos abordados, no desenvolvimento da proposta, pode-se verificar evolução dos estudantes, no quesito colaboração e, de uma forma geral, no trato dos conceitos de Física. A partir da relação que estabeleceram com o manejo e o desenvolvimento dos protótipos, pode-se verificar um trabalho mais assertivo na elaboração e realização de boa parte das atividades que tinha de serem realizadas de forma colaborativa.

Muitos dos estudantes verificaram que construir os protótipos propostos forma individual era um trabalho muito difícil, grau de dificuldade aumentava consideravelmente. Na construção do “cubo”, por exemplo, aconteceram de vários estudantes construírem cerca de quatro cubos, até que o cubo pudesse suportar uma massa de aproximadamente 130kg. O primeiro protótipo de cubo construído pela maioria dos estudantes, suportava sobre ele, pouco mais de 20kg. Nas observações realizadas, foi possível verificar que, após a quebra do protótipo de estrutura cúbica, os grupos verificavam a forma com que os protótipos se deformavam à medida que aumentavam a massa sobre a estrutura e analisavam o que estava de errado na construção das estruturas cúbicas e procuravam corrigir as falhas por eles observadas.

Os estudantes, de maneira geral, em um primeiro momento, estranharam a dinâmica da aula, após um certo tempo, compreenderam o que estava sendo proposto e começaram a trabalhar no desenvolvimento dos protótipos em palitos de picolé. Segundo eles, esse estranhamento nesse primeiro momento era pelo fato de estarem acostumados ao excesso de aulas expositivas no decorrer da vida estudantil. A partir do momento que perceberam que o desenvolvimento da proposta precisava de uma atitude ativa, por parte deles, o interesse pelas atividades foi bastante promissor.

A mudança da abordagem metodológica no ensino e aprendizagem não é algo simples. Há variáveis que pode influenciar o desenvolvimento de um projeto que não dependem da livre iniciativa do professor. A questão do tempo foi um dos fatores que teve influência no desenvolvimento da proposta. Aqui vale ressaltar que o tempo se mostrou ineficiente simplesmente por conta da proposta, não se sabia quanto tempo os estudantes poderiam construir os protótipos, essa foi uma proposta piloto.

O tempo para desenvolver cada atividade ainda não era conhecido, pois não havíamos trabalhado com essas atividades. Ele, o tempo, só ficou estimado de forma aproximada a partir do desenvolvimento desse trabalho. Dificilmente a construção de uma estrutura cúbica será construída em uma aula de cinquenta minutos, tão pouco um banco treliçado e um banco de concreto armado. A organização do tempo escolar para a execução da proposta deve ser bem pensada entre os pares. A questão do tempo seria solucionada se o projeto for trabalhado de forma interdisciplinar com outras disciplinas, aumentando o tempo para que as

atividades não sejam comprometidas e essa maneira também seria interessante porque os estudantes teriam outros olhares em relação ao trabalho.

Na escola em questão, o fator tempo não comprometeu a dinâmica do trabalho em razão de as aulas de Física serem duplas. A coordenação da escola ao elaborar o horário escolar colocou aulas duplas para a disciplina de Física, esse foi um ponto bastante positivo. O tempo para trabalhar com projeto com aulas duplas é bem mais flexível. A proposta foi desenvolvida de forma exitosa, assim classificamos, as possibilidades de se trabalhar com projetos que estimulam o desenvolvimento dos estudantes de forma colaborativa promovendo atitudes que presam pela cidadania tem sido bastante estimulada na escola de tempo integral.

Por fim, os estudantes avaliaram a proposta de trabalho como sendo uma proposta que desafia os estudantes a se envolverem nas atividades de forma ativa. A questão de trabalhar de forma colaborativa foi bastante positiva. No início parecia ter uma resistência, mas depois que perceberam que um ajudando o outro o trabalho se desenvolvia com bastante facilidade essa forma de trabalhar se fez imperativa. Os estudantes se mostraram mais envolvidos nessas práticas que foram de certa forma idealizada por eles durante as aulas de física e foram tomando forma até a finalização da construção do banco de concreto. Alguns dos estudantes disseram “pensamos que o banco iria ficar apenas no sonho”. Então o fato de idealizar algo e concretizar essa ideia foi bastante positiva.

O trabalho é considerado o projeto-piloto. Foi a primeira vez em que o pesquisador trabalhou dessa forma. A ideia é rica em detalhes, instiga os estudantes a pensarem em resolução de problemas reais e perto da realidade local, pois, todos nós sentamos todos os dias e a toda hora em um assento. O trabalho seria replicado ao final do mês de março de 2020 de uma forma mais sistematizada. No entanto algo inesperado aconteceu: a pandemia colocou uma pausa nesse trabalho. Este estudo é complicado de se realizar sem distanciamento. O trabalho deve ser aprimorado, há muito a ser desvendado nas estrelinhas do que foi realizado. Para encerrar, como você se encontra neste momento? Uma hipótese! Sentado em uma forma de banco.

## REFERÊNCIAS

ANDRÉ, M. E. D. A. **Estudo de caso em pesquisa e avaliação educacional**. Brasília: Liber Livro, 2005.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BEER, F. P. *et al.* **Estática e Mecânica dos Materiais**. Porto Alegre: Mc Graw Hill, 2013.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. Jr.; MAZUREK, D. F.; EISENBERG, E. R. **Mecânica Vetorial para Engenheiros**. 9ª Ed., Porto Alegre: Mc Graw Hill, 2013.

BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Porto Alegre: Penso, 2014.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto Editora, 1994.

Markham, T.; Larmer, J.; Ravitz, J. **Aprendizagem Baseada em Projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio**. Buck Institute For Education; tradução Daniel Bueno. 2. Ed. -Porto Alegre: Artmed, 2008, 220p.

BRASIL. Lei nº 9.394, de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano CXXXI, n. 248, p. 27833, 23 dez. 1996.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. – Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Base nacional comum curricular. Brasília, DF: MEC, 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/> Acesso em: 19/11/2019.

CAVALCANTE, C. C.; FILATRO, A.C. **Design Thinking na Educação Presencial, a distância e corporativa**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2018. (CAVALCANTE; FILATRO, 2018).

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 31. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2001.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 34. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2006.

FUKUI, A. *et al.* **Ser Protagonista, 1º ano: ensino médio.** 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

GERE, J. M.; GOODNO, B. J. **Mecânica dos Materiais.** São Paulo: Editora Gengage Learning, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais.** 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

HIBBELER, R. C. **Estática: mecânica para engenharia.** 12. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2011.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1986.

MERIAM, J. L.; KRAIGE, L. G. **Mecânica para Engenharia – Estática,** 6ª Ed., vol.1, Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MORAN, J. M. Mudando a educação com metodologias ativas. In: SOUZA, C. A.; MORALES, O. E. T. (Org.). **Convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens.** Ponta Grossa, PR: UEPG/PROEX, 2015. (Coleção Mídias Contemporâneas, v. 2). p. 15-33. Disponível em: <<http://rh.unis.edu.br/wpcontent/uploads/sites/67/2016/06/Mudando-a-Educacao-com-Metodologias-Ativas.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2018.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica.** Porto Alegre: Ed. autor, 2005.

Moreira, M.A. **Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica.** Instituto de Física da UFRGS. 2007.

MOREIRA, M. A. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica.** São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares.** São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. **Noções Básicas de Epistemologias e Teorias de Aprendizagem com Subsídios para a organização de Sequências de Ensino-Aprendizagem em Ciências.** São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2016.

MOREIRA, M. A. **Ensino e aprendizagem significativa.** São Paulo: Livraria da Física, 2017.

STAKE, R. Estudos de caso em pesquisa e avaliação educacional. Seminário sobre avaliação em debate. **Revista Educação e Seleção**, São Paulo, n. 7, p. 5-14, dez. 1983. Disponível em: <http://publicacoes.fcc.org.br/index.php/edusel/issue/view/263>. Acessado em: 3 mar. 2021.

STAKE, R. E. **Pesquisa Qualitativa**: estudando como as coisas funcionam. Porto Alegre: Penso, 2011.

Keith R. Symon, K. R. **Mecânica**. tradução Gilson Brand Batista. Rio de Janeiro Ed. Campus, 1996, 685 p.

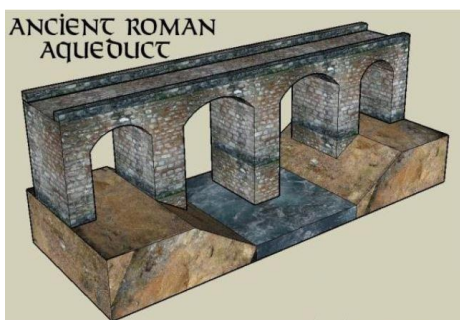
YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL RESPONDIDO PELOS ESTUDANTES

### CONHECIMENTOS PRÉVIOS

DISCENTE:	N: _____	DISCIPLINA: FÍSICA
CURSO: ENSINO MÉDIO	DATA: GOIÂNIA, ___/___/2019	TURNO: INTEGRAL
SÉRIE/TURMA: ( )ª( )	DOCENTE: KHELBS	NOTA:

#### QUESTÃO 01 \_\_\_\_\_



Este aqueduto romano usa o princípio do arco para sustentar o peso da estrutura e a água que ela transporta. Os blocos que compõem o arco estão sendo (i) comprimidos, (ii) alongados, (iii) uma combinação de ambos ou (iv) nem comprimidos nem alongados? Comente sua resposta.

#### QUESTÃO 02 \_\_\_\_\_

Há condições que devem ser atendidas para um corpo ou uma estrutura estarem em equilíbrio? Quais? Comente sua resposta.

#### QUESTÃO 03 \_\_\_\_\_

O que significa centro de gravidade de um corpo e como ele se relaciona com sua estabilidade?

#### QUESTÃO 04 \_\_\_\_\_

O que significa centro de massa? No centro de massa sempre há massa? Comente sua resposta.

#### QUESTÃO 05 \_\_\_\_\_

O que é tensão de dilatação? Explique com um fenômeno do cotidiano.

#### QUESTÃO 06 \_\_\_\_\_

O que é tensão de compressão? Explique com um fenômeno do cotidiano.

#### QUESTÃO 07 \_\_\_\_\_

O que é tensão volumétrica? Explique com um fenômeno do cotidiano.

#### QUESTÃO 08 \_\_\_\_\_

O que é cisalhamento? Explique com um fenômeno do cotidiano.

#### QUESTÃO 09 \_\_\_\_\_

O que é elasticidade? A Lei de Hooke é validade para qualquer limite de elasticidade? Comente sua resposta.

#### QUESTÃO 10 \_\_\_\_\_

O que é pressão? Explique com um fenômeno do cotidiano.

#### QUESTÃO 11 \_\_\_\_\_

O que é deformação? Explique com um fenômeno do cotidiano.

#### QUESTÃO 12 \_\_\_\_\_

O que é plasticidade? Explique com um fenômeno do cotidiano.

#### QUESTÃO 13 \_\_\_\_\_

Explique o que você entende sobre “*torque*”. Qual a sua importância no cotidiano?

**QUESTÃO 14** \_\_\_\_\_  
Defina grandeza escalar. Cite exemplos.

**QUESTÃO 15** \_\_\_\_\_  
Defina grandeza vetorial. Cite exemplos.

**QUESTÃO 16** \_\_\_\_\_  
Desenhe um triângulo, um quadrado e um retângulo. Escreva a equação para o cálculo da área de cada uma das formas geométricas.

**QUESTÃO 17** \_\_\_\_\_  
O que são treliças? Qual a função de uma treliça? Onde podemos encontrar treliças?

**QUESTÃO 18** \_\_\_\_\_  
Escreva as definições de seno, cosseno e tangente.

**QUESTÃO 19** \_\_\_\_\_  
Escreva a lei dos cossenos.

**QUESTÃO 20** \_\_\_\_\_  
O que é deslocamento? O que é velocidade?  
O que é aceleração?

**QUESTÃO 21** \_\_\_\_\_  
Você deseja desenvolver algum projeto que envolve a disciplina de Física? Em caso afirmativo, comente sobre o projeto.

## **ANEXO B – PRODUTO EDUCACIONAL**

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

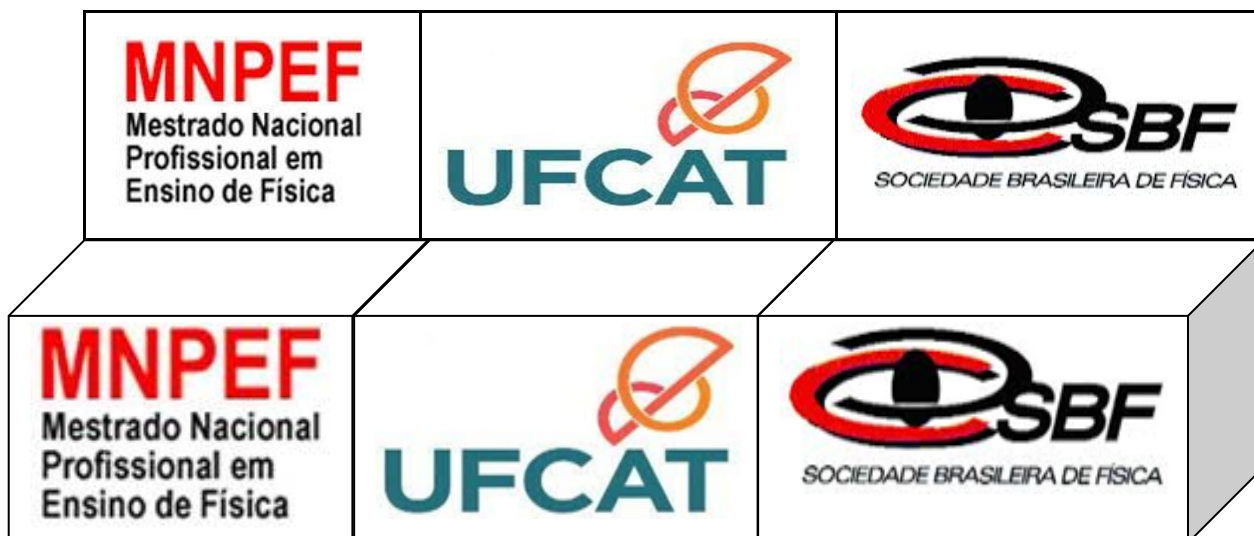


**A PROTOTIPAGEM NO ENSINO DE EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE**

**PRODUTO EDUCACIONAL**

Khelbes Roberto da Silva

Catalão  
2022



## A prototipagem no ensino de equilíbrio e elasticidade

Khelbes Roberto da Silva

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEF) do Instituto de Física (IF) da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica. Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. Jalles Franco Ribeiro

Catalão  
2022

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	4
EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE .....	5
UM POUCO DE HISTÓRIA.....	7
EQUILÍBRIO DE UM CORPO DEFORMÁVEL .....	8
FORÇA DE SUPERFÍCIE .....	8
FORÇA DE CORPO.....	8
REAÇÕES DE APOIO .....	9
EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO.....	9
TENSÃO E DEFORMAÇÃO.....	12
CISALHAMENTO.....	14
TENSÃO HIDROSTÁTICA.....	15
ELASTICIDADE E PLASTICIDADE – COMPORTAMENTO ELÁSTICO .....	15
ESCOAMENTO.....	17
MATERIAIS DÚCTEIS .....	17
MATERIAIS FRÁGEIS .....	18
TRELIÇAS .....	18
TRELIÇAS SIMPLES .....	20
DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO.....	25
REFERÊNCIAS .....	38

## **INTRODUÇÃO**

Olá, Professora(o)! Ao ler esse material, que foi desenvolvido com a finalidade de motivar os estudantes em sala de aula, espero que você esteja sentada(o). É, isso mesmo! Sentada(o)! Acho que é a melhor maneira de ler um texto, conversar com os amigos, pensar sobre os dilemas da vida, e, sentar-se em um banco aconchegante, localizado em um local calmo e tranquilo. É, assim, que os estudantes descreveram, um local o qual eles queriam construir na escola que eles estudam.

Este material foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar o professor de física do ensino médio no processo de ensino e aprendizagem de conceitos de equilíbrio e elasticidade. O material é de fácil manuseio e com linguagem bastante acessível para que o desenvolvimento de toda a proposta ocorra de forma exitoso e alcance os objetivos estabelecidos. Os conteúdos abordados ao longo do desenvolvimento da proposta são de extrema importância para a compreensão de como os corpos se comportam ao sofrerem ação de forças.

## **O PRODUTO EDUCACIONAL**

O conhecimento prático desenvolvido pelo ser humano ao longo de sua história de vida nem sempre garante sucesso na aprendizagem de conteúdos escolares. Às vezes, a forma como os conteúdos escolares são apresentados, pode inibir a criatividade que venha a surgir em estudantes durante uma aula. A observação e experimentação vivenciada no cotidiano pelos estudantes parecem não ser suficiente para garantir uma aprendizagem com significado e um desenvolvimento pleno do que se diz respeito aos conteúdos escolares. As ações que realizamos a todo momento no cotidiano envolvem conceitos de equilíbrio e elasticidade, sendo que, na maior parte das vezes, esse conteúdo não é abordado no ensino da Física no ensino médio. A possibilidade de entender esses conceitos

de Física a partir de atos que realizamos no dia a dia podem ser um diferencial no ensino de Física em sala de aula.

Acreditamos que, a relação de ensino e aprendizagem de conteúdos escolares não pode estar relacionado apenas a uma única metodologia, os estudantes aprendem de forma diferente. Embora, o conhecimento científico seja sistematizado, com procedimentos que obedecem a uma sequência lógica fundamentado em observação e experimentação, a complexidade da sala de aula pode exigir uma multiplicidade de formas de abordar os conteúdos, sejam eles teóricos ou práticos. O processo de ensino e aprendizagem em sala de aula da forma como preconiza Moreira (2011) ao estabelecer a aprendizagem significativa crítica, entendemos que é preciso de uma variedade de abordagem e metodologias para que os objetivos sejam atingidos.

## **EQUILÍBRIO E ELASTICIDADE**

A arte de construir é uma marca do ser humano desde os primórdios. A busca pelo desenvolvimento de materiais que resistam ao tempo e aos impactos remonta às civilizações antigas da humanidade. A construção das pirâmides é uma demonstração de que os egípcios dominavam conhecimentos sobre o equilíbrio e a resistência mecânica dos materiais. Na Antiguidade, os gregos também deram suas contribuições para o entendimento do equilíbrio dos corpos.

O grego Arquimedes de Siracusa, que viveu entre 287 e 212 a.C., elaborou um sistema para verificar o centro de gravidade dos corpos por meio de uma alavanca, demonstrando as condições de equilíbrio dos corpos. A teoria de Arquimedes serviu de base para o desenvolvimento de dispositivos denominados guinchos e guindastes, mecanismos que utilizam o princípio de funcionamento de alavanca presentes em qualquer empreendimento da construção civil.

O estudo de resistência dos materiais visa analisar o dimensionamento das peças que serão utilizadas em uma estrutura. Com objetivo de verificar se uma peça está em equilíbrio, verifica-se as intensidades das forças que atuam em uma peça. Caso o equilíbrio não seja satisfeito, é indício de que a soma vetorial de todas as forças é diferente de zero.

Para que as condições de equilíbrio sejam satisfeitas, é necessário conhecer o limite da resistência mecânica do material. Esse limite é conhecido por meio de ensaios mecânicos aos quais peças ou materiais são submetidos. Nesses ensaios, é possível analisar, dentro de uma margem de segurança, o comportamento do material ao ser submetido à intensidade de forças. No ramo da Engenharia Civil, essas forças que atuam nos corpos de forma geral, são conhecidas como “esforços”.

Com os dados obtidos por meio da força aplicada por unidade de área versus o deslocamento sofrido pelo material, é possível plotar um gráfico tensão versus deformação. Ao se analisar esse gráfico, identifica-se o limite entre o regime elástico e o regime plástico do material. Na prática, a análise dos limites elástico e plástico dos materiais ratifica a segurança de qualquer estrutura. O fato de não conhecê-los pode induzir a erros, os quais podem colocar a vida das pessoas em risco. Esse conhecimento faz toda a diferença na área de Gerenciamento de Projetos. A compreensão do tipo de material a ser utilizado em um projeto minimiza o tempo de entrega, reduz os custos e diminui os riscos que impactem de modo negativo uma estrutura.

As edificações construídas pelo ser humano têm ganhado os noticiários. São prédios caindo, pontes que não conseguem se manter de acordo com os fins para os quais foram projetadas, passarelas desmoronando em razão de projetos que não levaram em conta a força da água que poderia ser aplicada de baixo para cima e barragens que se romperam e mataram centenas de pessoas.

Diante desses fatos, surgem as seguintes perguntas: será que os projetos realizados levaram em conta a física aplicada? Será que as pessoas que frequentam esses ambientes que foram palco de tragédias não observaram algo de estranho acontecendo nessas estruturas? Não que eles sejam obrigados a verificá-las. O que se defende neste estudo é que, quando se tem conhecimento, ele pode fazer a diferença na avaliação de uma estrutura.

A Estática é o ramo da Física que investiga as condições de equilíbrio dos corpos de acordo com uma comunidade científica. Ela é o estudo do comportamento físico dos materiais sob a ação de forças, e a subsequente modelagem desse comportamento é chamado de resistência dos materiais.

A resistência dos materiais, consoante Hibbeler (2011), é o ramo da Mecânica que estuda as relações entre as cargas externas (forças externas)

aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas que agem no interior do corpo. Esse corpo deformável, na realidade, é um corpo rígido o qual é formado por um sistema de partículas em que todas as distâncias entre elas são constantes. Ademais, em virtude das forças externas às quais um material é submetido, são realizados cálculos com o objetivo de verificar as deformações dos corpos bem como a sua estabilidade (HIBBELER, 2010).

O projeto de construção de uma estrutura recorre aos princípios da Estática para determinar a intensidade das forças que são aplicadas sobre os vários elementos que a compõem. Por sua vez, as forças internas que mantêm os átomos em distâncias simétricas uns em relação aos outros são de “forças de vínculo”. Pode-se afirmar que essas forças obedecem à terceira lei de Newton (SYMON, 1996). Na realidade, nenhum corpo é perfeitamente rígido. O que ocorre é apenas uma idealização que se aproxima do real.

Vale salientar que, em uma estrutura, outros fatores como o tamanho dos elementos, a flexão e a estabilidade dependem do tipo de material de que são constituídos. Entender o comportamento de uma estrutura sólida ao ser submetida a forças externas em vários pontos é crucial para a aplicação precisa das equações de equilíbrio de corpos rígidos.

## **UM POUCO DE HISTÓRIA**

A origem da resistência dos materiais remonta ao início do século XVII, quando Galileu realizou experimentos para estudar os efeitos da força aplicada sobre hastes e vigas feitas de diferentes materiais. Entretanto, para a compreensão adequada desses efeitos, foi necessário realizar descrições experimentais precisas das propriedades mecânicas dos materiais.

Os métodos utilizados passaram por uma melhoria no início do século XVIII. À época, desenvolveram-se estudos experimentais e teóricos acerca do assunto, sobretudo na França, por cientistas como Saint-Venant, Poisson, Lamé e Navier. Como esses estudos se baseavam em aplicações da mecânica de corpos materiais, foram denominados “mecânica dos materiais” ou, como são chamados atualmente, “resistência dos materiais”.

Com o passar dos anos, depois de os problemas fundamentais da mecânica dos materiais terem sido resolvidos, tornou-se necessário usar técnicas

avançadas da Matemática e da Computação para resolver assuntos mais complexos. Como resultado, esses assuntos expandiram-se para outras áreas da mecânica avançada, como a Teoria da Elasticidade e a Teoria da Plasticidade.

A pesquisa nessas áreas é contínua, não apenas para entender a necessidade de resolver problemas avançados de Engenharia, mas também para justificar a maior utilização e as limitações a que está sujeita a teoria fundamental da mecânica dos materiais.

## **EQUILÍBRIO DE UM CORPO DEFORMÁVEL**

As leis e os princípios sobre os quais está fundamentada a Estática atuam na compreensão de conceitos que, por sua vez, ancoram-se na resistência dos materiais. Diante desse papel que a matéria desempenha, apresentar-se-ão nos próximos tópicos os fundamentos da Estática.

## **FORÇA DE SUPERFÍCIE**

A força de superfície constitui a força que um corpo exerce sobre o outro pelo contato direto. Toda força de contato é distribuída pela área de contato. Não se deve esquecer, porém, que força é uma grandeza vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido. A orientação em que a força é exercida deve ser, portanto, considerada. Se a área sobre a qual a força é aplicada for muito pequena, é preciso fazer aproximações, idealizando-se que toda a força é aplicada em um ponto. Se essa força é exercida ao longo de uma área estreita, é possível idealizá-la com uma distribuição linear da força. Nesse caso, haverá força por unidade de comprimento.

## **FORÇA DE CORPO**

Na Engenharia, trabalha-se com o conceito de força de corpo. Para os físicos, é conhecida como força de campo ou força de ação a distância. Um corpo exerce força no outro sem a necessidade de haver contato físico. Um exemplo, de acordo com a física newtoniana, é a força que a Terra exerce sobre os corpos em sua superfície ou a força que um ímã exerce sobre outro ímã ou materiais

ferromagnéticos. Embora a força de campo seja aplicada em cada átomo que compõe o corpo, para fins didáticos, ela será representada por uma única força sendo exercida no centro de massa desse corpo. Tal força que a Terra exerce no centro de massa do corpo é denominada “peso do corpo”, que também é uma grandeza vetorial.

## REAÇÕES DE APOIO

A terceira lei de Newton afirma que um corpo A exerce uma força em um corpo B, e esse corpo B exerce uma força no corpo A de igual intensidade, mesma direção e sentidos opostos. Porém nunca se equilibram, porque são aplicadas em corpos diferentes. As forças de contato ou de superfície que atuam nos apoios ou pontos de contato por causa da ação de uma força são denominadas “reações de apoio”.

Utiliza-se o diagrama do corpo livre para identificar as reações de apoio, sejam em sistemas bidimensionais, sejam tridimensionais. Na maioria das vezes, as reações de apoio são aplicadas no sentido de impedir translação ou rotação de um corpo.

## EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO

Para um corpo estar em equilíbrio, dois equilíbrios devem ser satisfeitos: o equilíbrio de forças e o equilíbrio de torques. De acordo com HALLIDAY (2016) o equilíbrio está fundamentado na segunda lei de Newton, que diz que a soma vetorial de todas as forças que agem sobre um corpo é igual ao produto da massa pela aceleração vetorial desse corpo. Para o equilíbrio de forças, a aceleração vetorial desse corpo é nula. Então a soma vetorial de todas as forças que agem sobre um determinado corpo é igual a zero.

A segunda lei de Newton é expressa pela equação:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

Tal equação, para um sistema em três dimensões, é representada por três equação ao longo das direções x, y e z.

$$\Sigma F_x = ma_x$$

$$\Sigma F_y = ma_y$$

$$\Sigma F_z = ma_z$$

As acelerações ao longo das direções x, y e z são nulas. Sendo assim, conclui-se que a soma vetorial das forças que são exercidas no centro de massa de um corpo rígido é nula, conforme se apresenta na equação abaixo.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

Qualquer engenheiro projetista, ao elaborar um projeto, deve fazer uma análise para identificar onde todas as forças e todos os torques externos são exercidos em uma estrutura. Se não o fizer, colocará a estrutura em risco. Ademais, deve-se considerar as qualidades dos materiais que serão utilizados para que a estrutura permaneça estável.

A condição de equilíbrio de forças – em que a soma vetorial de todas as forças é nula – está associada ao movimento de translação de um corpo e pode ser escrita em termos da variação do momento linear em relação ao tempo. Dizer que a soma vetorial de todas as forças é igual a zero equivale a afirmar que a variação do momento linear em relação ao tempo é constante. Nesse sentido, a expressão da segunda lei de Newton para o movimento de translação é descrita pela taxa de variação temporal do momento linear.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

O momento linear é, pois, escrito pela expressão:

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

Por meio dessa equação, nota-se que se a aceleração vetorial é nula, portanto, a velocidade não pode variar. Se um corpo está em equilíbrio de translação, o momento linear é constante:

$$\vec{P} = \vec{0}$$

Caso se derive uma constante em relação ao tempo, a taxa do momento linear é nula.

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{0}$$

A segunda condição de equilíbrio que deve ser satisfeita é o equilíbrio de torques. Torque, originado do termo “torção”, ou ato de torcer, é uma grandeza vetorial. Para calcular o torque em razão da força  $\vec{F}$ , é necessário conhecer, além do vetor  $\vec{F}$  (módulo e direção), o ponto P do corpo em que a força age. Posto isso, é conveniente considerar a força como exercida em qualquer ponto da linha de ação. Define-se torque como sendo o produto vetorial entre o braço de alavanca (vetor  $\vec{r}$ ) e a força. A equação vetorial para o torque é expressa por:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Ademais, o módulo do torque é expresso pela equação a seguir, em que o ângulo  $\theta$  é o menor ângulo entre o vetor  $\vec{r}$  e o vetor força  $\vec{F}$ .

$$\tau = rF\text{sen}\theta$$

O equilíbrio de rotação de um corpo está associado à segunda lei de Newton para as rotações. O torque é igual à taxa do momento angular, ou seja, a derivada do momento angular em relação ao tempo é igual ao torque. Já o momento angular é igual ao produto vetorial do raio vetor  $\vec{r}$  pelo momento linear  $\vec{P}$ .

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$$

O módulo do momento angular é expresso pela seguinte equação:

$$L = rmv\text{sen}\theta$$

Nesse caso, o ângulo  $\theta$  é o menor ângulo entre os vetores  $\vec{r}$  e  $\vec{P}$ .

O torque também é igual à taxa da variação temporal do momento angular. Se a soma de todos os torques é igual a zero, logo a taxa do momento angular é nula, conforme descrito nas equações que seguem:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0}$$

$$\Sigma \vec{\tau} = \vec{0}$$

Embora essa condição de equilíbrio seja abstrata, ela é essencial para a construção de qualquer estrutura presente no cotidiano. Quando essa condição não

é satisfeita, o torque que age no corpo em virtude de forças tende a provocar rotações. As estruturas de maneira geral, a exemplo de uma casa, um prédio, uma passarela ou uma ponte, não podem sofrer movimento de translação nem de rotação. Para garantir que isso não ocorra, uma análise cuidadosa das condições de equilíbrio é necessária. Essas condições de equilíbrio devem ser satisfeitas com todo rigor. Caso contrário, a estrutura correrá o risco de ser danificada por forças atuantes.

## TENSÃO E DEFORMAÇÃO

As forças internas que são exercidas em qualquer superfície dentro dos sólidos são denominadas “tensões”. A tensão constitui uma força por unidade de área que é exercida por uma superfície qualquer dentro do material. E se a força empurrar o material de tal forma que seu volume diminua, essa tensão é chamada de “compressão”. Por outro lado, se a força exercida através da superfície for paralela à secção transversal, recebe o nome de tensão de cisalhamento.

Quando um pequeno volume  $\Delta V$  em um corpo está sob tensão, o material dentro do volume fica sob a ação de forças de tensão exercidas através da superfície pelo material que o envolve. Se o material é deformado em razão das tensões, de tal maneira que o volume  $\Delta V$  adquira forma e tamanho diferentes, esse fenômeno recebe o nome de deformação.

A natureza e a extensão da deformação dependem da natureza e do valor das tensões e da composição do material (SYMON, 1996). A deformação está associada a uma mudança da forma do corpo que ocasiona variação de volume. A tração, por sua vez, é uma espécie de deformação relativa ao aumento de dimensões do material, a qual constitui o corpo. Por fim, a deformação é definida como sendo o acréscimo percentual do comprimento do material do corpo em evidência.

Se um corpo de comprimento  $l$  sofrer a ação de uma força  $\vec{F}$  perpendicular à área transversal  $A$ , de tal maneira que ele seja esticado até um comprimento  $l + \Delta l$ , as definições de tensão e deformação são expressas pelas equações:

$$Tensão = \frac{F}{A}$$

$$Deformação = \frac{\Delta l}{l}$$

Quando essas relações são verificadas, de modo experimental, para deformações não muito grandes, a tensão é proporcional à deformação dos materiais sólidos. A deformação é, assim, uma razão adimensional entre a variação do comprimento pelo comprimento. A deformação de um corpo rígido, denominado “corpo de prova”, pode ser medida por meio de um instrumento chamado extensômetro. O extensômetro é colocado no corpo de prova, e esse, ao sofrer deformação por causa das forças externas, tem suas propriedades elétricas alteradas.

A relação de proporcionalidade entre tensão e deformação configura a Lei de Hooke, válida para pequenas deformações. A razão entre a tensão e a deformação é constante para qualquer material, desde que a tensão não seja muito grande.

Para um aumento de apenas uma dimensão em virtude da tensão, a razão entre a tensão e a deformação é chamada de “módulo de Young”, sendo expressa por:

$$Y = \frac{\textit{tensão}}{\textit{deformação}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{Fl}{A\Delta l}$$

$$Y = \frac{Fl}{A\Delta l}$$

Em suma, ao se analisarem os módulos de Young de um material a ser submetido, a princípio, ao ensaio de tração e, depois, ao ensaio de compressão, mesmo que eles sejam quase iguais, o comportamento em relação ao limite de ruptura pode ser diferente. Um exemplo é o concreto. Ele resiste a imensas tensões de compressão, mas não suporta a tensão de tração. Esse é o motivo pelo qual engenheiros são rigorosos em colocarem concreto em locais que sofrerão tensões de compressão. Nos locais onde ocorre a tensão de tração, usam-se barras ou colunas em aço, que resistem a esse tipo de tensão.

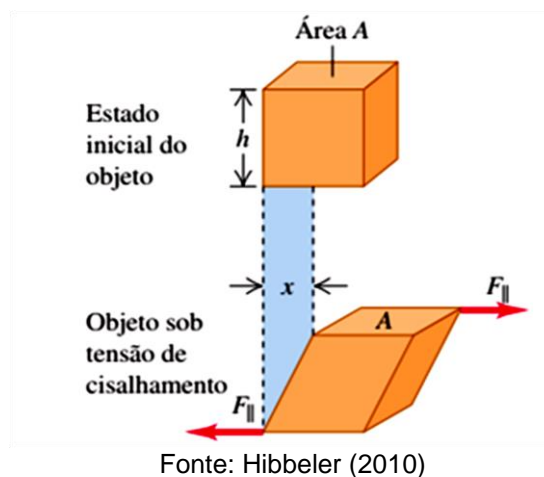
## CISALHAMENTO

No caso de tensão de cisalhamento, a tensão é definida pela equação

$$Tensão = \frac{F}{A}$$

Nessa perspectiva, a intensidade da força  $\vec{F}$  é a força exercida através de e paralela à área  $A$ . Em outras palavras, o vetor força  $\vec{F}$  encontra-se no mesmo plano da área  $A$ , e não na direção perpendicular ao plano da área. A tensão de cisalhamento resultante consiste no movimento da área  $A$  paralelo a outra área  $A$  por uma distância  $\Delta l$ , relativa ao plano paralelo da área  $A$  e situado a uma distância  $\Delta x$  de  $A$ , conforme se percebe na Figura 1.

Figura 1 – Tensão de Cisalhamento



Nesse tipo de situação se as forças aplicadas em sentidos opostos e intensidades, tal qual cause ruptura do material, proporciona um corte no local. A força que gera o corte é uma componente tangencial da força que age sobre a superfície.

Nesse caso, podemos determinar o módulo de elasticidade correspondente  $G$  que é designado módulo de cisalhamento e expresso pela equação

$$\frac{F}{A} = G \frac{\Delta x}{L}$$

Como exemplo, podemos verificar tensões de cisalhamento, quando alguém sofre uma fratura e nas oficinas mecânicas, onde peças tais como eixos, barras axiais e parafusos empenadas são submetidas a forças para que sejam desempenados.

## TENSÃO HIDROSTÁTICA

Se uma substância for submetida a uma força, ocorrerá, de modo proporcional, um acréscimo de pressão  $\Delta p$ . Assim, a deformação resultante será uma variação de volume, a qual se define por

$$Deformação = \frac{\Delta V}{V}$$

Nesse caso, nomeia-se a razão entre a tensão e a deformação de módulo volumétrico  $B$ , e ela é expressa pela equação

$$B = \frac{tensão}{deformação} = - \frac{\Delta p V}{\Delta V}$$

Na equação, o sinal negativo visa tornar a constante  $B$  positiva, uma vez que, na compressão, a variação de volume é negativa e, na expansão, a variação de pressão é negativa.

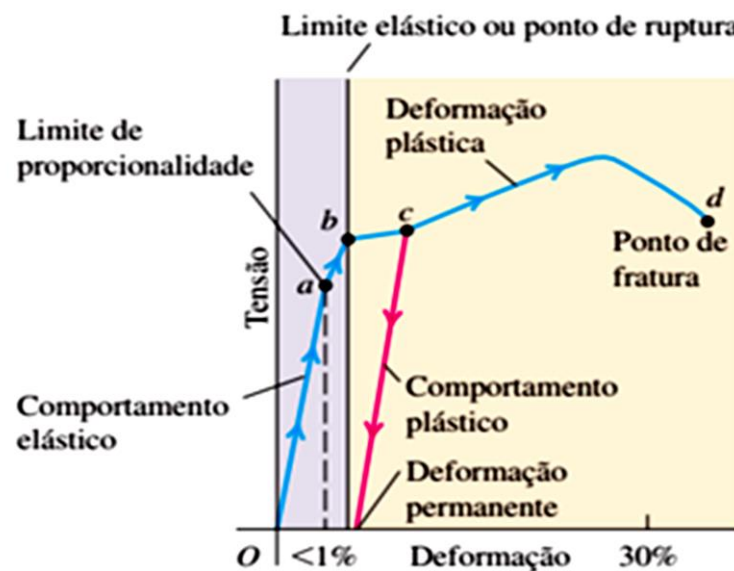
## ELASTICIDADE E PLASTICIDADE – COMPORTAMENTO ELÁSTICO

A lei de Hooke estabelece uma proporcionalidade entre a tensão e a deformação. No entanto sua validade é restrita dentro de um certo limite.

Quando se analisa um gráfico tensão versus deformação com amparo na lei de Hooke, observa-se que ele obedece a uma função de primeiro grau, isto é, o gráfico é uma reta com uma certa inclinação. Nesse sentido, a tangente do ângulo dessa inclinação é igual ao módulo de Young. A deformação, em contrapartida, corresponde à porcentagem de aumento do comprimento do corpo de prova.

Para entender melhor esse limite de validade, considere-se o gráfico tensão em função da deformação da figura 2 construído acerca de um metal como o cobre ou o ferro doce. O esquema foi dividido em trechos de “O” a “d”. O trecho de “O” a “a” corresponde ao regime elástico para o qual a lei de Hooke é válida. Nesse cenário, a tensão no ponto é denominada “limite de proporcionalidade”. No trecho de “a” a “b”, não há um regime de proporcionalidade, portanto a lei de Hooke não é obedecida.

Figura -2 - Diagrama típico de tensão versus deformação para um metal dúctil submetido à tensão



Fonte: Diagrama típico de tensão versus deformação para um metal dúctil submetido à tensão HIBBELER (2010)

Se a força à qual o material está submetido for retirada, ele volta ao seu estado inicial. Isso porque se a curva for traçada de “b” a “O” corresponde à mesma curva que foi traçada de “O” a “b”. Desse modo, a deformação do material é reversível.

Estabelecendo-se um paralelo com o princípio da conservação da energia, diz-se que as forças aplicadas são conservativas. A energia que é utilizada para promover a deformação é recuperada quando a força exercida é retirada. O limite elástico corresponde ao ponto “b”. A partir desse ponto, uma vez aumentada a intensidade da força aplicada, o corpo de prova não retorna ao comprimento inicial. Nesse sentido, o corpo de prova sofreu – a partir desse ponto – uma deformação irreversível.

Caso se amplie a intensidade da força a partir do ponto “c”, produz-se um aumento da deformação para um acréscimo relativamente pequeno da tensão. Essa fase é conhecida como escoamento até atingir o ponto “d”, que se refere à fratura do corpo de prova. Já o intervalo entre “b” e “d” corresponde ao comportamento plástico do material ou à deformação plástica. Esse processo é irreversível. Sendo assim, o material em hipótese alguma retorna a seu estado inicial.

## **ESCOAMENTO**

O conceito de escoamento está associado à fase em que o material, ao sofrer um aumento de tensão acima do limite de elasticidade, entra em colapso, não retornando mais ao seu comprimento original, ocorrendo, assim, uma deformação permanente. Esse comportamento foi demonstrado no gráfico da figura 2 pela região que vai do ponto “c” ao ponto “d”. A tensão, nesse caso, é denominada “tensão de escoamento”, e a deformação, “deformação plástica”. Após atingir o ponto em que começa o escoamento, não é preciso aumentar a tensão. O aumento de comprimento continuará até que atinja um limite máximo.

Quando o escoamento termina, nota-se no corpo de prova uma diminuição da área transversal. Essa fase corresponde ao endurecimento por deformação. No limite da resistência, à medida que o corpo se alonga, há uma região específica que continuará a diminuir sua área transversal com aplicação da tensão. Essa fase é conhecida como “estricção”. Depois dessa etapa, o corpo de prova atinge a tensão de ruptura, e acontece a falha ou a quebra do corpo.

## **MATERIAIS DÚCTEIS**

Os materiais os quais apresentam deformação entre o limite de elasticidade e o ponto de ruptura são chamados de materiais dúcteis. Esses materiais são submetidos a grandes deformações antes de sofrerem a ruptura. Tais materiais são utilizados em grandes projetos, por sua capacidade de absorverem impactos ou energia antes de sofrerem a ruptura.

Em determinados materiais, como a borracha, a tensão não é proporcional à deformação. Contudo se trata de um material elástico. Ela é um polímero que exhibe

um comportamento não linear. Ao ser submetida a tensões, o seu comprimento pode aumentar um certo comprimento relativo ao seu tamanho inicial e, ainda assim, ela permanece com um comportamento elástico. Por outro lado, há materiais que retornam ao seu estado inicial, porém com uma curva diferente. Esse fato é denominado “histerese elástica”. O trabalho realizado para esticar o material é maior do que aquele para retornar ao estado inicial. Isso se deve a forças não conservativas relacionadas ao atrito no interior do material.

Por outro lado, a madeira é um tipo de material que se destaca por seus atributos considerados moderadamente dúcteis. A resistência da madeira varia de espécie para espécie e depende de fatores como: grã (orientação das fibras), idade, tamanho, onde é cortada e teor de umidade à qual é submetida. A madeira é um material fibroso, o que influencia suas características de tração e compressão. Isso se deve ao fato de a orientação das fibras da madeira interferir no tipo de forças – paralelas ou perpendiculares – que serão exercidas.

## **MATERIAIS FRÁGEIS**

Materiais que quebram logo após o término do regime elástico recebem o nome de “materiais frágeis ou quebradiços”. O escoamento que exibem ao serem tensionados é pequeno. Nesse sentido, a tensão de ruptura nesses materiais não é bem definida. Fala-se, então, em tensão de ruptura média (Hibbeler, 2010).

Por meio de ensaio de materiais, verifica-se que esse tipo de elemento apresenta uma resistência alta quando submetido à compressão, algo que não acontece em um ensaio de tração. A mistura – água, areia, brita e cimento –, conhecida como concreto, é um exemplo clássico de um material frágil. O concreto é reforçado com hastes de aço para suportar forças de tração.

## **TRELIÇAS**

A maioria dos corpos estudados trata-se de um único corpo rígido, e a força que atua nesse corpo é a força peso ou de contato. Em geral, ambas atuam no centro de massa ou centro de gravidade desse corpo. Desde o ensino básico, estudam-se blocos individuais ou interligados por meio de fios sem massa, movendo-se em um plano horizontal ou inclinado. Há no cotidiano, do mesmo modo,

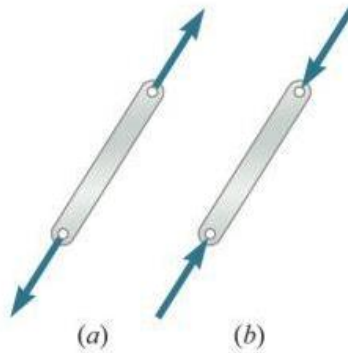
um tipo de estrutura utilizada com frequência no ramo das engenharias e que depende de conceitos da Física: a treliça.

A treliça é um dos principais tipos de estruturas da Engenharia que oferece, ao mesmo tempo, uma solução prática e econômica a muitas situações da área, sobretudo no projeto de pontes e edifícios (BEER *et al.*, 2013). As treliças são projetadas para suportar a ação de forças externas por meio de elementos retilíneos e conectados apenas em suas extremidades, em juntas conhecidas como nó. Ademais, elas são projetadas para aguentarem as forças que agem ao longo de um plano. Por esse motivo, são tratadas como estruturas bidimensionais. Essas treliças são denominadas “treliças planas”.

Em geral, os elementos de uma treliça são esbeltos e podem suportar pequena carga lateral; todas as cargas. Portanto, devem ser aplicadas às várias juntas e não aos elementos propriamente ditos. Quando uma carga concentrada é aplicada entre dois nós ou quando uma carga distribuída é suportada pela treliça, como no caso de uma treliça de ponte, é preciso prever um sistema de pavimentação, que, por meio de longarinas e vigas transversais, transmite a carga aos nós (BEER *et al.*, 2013, p. 231).

Os elementos que compõem uma treliça estão sujeitos a duas forças. Estas atuam na mesma linha de ação, possuem o mesmo módulo e sentidos contrários. Essas forças atuam em outros elementos e estão de acordo com a terceira lei de Newton. Nela se estabelece que o par de ação e reação são forças que atuam em corpos diferentes, ou seja, que mantêm contato, possuem a mesma direção e sentidos opostos na mesma linha de ação. Cada elemento pode, então, ser tratado como um componente sob a ação de duas forças, e a treliça toda pode ser considerada um grupo de pinos e elementos com duas forças (BEER *et al.*, 2013). Posto isso, as forças que agem nos elementos, ilustrada na Figura 3, tendem a tracionar o elemento, como mostrado em (a), ou a comprimi-lo, conforme exemplificado em (b).

Figura -3 – Forças de tração e compressão



Fonte: Beer *et al.* (2013, p. 232).

Esses elementos estão sujeitos à ação de duas forças. Além disso, para estarem em equilíbrio, as forças devem ter a mesma intensidade, serem aplicadas na mesma direção e possuírem sentidos opostos, satisfazendo, assim, o equilíbrio de forças, o qual afirma que a soma vetorial de todas as forças é igual a zero. Nessas situações, como a ilustrada na Figura 3.3, os pesos dos elementos são desprezados para facilitar a resolução de problemas.

A equação para o equilíbrio de torques, sob esse enfoque, é satisfeita uma vez que essas forças estão aplicadas nos elementos de tal maneira que não fazem os elementos rotacionarem. Isso tudo graças à linha de aplicação das forças até um dos pontos de apoio ser igual a zero. Então a soma vetorial de todos os torques em razão das forças é nula.

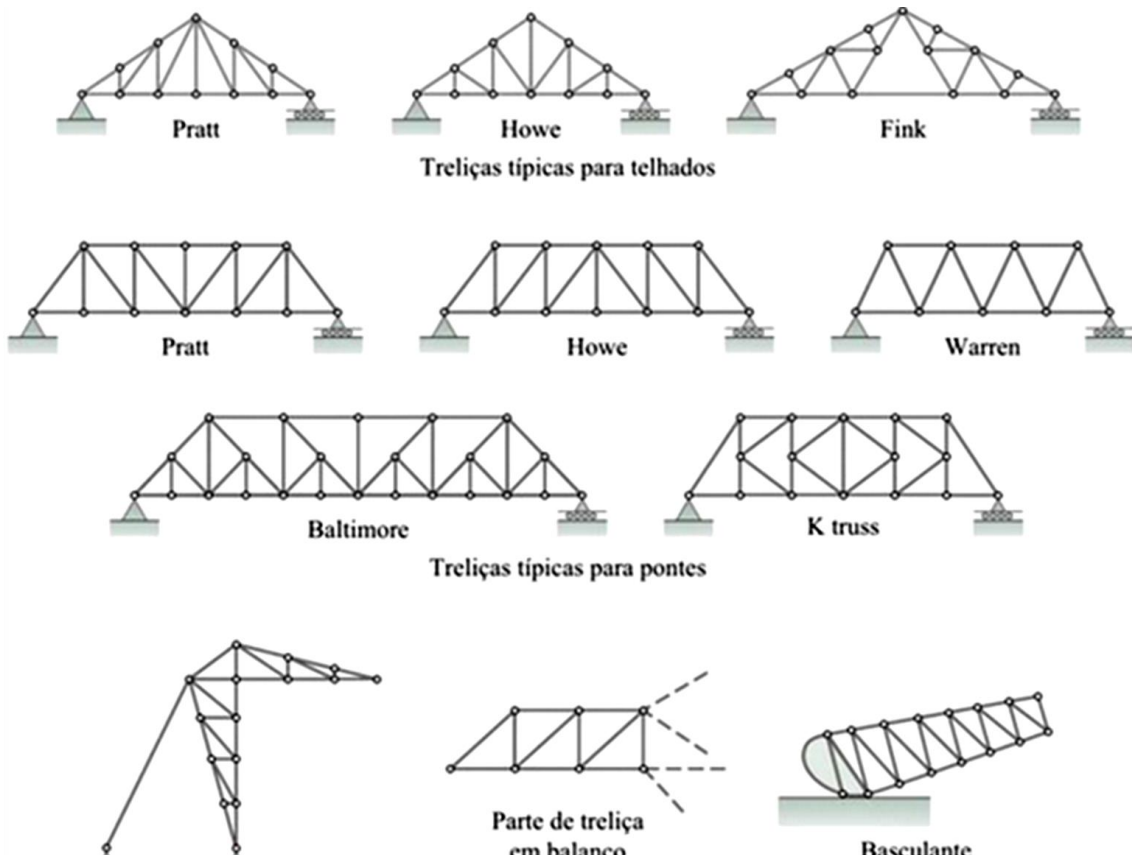
## TRELIÇAS SIMPLES

As treliças simples são estruturas construídas por elementos de duas forças indeformáveis, conectados entre si pelos nós, os quais formam unidades triangulares dispostas em um mesmo plano. Entende-se “indeformável” por rígido, pois as deformações que acontecem são desprezíveis. Tais componentes podem sofrer ação de forças de compressão ou tração.

Convém mencionar que o termo “rígido” indica que a treliça não entrará em colapso (BEER *et al.*, 2013, p. 233). Em uma treliça, pode haver mais elementos do que o necessário para evitar o colapso. Nesse caso, tem-se uma treliça

indeterminada, a qual não pode ser analisada apenas com as equações de equilíbrio (MERIAM, 2013). Na Figura 4, é possível observar alguns tipos de treliças.

Figura -4 – Os tipos de treliças mais comuns



Fonte: Beer *et al.* (2013, p. 232).

O fato de as treliças serem formadas, em sua grande maioria, de triângulos, não significa que configuram uma treliça simples (BEER *et al.*, 2013, p. 232). Nesse sentido, destacam-se, como exemplos de treliças que não são simples, as treliças do tipo Fink e Baltimore, conforme ilustradas na Figura 4.

Na análise de treliças simples, utiliza-se com frequência o método dos nós. Nele emprega-se o diagrama do corpo livre para a treliça, em que as forças externas são aplicadas aos nós. Quando há um corpo rígido, deve-se considerar a força externa aplicada ao centro de massa ou centro de gravidade. Essa metodologia consiste em replicar as condições de equilíbrio em cada nó da treliça. Portanto, para a análise das forças atuantes na treliça, é mais simples iniciar pelo nó em que há ao menos uma força conhecida.

Para facilitar a aplicação do método dos nós é aconselhável que se comece em um nó cuja intensidade da força é conhecida e, no máximo duas forças de intensidades desconhecidas. Em seguida fazer o uso das equações de equilíbrio a seguir.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

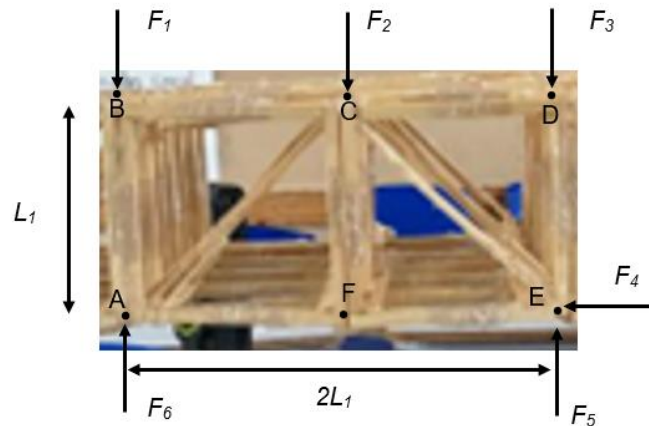
$$\sum \tau = 0$$

De tal forma que produza as equações algébricas que contenha as incógnitas a serem determinadas. Por meio da aplicação dessas duas equações de forma correta, o sentido correto das forças será conhecido. A partir de uma observação cuidadosa do diagrama do corpo livre, a direção e o sentido da força podem ser determinados. Nos casos complexos, pode-se inferir uma direção e um sentido de uma incógnita. Assim que determinar a intensidade de uma força bem como a sua direção e sentido, basta utilizar esses dados para os nós subsequentes.

Seguindo uma convenção de sinais, adota-se sinal positivo para as forças que estão tracionando e sinal negativo para as forças de compressão. Para os torques adota-se, torque positivo se a força faz com que a barra gire no sentido anti-horário e torque negativo se a força faz a barra girar no sentido horário, as forças

que chegam ao nó são forças de compressão e as forças opostas a estas são forças de tração.

Figura -5 Diagrama do corpo livre



Fonte: arquivo do autor

Aplicando as equações para determinar as reações de apoio, temos que:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_4 = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$+ F_6 + F_5 - F_1 - F_2 - F_3 = 0$$

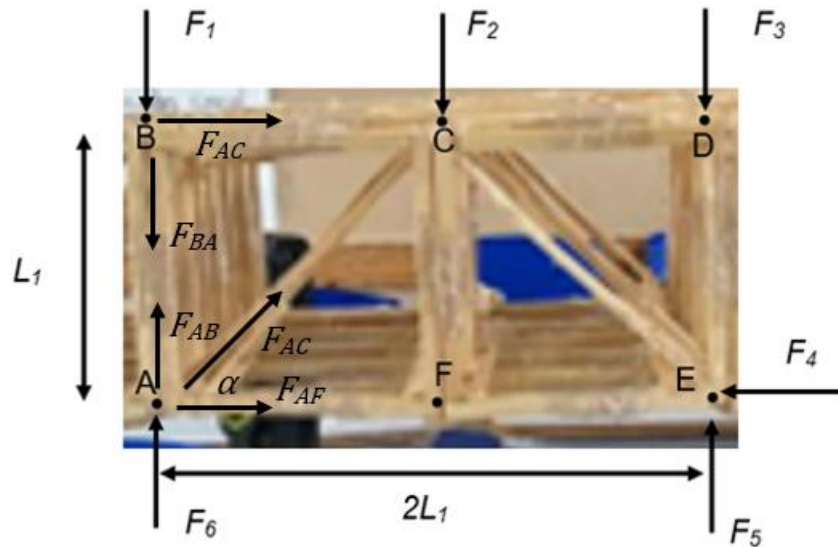
Tomando o nó A como referência temos que:

$$\sum \tau = 0$$

$$+ 2F_5L_2 - 2L_2F_3 - L_2F_3 = 0$$

O método dos nós é aplicado para as forças que atuam nas direções vertical e horizontal. E, nesse caso, não se aplica o equilíbrio de torques. Para aplicar o método dos nós, consideramos que em um nó da barra, quando tracionada, as forças atuam no sentido de “saindo do nó” e se a força for de compressão, consideramos as forças no sentido de “entrando no nó”. A partir de diagrama do corpo livre da figura a seguir podemos escrever as equações em relação ao eixo x e em relação ao eixo y para cada nó subsequente.

Figura 6 - Diagrama do corpo livre



Fonte: arquivo do autor

Para o nó A temos as seguintes equações.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ -F_1 - F_{AB} &= 0 \\ \sum F_x &= 0 \\ +F_{AC} &= 0 \end{aligned}$$

Para o nó B temos as seguintes equações.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ +F_6 + F_{AB} + F_{AC} \operatorname{sen} \alpha &= 0 \end{aligned}$$

As equações para os nós subsequentes são descritas da mesma forma. De acordo com Beer (2013) “o fato de a treliça inteira ser um corpo rígido em equilíbrio pode ser usado para escrever três equações adicionais que envolvam as forças indicadas no diagrama de corpo livre”.

## **DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO**

Os conteúdos abordados durante o desenvolvimento da proposta do projeto foram: vetores em duas e três dimensões, diagrama de corpo livre, centro de gravidade, centro de massa, momento linear, momento de uma força (torque), momento angular, equilíbrio de forças, equilíbrio de torques, Lei de Hooke, elasticidade, módulo de elasticidade, tração e compressão, cisalhamento, tensão hidrostática e treliças.

O desenvolvimento do projeto é composto por atividades que são desenvolvidas no ambiente escolar, em forma de sequência didática. No início do projeto, foi aplicado um questionário como o objetivo de verificar os conhecimentos prévios dos estudantes.

### **ATIVIDADE 1: EQUILÍBRIO DE CORPOS EXTENSOS**

**CONTEÚDO:** Centro de massa e a relação entre força e distância

**Objetivos:** Apresentar aos estudantes uma situação prática que evidencie um ponto no qual é possível estabelecer o equilíbrio estático de corpos reais do cotidiano.

#### **RECURSOS MATERIAIS**

- Haste cilíndrica de ferro de 100 cm
- Duas porcas sextavada e duas arruelas simples
- Um pedaço de tábua quadrado (20cm x 20cm)
- Seis pedaços de tábuas de madeira retangulares ou quadrados
- Haste retangular de alumínio de 100 cm
- Seis cubos de madeira ou similar
- Balança
- Projetor
- Computador
- Furadeira

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O aparato experimental para o equilíbrio das tábuas e da gangorra podem compartilhar a mesma base como mostra as figuras a seguir, caso não tenha um suporte que se utilizada em laboratório de física.

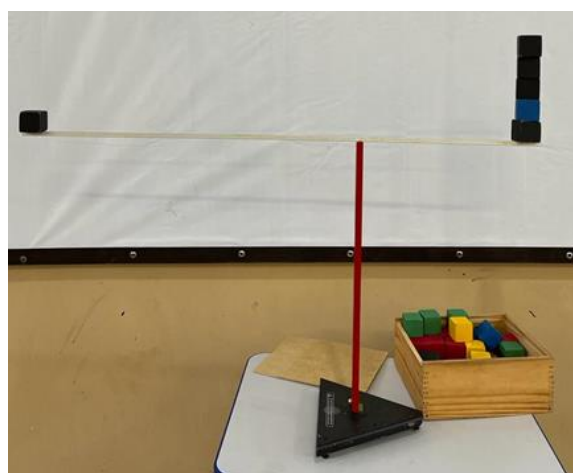
A montagem da base de madeira, corta-se a tábua em forma de quadrado e em seguida faz-se um furo no meio com a furadeira e fixa a barra rosqueada com as duas porcas com as duas arruelas.

*Figura 7 Equilíbrio de pedaços de madeira*



*Fonte: arquivo do autor*

*Figura 8 Equilíbrio de blocos em uma haste tipo gangorra*



*Fonte: arquivo do autor*

Questões para discussões.

1. Discussões sobre os conceitos de centro de massa e a relação entre força e distância.
2. Expor e dialogar com os estudantes sobre os conceitos de centro de massa e centro de gravidade aplicados aos corpos extensos.
3. Revisar os conceitos sobre de centro de massa aplicados aos objetos do cotidiano.

ATIVIDADE 2: TENSÃO ou tração nos cabos

CONTEÚDO: tensão, cisalhamento e escoamento

OBJETIVO: entender os conceitos de tensão, tração escoamento e cisalhamento.

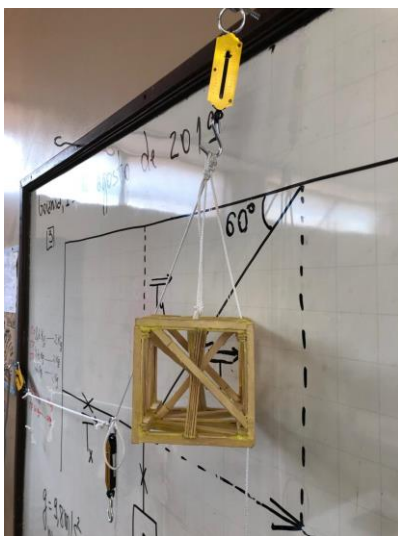
## RECURSOS MATERIAIS

- Três balanças de molas
- Cabos
- Pregos ou parafusos
- Martelo ou furadeira
- Objeto massivo
- Projetor
- Computador

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

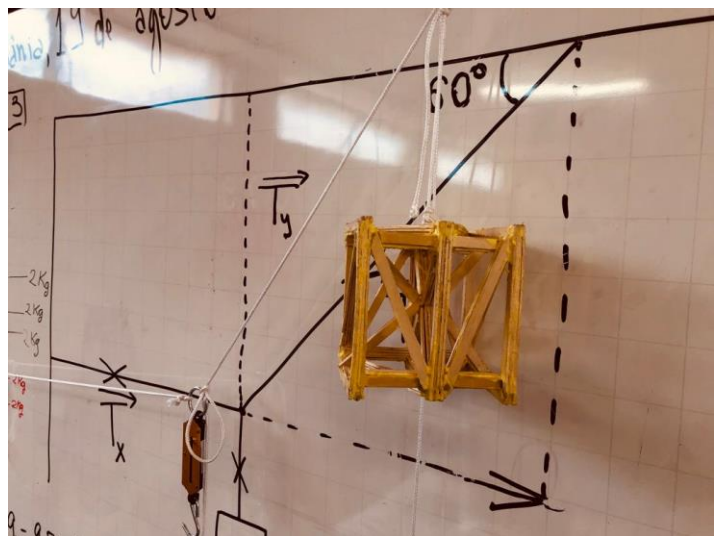
Para a montagem do aparato experimental, foi fixado parafusos ao longo do quadro, na parte superior e lateral, de tal forma que é possível variar o ângulo dos cabos em relação a uma linha de visada na horizontal e na vertical. À medida que é colocado objetos com determinada massa na balança que fica entre as duas balanças que ficam nas extremidades é possível verificar que a medida que varia o ângulo a tração nos cabos sofre um variação de intensidade.

*Figura 9 Cabos tensionados*



*Fonte: arquivo do autor*

*Figura 10 Cabos tensionados e balança com mola na vertical*



*Fonte: arquivo do autor*

Questões para discussões.

1. Discussões sobre os conceitos de tensão e cisalhamento no cotidiano.
2. Expor e dialogar com os estudantes os conceitos de tensão e cisalhamento e suas implicações em fenômenos recorrentes do cotidiano.
3. Revisar os conceitos sobre de tensão e cisalhamento e suas implicações com o centro de massa de um corpo.

### ATIVIDADE 3: CONSTRUÇÃO DE UM CUBO EM PALITOS DE PICOLÉ

CONTEÚDO: geometria dos objetos no cotidiano e centro de massa.

OBJETIVO: Discutir a importância de como a distribuição de massa dos objetos influencia na sustentação de estruturas físicas.

#### RECURSOS MATERIAIS

- Palitos de picolé
- Fita adesiva
- Cola quente
- Pistola para cola quente
- Alicates
- Projetor

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

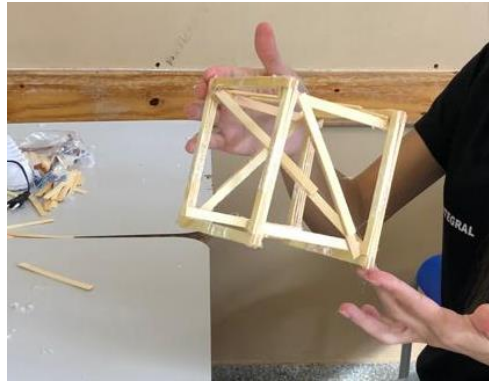
Para uma montagem, mais rápida do cubo, primeiro cola-se os palitos com cola quente de tal forma que tenhamos dois quadrados e em seguida cola-se palitos aos dois quadrados formando-se um sólido de forma cúbica. A seguir corta-se os palitos para produzir uma coluna de palitos passando pelo centro do cubo formando uma diagonal entre os vértices do cubo como mostram as figuras a seguir.

Figura 11 Construção de quadrados



Fonte: arquivo do autor

Figura 12 Protótipo de um cubo



Fonte: arquivo do autor

Figura 13 Protótipo de cubo



Fonte: arquivo do autor

Questões para discussões.

1. Discussão sobre a importância da distribuição de massa dos corpos na sustentação de estruturas físicas no cotidiano.
2. Expor e dialogar com os estudantes sobre as formas como os objetos no cotidiano são construídos.
3. Quais são os tipos de alavancas utilizadas no cotidiano? Qual é o conceito da física que torna uma alavanca especial?

#### ATIVIDADE 4: CONSTRUÇÃO DE VIGAS EM PALITOS DE PICOLÉ

CONTEÚDO: momento de inércia

OBJETIVO: entender que a distribuição de massa de um corpo em torno de um eixo de rotação influencia no momento de inércia.

#### RECURSOS MATERIAIS

- Palitos de picolé
- Cola de madeira
- Suporte de alumínio para alinhar a viga de palitos

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No suporte de alumínio em forma de “U” são colocados os palitos de picolé de tal forma que eles fiquem entrelaçados uns aos outros, ou seja, um palito é colado até a metade do próximo e assim sucessivamente, para que seja estabelecido uma viga mais “rígida”.

*Figura 14 Construção de vigas de palitos de picolé*



*Fonte: arquivo do autor*

*Figura 15 Vigas em palitos de picolé*



*Fonte: arquivo do autor*

Questões para discussões.

1. Por que as vigas de sustentação das nossas residências são coladas da maneira que vemos no cotidiano? Há um motivo especial ou pode ser colocada que qualquer jeito?
2. Qual é a importância do centro de massa dos corpos extensos na construção de uma estrutura qualquer?

## ATIVIDADE 5: CONSTRUÇÃO DE UM PIRÂMIDE QUADRANGULAR

CONTEÚDO: geometria dos corpos

OBJETIVO: Discutir a importância da forma que os objetos se comportam para sustentação de estruturas.

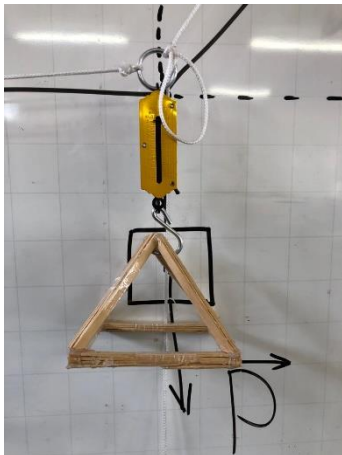
## RECURSOS MATERIAIS

- Palitos de picolé,
- Fita adesiva,
- Cola quente
- Projetor
- Computador

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a montagem das pirâmides o procedimento é similar ao da montagem das estruturas cúbicas. Em primeiro lugar constroem-se um quadrado em seguida corta-se os palitos nas pontas, de tal forma que os palitos formem uma estrutura em forma de pirâmide com mostra a figura a seguir.

*Figura 16 Protótipo de pirâmide*



*Fonte: arquivo do autor*

*Figura 17 Protótipos de pirâmides*



*Fonte: arquivo do autor*

Questões para discussões.

1. Por que forma que os objetos são construídos influenciam na sustentação de “cargas” (peso)?
2. Quais são as relações matemáticas importantes que podemos utilizar para determinar as dimensões dos lados da pirâmide?

## ATIVIDADE 6: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM BANCO DE ASSENTO

CONTEÚDO: Centro de massa, tensão e equilíbrio dos corpos.

OBJETIVO: Discutir a importância do equilíbrio dos corpos no cotidiano.

### RECURSOS MATERIAIS

- Palitos de picolé
- Alicates
- Fita adesiva
- Cola quente
- Cola de madeira
- Fita métrica
- Projetor
- Computador

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A produção do protótipo de um banco de palito de picolé em forma de “U” é realizada com auxílio fita adesiva, em um primeiro momento, para tornar a produção mais fácil e depois faz-se o uso de cola de madeira. Os palitos são colados uns aos outros de forma a formar uma estrutura parecida com um banco de sentar-se, com mostra a figura abaixo.

*Figura 18 Protótipo de um banco de sentar*



*Fonte: arquivo do autor*

## ATIVIDADE 7: TENSIONANDO ESTRUTURAS EM PALITOS DE PICOLÉ

CONTEÚDO: tensão e cisalhamento

OBJETIVO: entender os conceitos de tensão e cisalhamento devido a aplicação de forças.

RECURSOS: palitos de picolé, balança digital, suporte cilíndrico de aço e projetor.

Figura 17 Ensaio de flexão



Fonte: arquivo do autor

Figura 18 Ensaio de flexão



Fonte: arquivo do autor

Figura 19 Ensaio de flexão



Fonte: arquivo do autor

## ATIVIDADE 8: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM BANCO TRELIÇADO

CONTEÚDO: treliça

OBJETIVO: Discutir a importância das treliças nas construções de estruturas.

RECURSOS MATERIAIS

- Palitos de picolé
- Alicates
- Cita adesiva
- Cola quente
- Cola de madeira
- Fita métrica
- Projetor
- Computador

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após a confecção do protótipo menor é construído um protótipo de banco de palito de picolé, de forma mais complexa, usando as estruturas dos cubos, das pirâmides e das vigas em palitos de picolé. A seguir é mostrado, por meio de figuras, a sequência da montagem do banco de palitos de picolé.

Figura 19 Construção de quadrados para o protótipo do banco treliçado



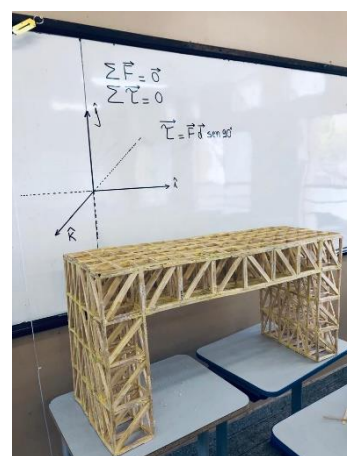
Fonte: arquivo do autor

Figura 20 Construção do protótipo



Fonte: arquivo do autor

Figura 21 Protótipo de banco treliçado



Fonte: arquivo do autor

## ATIVIDADE 9: DEMOSTRAÇÃO DA PRENSA HIDRÁULICA

CONTEÚDO: pressão e tensão

OBJETIVO: entender o processo de ensaios mecânicos em materiais.

RECURSOS MATERIAIS

- Prensa hidráulica
- Objetos construídos em palitos de picolé
- Projetor

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os objetos que foram produzidos em sala de aula, tais como o cubo, a pirâmide, a viga de palitos de picolé, são colocados na prensa hidráulica para os estudantes verificarem o que acontece com os objetos ao sofrerem a ação de forças.

Figura 22 Autor do trabalho mostrando prensa hidráulica



Fonte: arquivo do autor

Figura 23 Autor do trabalho mostrando o ensaio de flexão



Fonte: arquivo do autor

## ATIVIDADE 10: CONSTRUÇÃO DO BANCO DE CONCRETO ARMADO

CONTEÚDO: tipos de alavancas, torque, equilíbrio, tensão e cisalhamento.

OBJETIVO: entender os conceitos fundamentais da mecânica dos materiais.

### RECURSOS MATERIAIS

Areia, cimento, barra de aço, tabua em madeira, pregos, ferramenta de corte, ferramenta para furar, matérias de proteção individual (EPI) e projetor.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a construção do banco de concreto armado, devido a sua complexidade, é melhor que se faça a elaboração de um projeto específico, conforme sugere as boas práticas de elaboração de projetos.

Figura 24 Forma para construção do banco



Fonte: arquivo do autor

Figura 25 Forma para construção do banco



Fonte: arquivo do autor

Figura 26 Estrutura em aço para o banco de concreto



Fonte: arquivo do autor

Figura 27 Forma e estrutura em aço



Fonte: arquivo do autor

Figura 28 Banco de concreto em estado de cura



Fonte: arquivo do autor

Figura 29 Banco de concreto armado construído



Fonte: arquivo do autor

## CONSIDERAÇÕES

As atividades propostas nesse produto educacional têm como objetivo engajar e motivar a participação de forma ativa em sala de aula, desenvolvendo uma postura crítica frente aos dilemas reais enfrentados no cotidiano. A ideia de estudar conceitos de Física a partir da construção de protótipos de coisas que temos no cotidiano é um desafio que pode proporcionar uma interação entre os estudantes que viabiliza um trabalho de forma colaborativa.

A proposta desse trabalho deixou como produto para escola um banco de concreto armado, ou melhor, depois do primeiro banco foram construídos mais três bancos de concreto armado, totalizando quatro bancos de concreto armado. Os estudantes pensaram em construir espaços que pudessem melhorar o ambiente escolar. A atitude dos estudantes em melhorar o ambiente para o bem de todos é uma atitude que deve ser estimulada nos ambientes escolares por meio de práticas que desenvolvam nos estudantes uma postura de um cidadão que saiba pensar de forma multidisciplinar.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. – Brasília: Ministério da Educação, 1999.

Fukui, A.; Nani, A. P. S.; Molina, M, M.; Oliveira, V. S.; **Ser Protagonista, 1º ano: ensino médio**. 3 ed. São Paulo, Edições SM, 2016.

GERE, J. M.; GOODNO, B. J. Mecânica dos Materiais. CIDADE: Editora Gengage Learning, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2.

HIBBELER, R. C. **Estática: mecânica para engenharia**. 12. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2011.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7ª Ed., São Paulo: Pearson, 2010.