



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

**ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM ATIVIDADES  
EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**

Araranguá. SC

2021

Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

**ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM ATIVIDADES  
EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física- Universidade Federal de Santa Catarina- Campus Araranguá - Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Girardi.

Araranguá. SC

2021

Scussel, Maria saionara accordi dos santos  
Abordagem de sistemas granulares com ênfase em  
atividades experimentais nas aulas de física no ensino  
médio. / Maria saionara accordi dos santos Scussel ;  
orientador, Mauricio Girardi , 2021 .  
117 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de  
Pós-Graduação em Ensino de Física, Araranguá, 2021 .

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Sistemas Granulares . 3.  
Atividades Experimentais. 4. Mecânica . I. Girardi ,  
Mauricio . II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

**ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM ATIVIDADES  
EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Bernardo Walmott Borges  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Marcio Santos  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Leandro Batirolla Krott  
Instituto Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Dr. Mauricio Girardi  
Orientador

Araranguá, SC. 2021

Dedico esta dissertação a todos que não nunca desistiram dos seus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças e pelo dom da vida.

A minha primeira professora e amada mãe, Claudia Accordi dos Santos, pelo incentivo a buscar sempre conhecimento e nunca desistir da profissão de professora.

Ao meu amado esposo, Jailson Scussel, pela compreensão, companheirismo, carinho, respeito e incansável incentivo, dando suporte em tudo que precisava.

Ao meu filho, Luiz Otavio dos Santos, pela ajuda na aquisição de alguns materiais para os experimentos, durante as aulas do mestrado.

A toda a minha família, em especial ao meu pai, in memoriam, Alvaci dos Santos, que sempre incentivou seus filhos a aperfeiçoarem seus conhecimentos.

Ao meu orientador professor Dr. Mauricio Girardi, pela orientação e sugestões durante o planejamento e implementação do projeto.

A Coordenação do Mestrado Profissional em Ensino de Física de Araranguá, na disponibilidade de sanar todas as informações pertinentes a conclusão do presente trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo incentivo financeiro.

Aos colegas de curso pelos momentos de aprendizagem e descontração.

A direção da Escola de Ensino Básico Abílio César Borges que proporcionou a aplicação do projeto.

Enfim, a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão desse sonho.

Um muito obrigado.

## RESUMO

Este trabalho descreve a construção e aplicação de roteiros de experimentação contrastando o comportamento de sistemas granulares com os sistemas físicos típicos que abordam conceitos relacionados à Mecânica. Eles foram aplicados a uma turma do terceiro ano do ensino médio, com o objetivo de desenvolver um produto educacional na forma de uma sequência didática e apresentar um relato de sua aplicação para estudantes que estão concluindo essa etapa da educação básica. Priorizou-se a consolidação da interdisciplinaridade, ampliando a possibilidade de o aluno ingressar no ENEM ou em qualquer outro exame de vestibular. Procurou-se trazer o conhecimento físico para a realidade do aluno de uma forma diferenciada, apresentando os conteúdos com uma abordagem diferente do que se tem normalmente na escola. Desenvolveu-se uma sequência didática na qual esteve presente a contextualização, as atividades experimentais, as mídias tecnológicas, os diálogos entre professor-aluno, aluno-aluno e aluno-professor. A fundamentação teórica para o desenvolvimento da proposta é a Teoria sócio-cultural de Vygotsky, pois esta traz orientações importantes para a otimização do processo de ensino e aprendizagem a partir do uso de atividades experimentais em sala de aula. Além disso, é uma teoria que enfatiza a importância do desenvolvimento do homem por possibilitar possíveis contribuições para o processo interativo na aprendizagem escolar. O trabalho foi desenvolvido na Escola de Educação Básica Abílio César Borges no município de Nova Veneza, com uma turma do 3º ano do Ensino Médio Inovador, no período vespertino, composta por doze educandos devido às regras de distanciamento social descritas no Plano de Contingência da COVID-19 da Secretaria de Educação de Santa Catarina. Durante a realização dos experimentos, alguns resultados experimentais das grandezas físicas puderam ser comparados com os resultados obtidos no software utilizado, ratificando a abordagem experimental e tornando significativo a utilização das Leis de Newton.

**Palavras-chave:** Ensino de física. Sistemas granulares. Mediação.

## ABSTRACT

This research describes the construction and application of pedagogical experimentation scripts, contrasting the behavior of granular systems with typical physical systems that bring concepts related to Mechanics, applied to high school seniors. The goal was to develop an educational product as a didactic sequence and present a report of its application for students who are finishing high school. The consolidation of interdisciplinarity was prioritized and the possibility for the student to achieve good scores on the Enem or any other entrance exam. We tried to bring the knowledge of Physics to the student's reality in a different way, presenting the contents with a different approach than it is normally used at school. Thus, a didactic sequence was developed from contextualization, experimental activities, technological media, dialogues between teacher-student, student-student and student-teacher. The theoretical foundation for the development of the research is Vygotsky's socio-cultural theory, as it provides important guidelines for optimizing the teaching and learning process through the use of experimental activities in the classroom. As it is a theory that emphasizes the importance of human development, it can be said that it enables possible contributions to the interactive process in school learning. The research was carried out at Escola de Educação Básica Abílio César Borges, in Nova Veneza, with a group of 12 innovative high school, in the afternoon, due to the rules of social distancing described in the COVID-19 Contingency Plan of Secretaria de Educação de Santa Catarina. During the experiments, some experimental results of the physical quantities could be compared with the results obtained in the software used, confirming the experimental approach and making the use of Newton's Laws significant.

**Keywords:** Physics teaching. Granular systems. Mediation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração da Zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky.....	23
Figura 2 - Ilustração das forças de ação e reação .....	29
Figura 3 - Observação das forças de atrito e força normal .....	30
Figura 4 - Observação da força de atrito .....	30
Figura 5 - Diagrama de forças .....	32
Figura 6 - Movimento de translação do centro de massa mais o movimento de rotação .....	34
Figura 7 - Representação da regra da mão direita .....	35
Figura 8 - Representação do torque em um disco movimentado no sentido anti-horário .....	37
Figura 9 - Imagem do semicilindro preenchido utilizado nos experimentos .....	38
Figura 10 - Diagrama de forças de um cilindro rolando sem deslizamento .....	39
Figura 11 - Pêndulo simples .....	44
Figura 12 - Forças atuantes no cilindro semipreenchido com grãos no plano inclinado.....	40
Figura 13 - Representação das forças atuantes no cilindro com grãos e no cilindro com cera	41
Figura 14 - Representação do vetor torque com cilindro oscilante. ....	41
Figura 15 - Representação do vetor torque com cilindro em equilíbrio .....	42
Figura 16 - Inclinação dos grãos de mostarda: (a) alguns graus abaixo do ângulo de repouso e (b) alguns graus acima .....	47
Figura 17 - Imagem das grandezas do ângulo de repouso de grãos de arroz .....	48
Figura 18 - Página inicial do app Rolamento .....	52
Figura 19 - Tela inicial do experimento .....	52
Figura 20 - Resultados calculados pelo aplicativo para o experimento realizado com grãos de arroz.....	53
Figura 21 - Resultados calculados pelo aplicativo para o experimento do Período de oscilações realizado com grãos de arroz.....	54
Figura 22 - Impressão da tela com informação do ícone Ajuda.....	54
Figura 23 - Imagem da Escola Abílio César Borges .....	55
Figura 24 - Recorte da atividade 1 da equipe 5 .....	61
Figura 25 - Participação dos alunos durante a apresentação .....	63
Figura 26 - Tela do <i>smartphone</i> da professora.....	64
Figura 27 - Recorte da segunda pergunta das equipes 1,2 e 3.....	65
Figura 28 – Recorte da segunda pergunta das equipes 4 e 5. ....	65

Figura 29 - Desenho realizado pela professora no quadro .....	66
Figura 30 - Aluno utilizando o aplicativo no <i>smartphone</i> .....	68
Figura 31 - Recorte da quinta pergunta: (a) equipe 2; (b) equipe 3; (c) equipe 5 .....	69
Figura 32 - Sistemas granulares .....	79
Figura 33 - Representação de plano inclinado.....	80
Figura 34 - Fixação da garrafa de PET.....	83
Figura 35 - Despejamento dos grãos de arroz .....	84
Figura 36 - Medição da altura dos grãos de arroz .....	84
Figura 37 - Despejamento dos grãos de feijão .....	85
Figura 38 - Fixação do papel filme.....	88
Figura 39 - Tubos de PVC com grãos de arroz .....	88
Figura 40 - Rampa de madeira com início do rolamento do tubo de PVC.....	89
Figura 41 - Rampa de madeira com o fim do rolamento do tubo de PVC .....	89
Figura 42 - Goniômetro .....	90
Figura 43 - Medição com o goniômetro do ângulo de equilíbrio do tubo de PVC em equilíbrio .....	90
Figura 44 - Medidas do tubo de PVC em equilíbrio .....	90
Figura 45 - Página inicial do aplicativo.....	92
Figura 46 - Tela inicial do experimento .....	93
Figura 47 - Tela do cálculo do ângulo de equilíbrio do arroz .....	93
Figura 48 - Resultado calculado pelo aplicativo para o experimento do ângulo de equilíbrio do tubo de PVC com grãos de feijão .....	94
Figura 49 - Relógio de pêndulo e cilindros com grãos.....	98
Figura 50 - Fixação do fio de cobre no tubo de PVC.....	100
Figura 51 - Representação das medidas do tubo de PVC.....	100
Figura 52 - Oscilação do tubo de PVC vazio .....	101
Figura 53 - Resultados para o tubo de PVC com 20g de grãos de arroz.....	102
Figura 54 - Resultados para o tubo de PVC com 20g de grãos de feijão .....	102

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese da primeira sequência didática com seis aulas .....	56
Quadro 2 - Síntese da segunda sequência didática com quatro aulas.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Analogia dos movimentos .....	36
Tabela 2 - Informações sobre a altura do amontoado de grãos e diâmetro do amontoado de grãos de arroz .....	85
Tabela 3 - Informações sobre a altura do amontoado de grãos e diâmetro do amontoado de grãos de feijão .....	86
Tabela 4 - Informações referentes a altura da massa de grãos e massa dos tubos de PVC e observações do experimento com grãos de arroz .....	91
Tabela 5 - Informações referentes ao experimento de rolamento do tubo de PVC com grãos de arroz em equilíbrio.....	91
Tabela 6 - Informações referentes a altura da massa de grãos e massa dos tubos de PVC e observações do experimento com grãos de feijão .....	91
Tabela 7 - Informações referentes a demonstração de rolamento dos tubos de PVC com grãos de feijão. ....	92
Tabela 8 - Informações referentes ao experimento de oscilação do tubo de PVC com grãos de arroz.....	101
Tabela 9 - Informações referentes ao experimento de oscilação do tubo de PVC com grãos de feijão .....	101
Tabela 10 - Resultados da primeira pergunta da atividade 1 para os grãos de arroz.....	59
Tabela 11 - Resultados da primeira pergunta da atividade 1 para os grãos de feijão.....	60
Tabela 12 - Resultado do ângulo de inclinação crítico da terceira pergunta para os grãos de arroz e feijão. ....	65
Tabela 13 - Resultado do ângulo de repouso da terceira pergunta para os grãos de arroz e feijão .....	65

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	19
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1	VYGOTSKY .....	20
2.2	A TEORIA SÓCIO HISTÓRICO-CULTURAL DE VYGOTSKY E SUAS IMPLICAÇÕES NO CONTEXTO ESCOLAR.....	20
2.3	A TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY PARA POTENCIALIZAR O USO DAS NOVAS TECNOLOGIAS .....	23
<b>3</b>	<b>REVISÃO DOS CONCEITOS FÍSICOS.....</b>	<b>26</b>
3.1	MECÂNICA .....	26
<b>3.1.1</b>	<b>As leis de Newton .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Forças de contato .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Força Peso.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Aplicações das Leis de Newton .....</b>	<b>32</b>
3.1.4.1	<i>Plano inclinado.....</i>	32
3.1.4.2	<i>Rolamento sem deslizamento.....</i>	34
3.1.4.3	<i>Equilíbrio estático de corpo rígido.....</i>	36
3.1.4.4	<i>Centro de massa .....</i>	37
<b>3.1.5</b>	<b>Mecânica e suas aplicações em sistemas granulares.....</b>	<b>42</b>
3.2	OSCILAÇÕES.....	40
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>46</b>
4.1	SISTEMAS GRANULARES .....	46
4.2	ÂNGULO DE REPOUSO.....	48
4.3	CONTRIBUIÇÕES DA TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY NO USO DE NOVAS TECNOLOGIAS .....	49

4.3.1	Uso do <i>smartfone</i> em sala de aula como novas tecnologias .....	51
5	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>55</b>
5.1	Público alvo .....	55
5.2	Plano de Ensino e aulas .....	56
5.3	<b>APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	<b>58</b>
5.3.1	<b>Descrição da primeira sequência didática</b> .....	<b>58</b>
5.3.2	<b>Descrição da segunda sequência didática</b> .....	<b>59</b>
6	<b>RESULTADOS E ANÁLISE DAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS</b> .....	<b>60</b>
6.1	Primeira sequência didática .....	60
6.2	Segunda sequência didática .....	67
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>72</b>
	<b>ANEXO 1 PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	<b>75</b>

## CAPITULO 1

### 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do INEP (2009), o ensino de física no 3º ano do ensino médio no Brasil nas escolas públicas tem se mostrado deficiente e pouco motivador, o que se reflete nas baixas notas obtidas em vestibulares e no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), bem como nos elevados índices de evasão escolar.

Temos alguns problemas básicos no ensino médio relacionados ao desempenho dos educandos, que estão matriculados no terceiro ano do ensino médio com nível de conhecimento inferior ao desejado para o último ano do ensino fundamental, o desinteresse dos alunos, carência de professores, especialmente de Física.

Conforme o conjunto de dados acumulados pela pesquisa educacional em ciências ao longo dos últimos 40 anos (MEGID NETO; FRACALANZA; FERNANDES, 2005) possibilita um exame de como evoluíram as condições de ensino, a prática do ensino da física e as necessidades do ensino da física básica no país.

Apesar da treinamento direcionada ao concurso ou vestibular, na educação superior “o elemento humano que recebemos tem uma formação científica extremamente deficiente naquilo que nos diz respeito” (SBF, 1970, p.30). Ademais, “a reclamação contra o baixo nível, em Física, dos vestibulandos, é uma constante, cada ano que se passa” (SBF, 1970, p.38).

Para os educadores de Física no cotidiano escolar, surgem vários desafios que os fazem repensar a sua forma de encontrar caminhos que lhe permita reconhecer as condições cognitivas dos educandos, buscando desmistificar a ideia de que a Física é algo impossível de se entender e, por isso é tão repudiada pelos alunos desde o ensino fundamental.

Os objetivos do ensino médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo. (PCN, 2007)

A utilização de experimentos em Física é uma excelente ferramenta para que os alunos assimilem o conteúdo de maneira concreta e verifiquem a relação teoria e prática. Além disso, a relevância da experimentação na disciplina de Física surge do fato de poderem ser testadas e verificadas as situações referentes a fenômenos científicos no cotidiano dos alunos.

Assim, o que a Física deve buscar no ensino médio é assegurar que a competência investigativa resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o mundo em que se habita. Não apenas de forma pragmática, como aplicação imediata, mas expandindo a compreensão do mundo, a fim de propor novas questões e, talvez, encontrar soluções. Ao se ensinar Física devem-se estimular as perguntas e não somente dar respostas a situações idealizadas. (PCN+, 2006)

Cabe enfatizar aqui que a utilização de experimentos (reais e/ou virtuais) associadas às aulas teóricas visam incentivar o estudo e melhorar o entendimento acerca do conteúdo trabalhado, principalmente conteúdos que já foram explorados no ensino médio e que podem ser vistos como uma revisão literária e prática.

Dessa forma, construímos uma sequência didática que tem como um dos objetivos revisar conceitos já abordados nos primeiros e segundos anos do ensino médio e introduzir novas ideias numa perspectiva contextualizada na qual as propriedades não usuais dos materiais granulares são o elemento motivador.

Sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

O comportamento de certas propriedades dos sistemas granulares faz com que possamos constituir um comportamento fluido mesmo sem a introdução de fortes estímulos externos exibindo uma dinâmica mais complicada. É importante lembrar que qualquer semelhança com o comportamento de um fluido é aparentemente visível, pois podem suportar a tensão como um sólido ou um conjunto de grãos pode fluir aparentemente como um líquido e ocupar a forma do recipiente que os contém, devido ao nível de vibrações e colisões dos grãos que retornam ao estado de repouso assim que os níveis de vibrações cessem. Amontoados de grãos areia são exemplos de sistemas em que se observa tal comportamento.

O movimento das camadas superficiais de um amontoado de areia pode se estabelecer devido a pequenas perturbações como a adição cuidadosa de um grão ou uma leve inclinação do amontoado.

Essas perturbações podem ocasionar avalanches, que são deslizamentos de grãos na superfície de um meio granular provocados por instabilidades.

Avalanches e deslizamentos de terra são inesperados declínios de um sistema de modo prévio em repouso com alta energia dos materiais granulares. Quando a inclinação é aumentada ligeiramente acima do ângulo de repouso, os grãos começam a fluir ocorrendo a avalanche.

Além disso, este fluxo de avalanche ocorre no movimento dos materiais granulares em uma camada limite relativamente estreita perto da superfície.

Nos experimentos foram utilizados os grãos de arroz e feijão que têm a enorme vantagem de serem suficientemente grandes para se poder visualizar o movimento de cada grão.

Diante da grande importância do estudo dos sistemas granulares em se conhecer as propriedades físicas dos grãos, valores dos eixos característicos (comprimento, largura, espessura), circularidade, esfericidade, massa específica aparente para dimensionamento, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, assumiram particular relevância em muitas situações de caráter industrial em que a capacidade de previsão do comportamento dos materiais granulares é fundamental para aumentar a rentabilidade dos processos e evitar resultados indesejados e o interesse por comportamento dos grãos por vários físicos, e alguns conteúdos que podem ser discutidos no ensino médio, podendo trazer para a sala de aula ideias mais atuais e capazes de contribuir para uma formação abrangente do educando, capacitando-o a participar de debates envolvendo questões de Ciência e Tecnologia que reflitam na sociedade e no meio ambiente.

Vygotsky (1998) vê o educando como um ser no qual a interação entre os indivíduos possibilita a geração de novas experiências e conexões de conhecimento; desenvolve-se porque aprende; observa, experimenta, problematiza, argumenta; assimila a partir do que lhe é significativo; deve estar atento para permitir a construção do seu conhecimento em grupo com participação ativa e a cooperação de todos os envolvidos; constrói um processo de mediação com o professor para buscar diferentes respostas para o mesmo problema fornecendo uma reorganização e reformando de maneira revolucionária à educação.

Através das ideias básicas das unidades de ensino desenvolvidas sobre Mecânica, para a orientação dos alunos durante as atividades serão elaboradas sequências que possibilitem ao aluno compreender as propriedades, os conceitos e as definições presentes na Mecânica com enfoque em sistemas granulares e uma evolução conceitual progressiva ao longo dos trabalhos, para que em colaboração coletiva sintam-se mais motivado e apto a resolver as questões propostas.

O presente trabalho foi aplicado na Escola de Educação Básica Abílio César Borges no município de Nova Veneza, com uma turma do 3º ano do Ensino Médio Inovador, no período vespertino, composta por doze educandos, devido às regras de distanciamento social descritas no Plano de Contingência da COVID-19 da Secretaria de Educação de Santa Catarina.

A Escola de Educação Básica Abílio César Borges é uma escola localizada na área urbana do município e atende educandos também da área rural onde predomina a produção de grãos como o arroz e o feijão, facilitando assim o processo de ensino-aprendizagem relacionada aos sistemas granulares.

Para organizar melhor as informações contidas no presente trabalho, sua estrutura contém: introdução, referencial teórico, revisão dos conceitos físicos, revisão bibliográfica, desenvolvimento, resultados e análise das sequências didáticas, considerações finais, referências e o produto educacional.

## **1.1 OBJETIVOS**

O presente estudo possui um objetivo geral e alguns específicos, conforme descrito nas subseções a seguir.

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Construir uma sequência didática na forma de revisão e roteiros experimentais para realização de três experimentos que envolvam temas ligados à Mecânica no contexto dos chamados sistemas granulares, em um enfoque inovador, partindo de conceitos mais básicos e evoluindo para conceitos científicos.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos propostos possibilitam ao aluno:

- a) Ser capaz de rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton vistos no 1º ano;
- b) Identificar os tipos de forças que agem nos sistemas granulares em um rolamento;
- c) Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- d) Rever os conceitos mecânicos enfocando as oscilações, período e frequência;
- e) Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de software;

- f) Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem das demonstrações.

## **CAPITULO 2**

### **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **2.1 VYGOTSKY**

Lev Semenovich Vygotsky, nasceu na Orsha, na Bielorrússia, em 5 de novembro de 1896. Graduou-se em direito em 1918 pela Universidade de Moscou, onde atuou no Instituto de Psicologia trabalhando com diversos cientistas em estudos sobre Psicologia e sobre anormalidades físicas e mentais.

Vygotsky também estudou Medicina no Instituto Médico de Moscou. Morreu aos 37 anos em decorrência de tuberculose, em 11 de junho de 1934.

Escreveu em torno de 200 trabalhos científicos, da neuropsicologia até crítica literária, passando por deficiência, linguagem, psicologia, educação e questões teóricas e metodológicas relativas às ciências humanas, destacam-se: “A Pedologia de Crianças em Idade Escolar” (1928), “Estudos Sobre a História do Comportamento” (1930, escrito com Luria), “Lições de Psicologia” (1932), “Fundamentos da Pedologia” (1934), “Pensamento e Linguagem” (1934), “Desenvolvimento da Criança Durante a Educação” (1935) e “A Criança Retardada” (1935).

#### **2.2 A TEORIA SÓCIO HISTÓRICO-CULTURAL DE VYGOTSKY E SUAS IMPLICAÇÕES NO CONTEXTO ESCOLAR**

Neste trabalho, optamos por utilizar a teoria sociocultural de Vygotsky, pois essa fundamentação nos disse que a forma de pensar e agir são ferramentas para que o aluno possa resolver diferentes tipos de problemas, trazendo orientações importantes para garantir a adoção de métodos que facilitem e promovam a interação para a aprendizagem a partir do uso de atividades experimentais em sala de aula.

Segundo a análise realizada por (MONTEIRO,2002), existem vários fatores que favorecem a utilização de atividades experimentais de Física em sala de aula. Dentre estes fatores o diálogo e a troca de informações, que não se resumem somente a interação professor aluno, aluno-aluno, que vão instigar a busca dos alunos por novos conhecimentos, mas o grande interesse e curiosidade gerados pela atividade experimental.

As atividades experimentais são estimuladoras para o aluno, fornecendo um contato físico e verdadeiro sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens. No ensino de física o contato com experimentos é muito importante, uma vez que ele permite a análise e o controle do meio ambiente e a autonomia diante aos objetivos técnicos; permitem ensinar técnicas de investigação; e também possibilitam um olhar crítico e aguçado sobre os resultados.

De acordo com (MOREIRA,2011), Vygotsky destaca que o professor valoriza as atividades experimentais em sala de aula no momento em que ela é um instrumento que possibilita aquisição de conhecimento. Assim o mesmo poderá verificar se é preciso ou não o desenvolvimento de experimentos. Tendo o professor a responsabilidade de fazer, demonstrar e destacar o que deve ser observado e, sobretudo, proporcionar uma boa manipulação das teorias e dos conceitos a serem trabalhados na aula.

Cabe ao professor a mediação e motivação para que o aluno esteja ciente de que a participação nas observações de questões levantadas em grupo gerará um interesse naquilo que está sendo ensinado. Esta aprendizagem resulta da prática e ações do professor-aluno através de uma interação entre eles e o meio envolvente, natural e social.

Segundo (GASPAR,2005), essas relações enfatizam que a disciplina Física sendo uma ciência experimental, pode apresentar atividades práticas que tornem o componente curricular importante para o processo de ensino, melhorando a relação entre ensino e aprendizagem, além de contribuir para a postura didática do professor. No entanto, não deve ser vista como uma mera aula prática, mais desafiando o pensamento crítico dos alunos e permitindo-lhes aflorar à sua criatividade.

Para Vygotsky (1988), o termo mediação era visto sob três aspectos: signo, palavra e símbolo. Através destes, poderiam ser expandidas as possibilidades de aprendizagem e de ensino induzidas pelo professor no âmbito escolar. A falta de um mediador poderia provocar a estagnação do desenvolvimento da inteligência, da forma de questionamentos, dos desafios e estímulos para discussões.

Desta forma, durante a observação das causas e efeitos de um dado fenômeno em uma aula prática experimental e sua posterior análise científica, o professor permite o diálogo entre os grupos de trabalho e não somente individual enriquecendo a construção do saber entre aluno e professor e aluno-aluno.

Para facilitar e incentivar a interação social dos alunos em sala de aula, propomos que durante o uso do material nas demonstrações dos experimentos, as atividades fossem realizadas em grupos de dois alunos, sob a orientação do professor. Acreditamos que isto estimula a

criação do elo social entre aluno-aluno e professor e aluno, promovendo assim o desenvolvimento cognitivo auxiliado pelas relações sociais citadas por Vygotsky.

Vygotsky (1987), chama a atenção ao retratar que o professor precisa ser reflexivo durante sua atuação docente nas demonstrações em sala de aula, para que os alunos indaguem, reflitam, e pesquisem as atividades experimentais até fazer-se capaz de ser imitado.

O professor de Física nas suas atribuições pode assumir um papel importante como desenvolvedor do espírito de pesquisador dos alunos, na busca pelo conhecimento cotidiano e a sua relação com o meio ambiente e sociedade, para que ambos interagindo de forma recíproca disseminem a ciência.

A conversão de relações sociais em funções mentais superiores acontece de maneira mediadora, sendo necessário o uso de instrumentos e signos. Podemos definir instrumentos como o que serve de ajuda para regulação das ações sobre o meio e signos, aquilo que se associa ao instrumento para que o mesmo consiga executar ações de maneira eficaz.

De acordo com a perspectiva de Costa et al. (2017), Moreira (1999) descrevia que, os signos podem ser de três tipos: 1) indicadores - são aqueles que mantêm uma relação de causa e efeito com aquilo que significam; 2) icônicos - são as representações gráficas daquilo que significam; e 3) simbólicos - são os que possuem uma relação abstrata com o que significam.

Do ponto de vista de Vygotsky, para que haja o desenvolvimento cognitivo do indivíduo, a interação social precisa proporcionar a internalização dos instrumentos e signos. Acerca disso, (MOREIRA, 1999) enfatiza:

Para internalizar signos, o ser humano tem que captar os significados já compartilhados socialmente, ou seja, tem que passar a compartilhar significados já aceitos no contexto social em que se encontra, ou já construídos social, histórica e culturalmente. Percebe-se aí o papel fundamental da interação social, pois é por meio dela que a pessoa pode captar significados e certificar-se de que os significados que capta são aqueles compartilhados socialmente para os signos em questão (...). (MOREIRA, 1999, p. 113).

Para Costa et al. (2017) Vygotsky descreve que há dois níveis de desenvolvimento. No nível de conhecimento real este conhecimento está adquirido, consolidado, internalizado; já o nível potencial é o campo do conhecimento que pode ser internalizado, mas ainda não está consolidado, necessitando de ajuda de um ser capaz para internalizar os problemas. Pode-se então o conhecimento real se tornar conhecimento potencial.

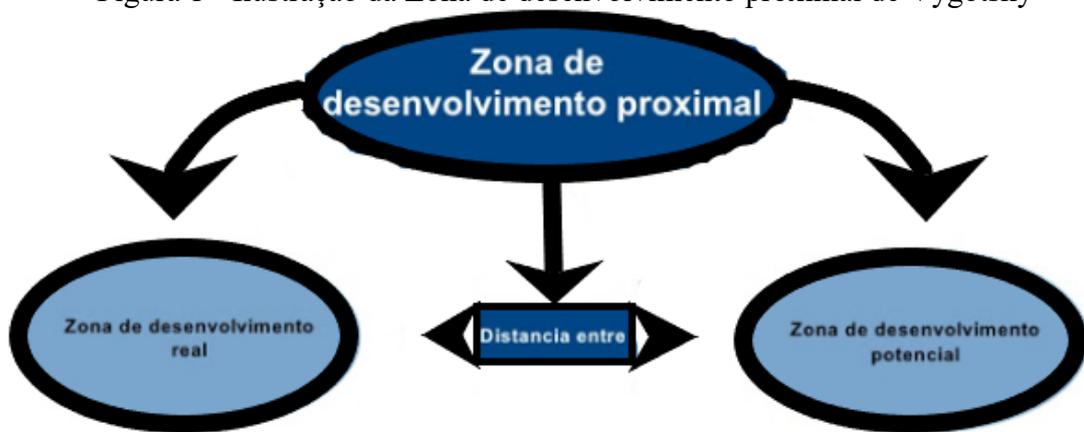
Sendo assim, Vygotsky conclui que há uma zona de desenvolvimento proximal definida por ele como:

A distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial,

determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (VYGOTSKY 2000, p. 112).

ZANELLA (1994), descreve que a distância entre o nível de desenvolvimento real e o nível de desenvolvimento potencial, caracteriza o que Vygotsky denominou de Zona de Desenvolvimento Proximal: "A Zona de Desenvolvimento Proximal define aquelas funções que ainda não amadureceram, mas que estão em processo de maturação, funções que amadurecerão, mas que estão, presentemente, em estado embrionário" (VYGOTSKY,1984, p. 97).

Figura 1 - Ilustração da Zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky



Fonte: Autora (2021)

### 2.3 A TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY PARA POTENCIALIZAR O USO DAS NOVAS TECNOLOGIAS

Neste trabalho, o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), analisando para tanto a teoria sócio-histórico-cultural de Vygotsky, bem como o desenvolvimento do sujeito em um ambiente de aprendizagem tecnológico, utilizando para tanto o exemplo do uso do celular como ferramenta para aprendizagem em sala de aula, vai ao encontro do que afirma estudos realizados pela UNESCO, onde a simulação computacional permite a exploração de atividades mais sofisticadas e complexas e que os aparelhos móveis são uma promessa especial para a educação, ainda mais em um momento em que grande parte das pessoas já têm acesso a eles.

Um novo modelo de mediação é criado que relaciona a natureza com o homem disponibilizando aos alunos um contato com a mediação simbólica, que Vygotsky chama de

carácter mediador na perspectiva histórico-cultural, compartilhando de um sistema de representação real, sendo ela um signo mediador que carrega signos difundidos, que são fonte do conhecimento totalmente humano.

Dessa forma a mediação é materializada e constitui as significações construídas no processo social, histórico e cultural permitindo a apropriação dessas significações historicamente produzidas e a constituição da consciência, mediando formas de pensar, sentir e agir.

Com a crescente utilização das novas tecnologias, novos métodos de ensino-aprendizagem são recomendados para dinamizar o processo na hora de lecionar, sendo grandes aliadas na educação e na otimização das aulas, trazendo um benefício excelente no que diz respeito à divulgação do conhecimento.

Atualmente, devido às alterações a partir dos avanços tecnológicos, as comunicações, se traduzem em mudanças irreversíveis nos comportamentos pessoais e sociais sendo possível criar uma rede de aprendizados contínuos que conecta toda comunidade escolar para aprender a buscar o saber e o desenvolvimento.

#### Segundo estudo feito e apresentado pela UNESCO

As pessoas em sua maioria tendem a ver os aparelhos móveis, mais precisamente os telefones celulares, como instrumentos voltados a portais de diversão, não de educação, o que faz com que essas tecnologias sejam deixadas de lado como sendo uma distração ou uma perturbação nos ambientes escolares. Os estudantes poderão, através dos aparelhos móveis, acessar com maior facilidade materiais suplementares a fim de esclarecer as ideias introduzidas pelo instrutor em sala de aula, é o que nos diz a UNESCO (2014, p. 23).

As pesquisas da UNESCO revelaram que as tecnologias móveis têm a chave para transformar a exclusão digital que existe atualmente em dividendos digitais, trazendo consigo uma educação inclusiva e equitativa de qualidade para todos os estudantes.

Quando os estudantes utilizam as tecnologias móveis para completar tarefas passivas ou de memória, como ouvir uma aula expositiva ou decorar informações em casa, eles têm mais tempo para discutir ideias, compartilhar interpretações alternativas, trabalhar em grupo e participar de atividades de laboratório, na escola ou em outros centros de aprendizagem. Ao contrário do que se pensa, a aprendizagem móvel não aumenta o isolamento, mas sim oferece às pessoas mais oportunidades para cultivar habilidades complexas exigidas para se trabalhar de forma produtiva com terceiros (UNESCO, 2014).

A UNESCO (2014, p. 38) afirma que os aparelhos móveis são considerados de forma coletiva a Tecnologia de Informação e Comunicação - TIC interativa mais presente no mundo.

Para Silva et al. (2017) em um momento em que as novas tecnologias propiciam diversificadas formas de acesso à construção de conhecimento e permitem a internalização de

sistemas simbólicos, há necessidade do professor mediador buscar uma abordagem sociointeracionista para impulsionar o nível de desenvolvimento real e o desenvolvimento potencial do indivíduo.

É importante entender o motivo da inserção de tecnologias no contexto educacional, pois as tecnologias transformam a maneira de pensar, sentir e agir.

Assim, os estudantes atuais, conhecidos como geração Z, a semente de uma nova sociedade totalmente conectada, consomem informação principalmente via *smartphones* e preferem conteúdos em vídeos curtos, fotos e jogos interativos, aprendem de múltiplas maneiras, isto porque aprendem a partir de experiências, são proficientes em multitarefas e dependem de tecnologias de comunicação para se conectarem com outras pessoas.

Mas, nem todo mundo tem acesso à rede, à internet ou a qualquer interface de comunicação, como um computador ou *smartphone*, em sua casa devido ao custo do serviço, falta de conhecimento sobre como usar e indisponibilidade do produto na sua região. Desta forma a incorporação tecnológica na escola, impulsiona e agrega uma nova técnica de ensino e, mais do que isso, uma nova concepção de ensino-aprendizagem atrativa e na ponta dos dedos.

## **CAPITULO 3**

### **3 REVISÃO DOS CONCEITOS FÍSICOS**

A seguir serão apresentados alguns conceitos físicos importantes para o entendimento das sequências didáticas sobre sistemas granulares com enfoque na Mecânica, Oscilações e o uso de novas tecnologias.

#### **3.1 MECÂNICA**

A Mecânica Clássica se refere às três principais formulações da mecânica pré-relativística: a Mecânica Newtoniana, Mecânica Lagrangeana e a Mecânica Hamiltoniana.

As aplicações da Mecânica Clássica, que analisa o movimento das forças que atuam sobre um corpo e as variações de energia, abrangem pesquisas avançadas em laboratórios, bem como aplicações na engenharia, e uma série de situações do movimento dos corpos no cotidiano nos possibilita estimar o tempo gasto em uma viagem, velocidades e inclinações apropriadas para a segurança nas rodovias, a questão de segurança nos desgastes de pneus diminuindo o atrito do pneu com o chão; as tecnologias como o freio ABS, que impede o travamento das rodas aumentando a eficiência da frenagem, pois nesse caso o atrito estático é que está presente, sendo o atrito cinético geralmente menor que o estático, nos planos inclinados, são exemplos que utilizamos no cotidiano e que certamente facilitam muitas de nossas tarefas.

A Mecânica Clássica no ensino de Física geralmente é a primeira área da Física a ser lecionada, sendo subdividida em Estática, Cinemática e Dinâmica.

Neste trabalho, abordaremos a estática, parte da mecânica responsável por analisar as propriedades de corpos que se encontram em equilíbrio quando sob a ação de forças. Essa parte da divisão da mecânica clássica nasceu com as teorias de Isaac Newton que enuncia e conceitua os três princípios do movimento, que são leis fundamentais para explicar o movimento dos corpos. Esses princípios são também referidos como as três leis de Newton.

##### **3.1.1 As leis de Newton**

Isaac Newton nasceu em meados do século XVII e suas contribuições não se limitam a física e a matemática, ele também se destacou na filosofia, anatomia, astrologia, teologia e

outros ramos. Tornou-se popular pela sua Lei da Gravitação Universal. Em seu célebre trabalho, *Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* (*Philosophiae naturalis principia mathematica* em latim) (BIOGRAFIA, 2018), Newton enuncia e conceitua os três princípios do movimento, que são leis fundamentais para explicar o movimento dos corpos. Explicou também fenômenos ópticos como a dispersão da luz. Criou o cálculo diferencial e integral, principal aparato da matemática utilizada em diferentes áreas do saber. A mecânica newtoniana se divide em duas áreas: cinemática e dinâmica.

A cinemática estuda como o movimento de corpos ocorre, sem se preocupar com o que o causa. A dinâmica também estuda o movimento, mas através do que gera ou altera o movimento. As Três Leis de Newton são as leis básicas usadas na dinâmica para entender o movimento (HALLIDAY, 1993, p. 13).

Ao estruturar os princípios da Mecânica, Newton se baseou nas ideias de Galileu sobre a inércia, também conhecida como Lei da Inércia ou Princípio da Inércia.

A Primeira Lei de Newton afirma que: "Todo o corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, amenos que seja compelido a modificar esse estado pela ação de forças impressas sobre ele." (NUSSENZVEIG, 2002, p. 93)

Os *airbags* de um carro, juntamente com o cinto de segurança, são um perfeito exemplo da inércia em nosso cotidiano. Além disso, podemos citar também a ida de ônibus para o trabalho ou para qualquer outro lugar, principalmente quando se está em pé dentro do veículo. Alterar o estado de movimento de um corpo demanda a aplicação de uma ou mais forças, cuja resultante não nula, que produz efeito sobre o corpo. Caso contrário, o corpo permanece em repouso ou executa um movimento retilíneo uniforme (MRU):

Matematicamente temos:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n F_n &= 0 \\ \vec{v} &= \text{constante}\end{aligned}\tag{1}$$

onde  $\vec{v}$  o vetor velocidade do corpo e  $F_n$  é o somatório de forças resultantes.

Se  $\vec{v} = \text{constante}$ , significa que o módulo, direção e o sentido da velocidade não mudam.

A Segunda Lei de Newton ou Lei Fundamental da Dinâmica diz que a força resultante que atua sobre um corpo é igual ao produto da sua massa pela sua aceleração (HALLIDAY, 1993, p. 84).

A expressão da segunda lei funciona como um caso geral, e que pode ser aplicado às forças de qualquer natureza. Qualquer que seja o tipo de força de interação, o efeito produzirá sobre este, uma aceleração.

Assim, de acordo com a Segunda Lei, a massa ( $m$ ) do objeto é a constante de proporcionalidade da relação entre força e aceleração e é a medida da inércia de um corpo, portanto, quando se aplica a mesma força em dois corpos com massas diferentes, o de maior massa terá uma menor aceleração.

Newton usou o conceito de momento linear para expressar originalmente a Segunda Lei. O momento linear é o produto da massa de um corpo por sua velocidade e tem a direção e sentido desta. Para um corpo de massa  $m$  constante, tem-se que:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad (2)$$

onde identificamos a derivada temporal do vetor velocidade como sendo a aceleração instantânea.

No caso de massa constante, a forma original equivale à forma mais conhecida:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (3)$$

onde  $\vec{F}$  força resultante (medida em newtons  $N$ );

$m$  = massa do corpo (medida em kg);

$\vec{a}$  = aceleração (medida em metro por segundo ao quadrado  $m/s^2$ ).

Todas as representações de forças são medidas em Newton (N) é a unidade de força do sistema SI (Sistema Internacional de Unidades) e representa a quantidade de força necessária para conferir a uma massa de 1 kg uma aceleração de 1 m/s em cada segundo.

A Terceira Lei de Newton, também chamada de Ação e Reação, relaciona as forças de interação entre dois corpos. Quando um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo corpo exerce uma força sobre o primeiro. Em outras palavras, “a toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade e sentido oposto” (HALLIDAY, 1993, p. 89).

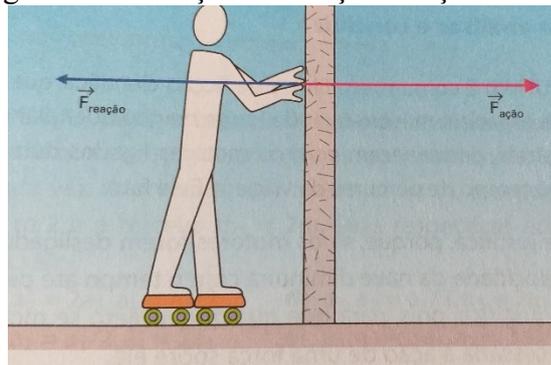
É importante salientar que a magnitude das forças é idêntica, mas as forças estão aplicadas em corpos diferentes. Sejam dois corpos, A e B e utilizando a força de A sobre B como sendo  $\vec{F}_{AB}$  e a força de B sobre A como sendo  $\vec{F}_{BA}$ . De acordo com a terceira lei,

$$\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA} \quad (4)$$

$$\vec{F}_{AB} + \vec{F}_{BA} = 0 \quad (5)$$

Para explicar melhor a existência dessa interação entre forças temos, como exemplo, um patinador que está parado junto à parede. Para se movimentar, ele empurra a parede para frente e desloca-se para trás. Não há como separar a ação do patinador da reação da parede ou vice-versa, assim como não é possível negar a reação da parede sobre o patinador. São forças simultâneas, sempre com a mesma intensidade e a mesma direção, mas com sentidos opostos.

Figura 2 - Ilustração das forças de ação e reação



Fonte: GASPARG (2008)

As causas do movimento de um corpo são as interações que esse corpo estabelece com todos os outros corpos do universo. Na natureza existem cinco interações (forças) fundamentais: fraca, forte, elétrica, magnética e gravitacional. Todas as forças que conhecemos são as manifestações de alguma dessas interações.

Neste trabalho serão usadas forças de contato, com interação de longo alcance entre os corpos (massas), não sendo necessário usar o conceito das quatro interações fundamentais, por isso será dada uma definição para as forças que serão abordadas nos experimentos.

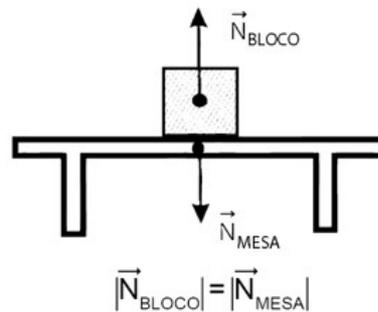
### 3.1.2 Forças de contato

As forças de contato são aquelas em que ocorre um contato direto entre as superfícies dos corpos rígidos que estão interagindo, ou entre o elemento que aplica força e o corpo que a recebe, quando o contato é cessado a força deixa de agir (TIPLER,2002). Quando há contato entre dois corpos, surge uma força de contato. Tal força pode ser decomposta em outras duas forças ortogonais: Normal e Atrito.

Força Normal, também chamada de “força de apoio”, é a força que as superfícies exercem para impedir que objetos as atravessem (TIPLER 2002). Sua direção é sempre perpendicular à superfície de apoio. Pode-se utilizar como exemplo, um bloco em repouso sobre em uma mesa, onde a mesa exerce a força normal no bloco,

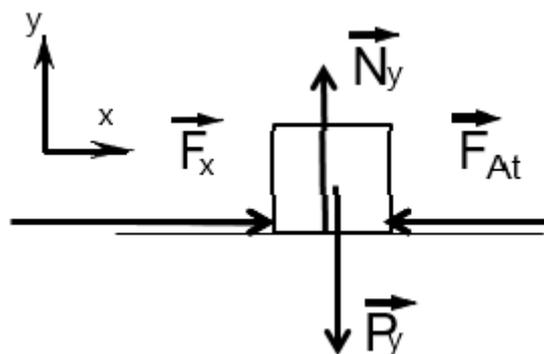
perpendicular às superfícies de contato e com módulo igual ao da força gravitacional que atua sobre o bloco.

Figura 3 - Observação das forças de atrito e força normal



- Fonte: <https://www.proenem.com.br/enem/fisica/leis-de-newton/> Acesso em: 4 nov. 2018.
- b) Força de atrito é aquela que resulta do atrito entre os corpos, isto é, que se opõe ao movimento de uma superfície sobre outra (de sentido contrário a componente da força que produz o deslocamento/movimento e tangente à superfície). Pode-se observar a existência da força de atrito e entender as suas características através do exemplo.

Figura 4 - Observação da força de atrito



Fonte: Acervo da autora (2021)

Tomando como exemplo um caixote contendo grãos colocado no solo, como representado na Figura 4. Pode-se imaginar que, com a menor força aplicada ( $\vec{F}_x$ ), ele se deslocará. Quando o caixote ficar mais leve, à medida que formos retirando os grãos, atingiremos um ponto no qual conseguiremos movimentá-lo. A dificuldade de mover o caixote é devido ao surgimento da força de atrito ( $\vec{F}_{at}$ ) entre o solo e o cilindro (TIPLER, 2002). Existem dois tipos de força de atrito: atrito estático ou atrito dinâmico, sendo que a força de atrito será maior quando o corpo está na iminência de se deslocar (atrito estático) do que quando ele está

em movimento (atrito cinemático e dinâmico). A força de atrito se opõe à tentativa de deslizamento do corpo sobre a superfície.

Percebemos que em iminente movimento, o módulo da força de atrito é proporcional à força Normal, conforme a Equação:

$$\vec{F}_{at,e} = \mu_e \vec{N} \quad (6)$$

O  $\mu_e$  é conhecido como coeficiente de atrito, ele expressa as propriedades das superfícies em contato e não possuem unidade de medida por ser grandeza adimensional sendo representado apenas pelo seu valor numérico. A força de atrito será maior quanto maior for o  $\mu$ .

Nesse sentido, vale observar que o coeficiente ( $\mu_e$ ) do atrito estático será sempre maior que o coeficiente ( $\mu_d$ ) do atrito dinâmico ( $\mu_e > \mu_d$ ).

Pode-se determinar o limite do atrito estático através da equação:

$$\vec{F}_{at,e} = \mu_e \cdot \vec{N} \quad (7)$$

Quando a força aplicada em um corpo em repouso é igual ou menor que o limite da força de atrito estático, o corpo permanece em repouso.

$$\vec{F} \leq \mu_e \vec{N} \quad (8)$$

Quando o limite da força de atrito estático for ultrapassado pela força aplicada ao corpo, este entrará em movimento passando a sofrer a força de atrito dinâmico. Para calcular o valor deste atrito é utilizado o coeficiente de atrito dinâmico ( $\mu_d$ ) na equação:

$$\vec{F}_{at,d} = \mu_d \vec{N} \quad (9)$$

### 3.1.3 Força Peso

A Força gravitacional (força peso) é a força de atração que existe entre todos os corpos com massa no universo, sendo responsável por prender objetos à superfície de planetas e por manter objetos em órbita em torno uns dos outros. Se desprezarmos a resistência do ar, podemos afirmar que todos os corpos abandonados na proximidade da Terra, num mesmo local, caem com a mesma aceleração, denominada aceleração de gravidade do local. O módulo da força peso do corpo, nesse local, é igual ao produto da massa do corpo pela aceleração de gravidade característica do local.

$$\vec{P} = mg \quad (10)$$

Onde  $g$  é o módulo da aceleração da gravidade. Usaremos o valor aproximado para  $g$  de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

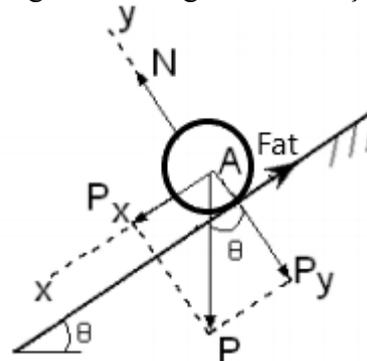
### 3.1.4 Aplicações das Leis de Newton

#### 3.1.4.1 Plano inclinado

O plano inclinado é tratado em todos os livros de mecânica de física básica, nos quais aparece como um dos primeiros exemplos das aplicações das leis de Newton. Em geral é encontrado em rampas, esteiras rolantes, morros e ladeiras. São superfícies comuns no cotidiano, e podem ser caracterizados pelo seu ângulo  $\theta$  de inclinação com a horizontal.

Num plano inclinado, ângulo crítico é o ângulo máximo no qual a rampa ou declive suportará o objeto sem que ele deslize para baixo e as forças que atuam em um objeto podem ser representadas conforme o diagrama de forças.

Figura 5 - Diagrama de forças



Fonte: Acervo da autora - 2021

Assim, ao analisarmos o diagrama acima obtém-se:

$$\vec{P}_x = \vec{P} \cdot \text{sen } \theta \quad (11)$$

$$\vec{P}_y = \vec{P} \cdot \text{sen } \theta \quad (12)$$

e

$$\vec{F}_{at,d} = \mu d \cdot \vec{N} \quad (9)$$

Na direção  $y$ , de acordo com a segunda lei de Newton, tem-se:

$$\vec{F}_y = m \cdot \vec{a}_y \quad (13)$$

Temos que  $a_y = 0$ , logo a força resultante na direção  $y$  é nula.

Analisando a força normal na direção  $y$ , obtêm:

$$\vec{N} - \vec{P}_y = 0 \quad (14)$$

Com a equação (12) substituímos  $\vec{P}_y$ , na equação (14), obtém-se:

$$\vec{N} - \vec{P} \cdot \cos\theta = 0 \quad (15)$$

$$\vec{N} = \vec{P} \cdot \cos\theta \quad (16)$$

Na direção  $x$ , de acordo com a segunda lei de Newton:

$$\vec{F}_x = m \cdot a_x \quad (17)$$

Temos a componente  $P_x$  e a componente  $F_{at}$ , contrária ao movimento que se encontra o objeto.

$$\vec{P}_x - \vec{F}_{at} = m \cdot a_x \quad (18)$$

utilizando a equação (9), obtemos:

$$\vec{P}_x - \mu \cdot \vec{N} = m \cdot a_x \quad (19)$$

e relacionando a equação (16) e (11) obtemos na substituição em (19)

$$\vec{P} \cdot \sin\theta - \mu \cdot \vec{P} \cdot \cos\theta = m \cdot a_x \quad (20)$$

substituindo a equação (10) obtém-se:

$$m \cdot g \cdot \sin\theta - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta = m \cdot a_x \quad (21)$$

a aceleração

$$a_x = g \cdot \sin\theta - \mu \cdot g \cdot \cos\theta \quad (22)$$

Considerando o objeto em repouso  $a_x = 0$ , temos:

$$0 = g \cdot \sin\theta - \mu \cdot g \cdot \cos\theta \quad (23)$$

$$\mu = \frac{g \cdot \sin\theta}{g \cdot \cos\theta} \quad (24)$$

$$\mu = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \quad (25)$$

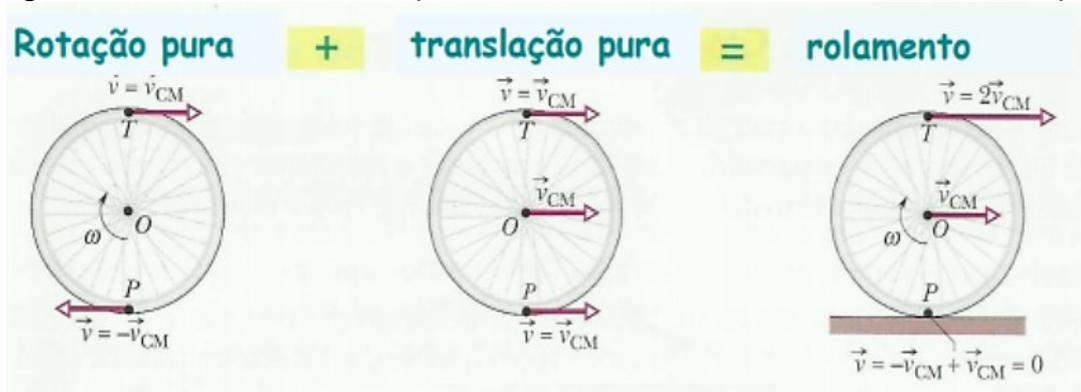
$$\mu = \operatorname{tg}\theta \quad (26)$$

Num plano inclinado, se um cilindro desce rolando sem deslizar, a componente da força gravitacional paralela ao plano inclinado faz com que a velocidade do seu centro de massa varie. Então, para que a região do cilindro em contato com a pista de rolamento fique em repouso deve haver uma força que resiste ao deslizamento. Isto implica que, se existe atrito entre as superfícies em contato, ele é estático, obedecendo as leis de Newton e propriedades pertinentes a este fenômeno, apesar do sólido ter um movimento não nulo em relação à superfície, ou seja, rolar sobre ela.

### 3.1.4.2 Rolamento sem deslizamento

Rolamento é a mistura do movimento de translação do centro de massa mais o movimento de rotação. Aplicando a Segunda Lei de Newton ao cilindro (rotação e translação), no rolamento sem deslizamento cada ponto toca apenas uma vez no chão e a translação acompanha a rotação.

Figura 6 - Movimento de translação do centro de massa mais o movimento de rotação



Fonte: HALLIDAY (1993)

Para descrever esses tipos de movimento, vamos introduzir os seguintes conceitos:

- Velocidade de translação do centro de massa (símbolo  $\vec{v}_{CM}$ )
- Velocidade angular instantânea média (símbolo:  $\omega$ )
- Aceleração angular média e instantânea (símbolo:  $\alpha$ )
- Momento de inércia (símbolo  $I$ )
- Torque (símbolo  $\tau$ )

Quando um corpo com simetria axial (um cilindro, uma esfera, um anel) rola sobre uma superfície plana e cada ponto da periferia do corpo não desliza sobre o plano, dizemos que acontece um rolamento sem deslizamento ou rolamento puro. Se  $v$  é a velocidade de translação do centro de massa do corpo, para que ocorra rolamento puro devemos ter

$$\vec{v} = \vec{\omega} \cdot R \quad (27)$$

onde  $\vec{\omega}$  é a velocidade angular de rotação do corpo (rad/s) em torno de um eixo que passa pelo seu centro de massa e  $R$  é o seu raio.

A rotação consiste de um estudo da variação do ângulo com o tempo. Observe que o ponto  $P$  sofre um deslocamento angular  $\Delta\theta$  num intervalo de tempo  $\Delta t$ , ocasionando assim, uma velocidade angular média  $v_m$  dada pela equação:

$$v_m = \Delta\theta / \Delta t \quad (28)$$

Esta equação representa quanto o ângulo muda por unidade de tempo sendo medido em radianos e o tempo em segundos, então  $v_m$  será tantos radianos por segundo.

Sabe-se que a velocidade linear  $v$  é dependente do  $R$  de cada ponto do corpo em rotação e tangente à curva da rotação e seu módulo pode ser determinado a partir do módulo do vetor  $\omega$ , ou vice-versa. Para que não haja deslizamento a condição será:

$$\Delta\theta / \Delta t = \omega R \quad (29)$$

Velocidade de translação = Velocidade de rotação

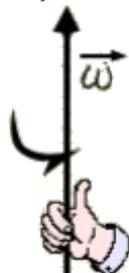
Newton definiu em sua Segunda Lei a equação de força ( $\Sigma F = m \cdot a$ ), onde podemos representar o Torque ou momento de uma força, sendo a tendência que uma força tem de rotacionar um corpo sobre o qual ela é aplicada. O torque é um vetor perpendicular ao plano formado pelos vetores força e raio de rotação. Pode-se indicar a equação do torque ( $\tau$ ) enquanto agente causador de alterações no movimento de rotação para um eixo fixo, sendo que o torque é paralelo à aceleração angular:

$$\vec{\tau} = I \cdot \vec{\alpha} \quad (30)$$

em que ( $I$ ) corresponde ao momento de inércia do objeto em relação ao eixo de rotação e ( $\vec{\alpha}$ ) é a aceleração angular produzida pela ação do torque.

Quando um cilindro realizar o movimento de rotação no sentido horário, e a velocidade angular  $\vec{\omega}$  observada possui uma direção perpendicular ao plano inclinado. Uma maneira simples de se ratificar essa direção é através da regra da mão direita, onde o polegar representa o vetor da velocidade angular.

Figura 7 - Representação da regra da mão direita



Fonte: <http://www.e-escola.pt/topico.asp?id=102&ordem=1>

O momento de inércia é uma grandeza física que calcula a dificuldade de alterar o estado de movimento de um corpo em rotação. Quanto maior for o momento de inércia de um corpo, maior será a dificuldade de fazê-lo girar ou alterar a sua rotação, ou seja, maior será a resistência do corpo de alterar sua velocidade angular.

No caso de um corpo rígido, que é uma distribuição contínua de massa, o momento de inércia é o resultado de uma integração em volume, ao invés da soma discreta da equação:

$$I_0 = \int_V r^2 dm \quad (31)$$

com o elemento infinitesimal de massa distando  $r$  do eixo de rotação.

Podemos realizar um paralelo entre os movimentos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Analogia dos movimentos

Grandezas	Analogia dos movimentos	
	Translação	Rotação em torno do eixo fixo
velocidade	$v$	$\vec{\omega}$
aceleração	$a$	$\vec{\alpha}$
massa	$m$	$I$
2ª lei de Newton	$\vec{F} = m \cdot a$	$\vec{\tau} = I \cdot \vec{\alpha}$

Fonte: [www.fisica.ufpb.br/~romero](http://www.fisica.ufpb.br/~romero)

### 3.1.4.3 Equilíbrio estático de corpo rígido

Um corpo rígido é aquele em que todas as dimensões permanecem constantes, não importando a natureza das forças aplicadas. Assim, um corpo rígido permanece em equilíbrio estático ou em repouso sempre que a resultante de todas as forças e o torque que atuam sobre ele sejam nulos em um referencial inercial. Esta é a primeira Lei de Newton.

Uma das condições para um corpo rígido permanecer em equilíbrio, quando um conjunto de forças atua sobre ele, a soma vetorial de todos os torques agindo sobre um corpo em torno de qualquer eixo é nula. Isto quer dizer que a soma dos torques no sentido horário em torno de qualquer eixo deve ser igual à soma dos torques no sentido anti-horário em torno do mesmo eixo. (HIBBELER, 2010)

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{T}_3 + \dots + \vec{T}_n = \sum_{i=1}^n \vec{T}_i = \vec{0} \quad (32)$$

A condição sobre os torques, em que a soma dos torques deve se anular, é uma condição para o equilíbrio aplicável a um corpo rígido, onde as forças não atuam em geral sobre um único ponto no corpo e, conseqüentemente, surgirá um movimento rotacional, a menos que a equação (32) seja satisfeita.

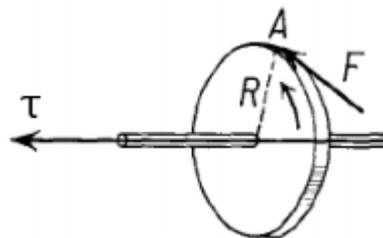
O torque  $\tau$  de uma força  $F$ , aplicada num ponto  $A$  de um sólido, é definido como o produto vetorial:

$$\vec{\tau} = \vec{R} \cdot \vec{F} \quad (33)$$

onde  $\vec{R}$  é o vetor posição de  $A$  em relação ao centro do disco.

Quando  $\vec{R}$  e  $\vec{F}$ , forem paralelos ou antiparalelos entre si o torque é nulo.

Figura 8 - Representação do torque em um disco movimentado no sentido anti-horário



Fonte: Hibbeler -2010

#### 3.1.4.4 Centro de massa

O centro de massa (CM) é um ponto em um corpo extenso ao qual podemos atribuir uma aceleração obtida do somatório de todas as forças exercidas sobre o sistema, dividindo-se este somatório pela massa do sistema.

O centro de gravidade (CG) é um ponto no qual uma única força da gravidade total do sistema produz um torque idêntico à soma dos torques de todas as forças da gravidade exercidas nas diferentes partes do sistema.

A definição de centro de massa é o ponto hipotético onde toda a massa de um sistema físico está concentrada e que se move como se todas as forças externas estivessem sendo aplicadas nesse ponto. O centro de massa de um sistema de partículas de massa  $m$  se move como se houvesse nele uma partícula de massa  $m$ , submetida a todas as forças externas que atuam no sistema.

Define-se o vetor posição do centro da massa  $\vec{r}_{cm}$ , igual à média, pesada pela massa, do vetor posição no sólido.

$$\vec{r}_{cm} = \frac{1}{m} \int \vec{r} dm \quad (34)$$

Assim, o centro de massa do cilindro semipreenchido com grãos com dimensões de 40mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, utilizado nos experimentos, pode ser calculado por:

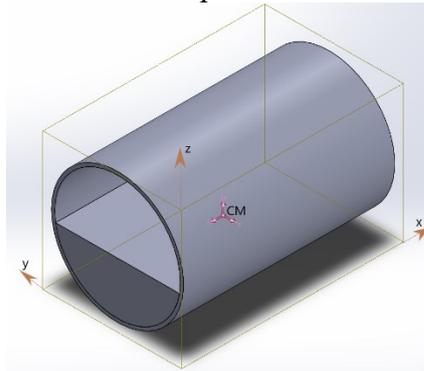
$$\bar{x} = \frac{\int xm}{\int dm} \quad \bar{y} = \frac{\int y dm}{\int dm} \quad \bar{z} = \frac{\int z dm}{\int dm} \quad (35)$$

$\bar{x}$  ,  $\bar{y}$  ,  $\bar{z}$  = São as coordenadas do centro da gravidade.

$\tilde{x}$  ,  $\tilde{y}$  ,  $\tilde{z}$  = São as coordenadas do centro da massa

Segundo a lei da inércia, se a resultante das forças externas que atuam sobre um sistema se anular, o CM do sistema permanece em repouso.

Figura 9 - Imagem do semicilindro preenchido utilizado nos experimentos



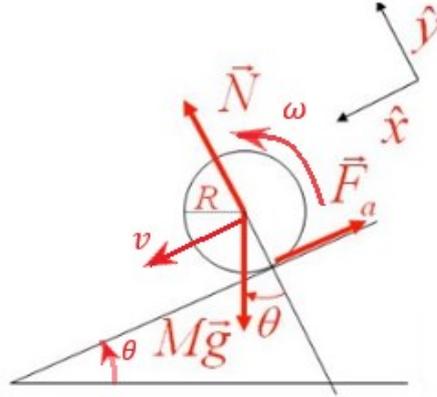
Fonte: Acervo da autora 2021

O momento de inércia do objeto é simplesmente a soma dos momentos de inércia de cada partícula envolvida no sistema, sendo o valor do momento de inércia dependente do eixo o qual o objeto está girando. De fato, dá para se concluir qualitativamente que quanto maior a distância das massas em relação ao eixo de rotação, maior é o momento de inércia.

Para exemplificar as forças atuantes vamos considerar um cilindro da figura 9, cuja massa está distribuída simetricamente em torno do eixo, de modo que seu centro de massa está no eixo do cilindro, colocado no plano inclinado para se deslocar numa direção perpendicular ao eixo. O torque da força-peso em relação ao centro de massa é nulo, bem como o da força normal à superfície. Na ausência de atrito entre o cilindro e o plano, o corpo desliza sem que nenhum torque externo atuasse sobre ele e sua velocidade angular de rotação em torno do centro de massa seria constante. Com o atrito, que produz um torque em relação ao centro de massa, o cilindro rola plano abaixo. Assim, a dinâmica do movimento do cilindro inclui sua rotação e

a aceleração do objeto não depende apenas da massa do cilindro, mas também da maneira com que ela se distribui no cilindro.

Figura 10 - Diagrama de forças de um cilindro rolando sem deslizamento



Fonte: Acervo da autora 2021

$$\text{Na direção } y: \quad \vec{N} - Mg \cos \theta = 0 \quad (36)$$

$$\text{Na direção } x: \quad \vec{N} - Mg \sin \theta - \vec{F}_a = M \cdot a_{cm} \quad (37)$$

Torque relativo ao centro da massa:

$$\tau = \vec{F}_a \cdot R = I_{cm} \cdot \alpha \quad (38)$$

Condição de rolamento sem deslizamento aplicando a seguinte Lei de Newton:

$$\text{Rotação:} \quad \tau = I_{cm} \cdot \alpha \quad (39)$$

$$\text{Translação:} \quad \vec{F} = m \cdot a_{cm} \quad (40)$$

$$\text{Temos ainda:} \quad v_{cm} = R \cdot \vec{\omega} \quad (41)$$

$$\text{e} \quad a_{cm} = R \cdot \alpha \quad (42)$$

$$\text{Para} \quad \vec{F}_a = \frac{I_{cm}}{R^2} \cdot a_{cm} \quad (43)$$

$$\text{Utilizando a equação (37):} \quad Mg \sin \theta - \vec{F}_a = M \cdot a_{cm}$$

$$Mg \sin \theta - \frac{I_{cm}}{R^2} = m \cdot a_{cm} \quad (44)$$

$$\text{Assim a aceleração:} \quad a_{cm} = \frac{g \cdot \sin \theta}{1 + \frac{I_{cm}}{mR^2}} \quad (45)$$

$$\text{Assim a aceleração:} \quad a_{cm} = \frac{g \cdot \sin \theta}{1 + \frac{I_{cm}}{mR^2}} \quad (45)$$

$$\text{O momento da inércia:} \quad I_{cm} = M \cdot K^2 \quad (46)$$

Onde  $K$  é o raio de giração.

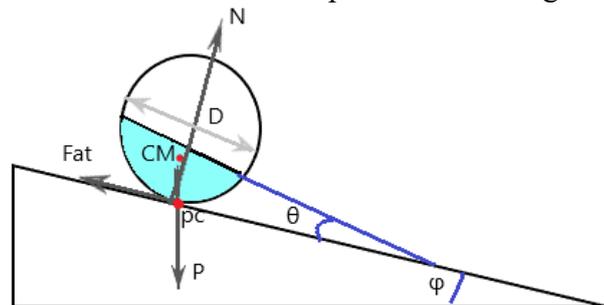
### 3.1.5 Mecânica e suas aplicações em sistemas granulares

No caso de uma certa quantidade de materiais granulares compostos por pequenas partículas sólidas despejados de uma certa altura sobre uma superfície horizontal, verifica-se que esta tende a formar um monte de forma cônica com os grãos, sendo o ângulo de repouso dos grãos.

Ferreira (2019) em sua dissertação contribuiu no método para determinar o ângulo de repouso, onde utiliza-se um funil para formar uma pilha, nesse método o material é derramado no funil que é mantido a uma altura constante ( $H$ ). A pilha é construída até que toque no orifício de saída do funil. Mede-se o diâmetro da base da pilha ( $2R$ ) e calcula-se o ângulo de repouso pela fórmula  $\alpha = \arctan(h/r)$  onde  $r$  é o raio adquirido através do descobrimento da base e  $h$  sendo a altura do cone.

No plano inclinado em estudo, temos o equilíbrio estático de um corpo extenso onde a somatória das forças ( $\Sigma F = 0$ ) e a somatória dos torques ( $\Sigma \tau = 0$ ) podendo assim medir, para um cilindro semi preenchido com grãos em equilíbrio estático em um determinado ponto do plano inclinado, o ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) do cilindro e ângulo de inclinação do plano inclinado ( $\varphi$ ).

Figura 11 - Forças atuantes no cilindro semipreenchido com grãos no plano inclinado



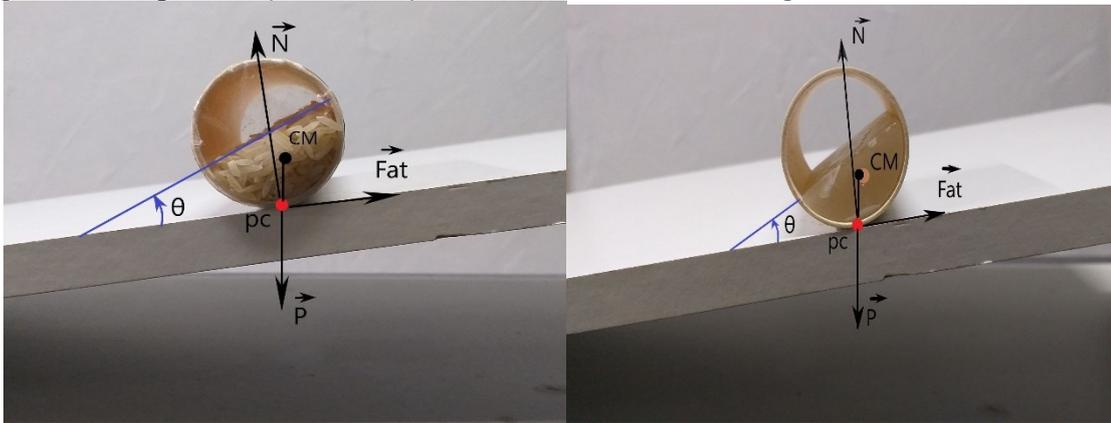
Fonte: Acervo da autora (2021)

Na Figura 11 - Forças atuantes no cilindro semipreenchido com grãos no plano inclinado, temos a representação de um corte transversal do cilindro onde, o centro de massa (CM) do conjunto é deslocado do centro geométrico e o torque gerado pelo peso em relação ao eixo que passa pelo ponto de contato (pc) pode então se anular (o cilindro não rolará). (NUSSENZVEIG, 2002)

Comparando-se um cilindro com grãos e um cilindro preenchido com cera (Figura 12 - Representação das forças atuantes no cilindro com grãos e no cilindro com cera) notamos que,

o cilindro preenchido com grãos encontra-se também em equilíbrio devido ao seu ângulo de equilíbrio em relação à horizontal ser menor que o ângulo de repouso dos grãos. Quando o ângulo de equilíbrio dos grãos exceder ao valor calculado ocorrerá um fluxo de grãos na superfície conhecido como avalanche.

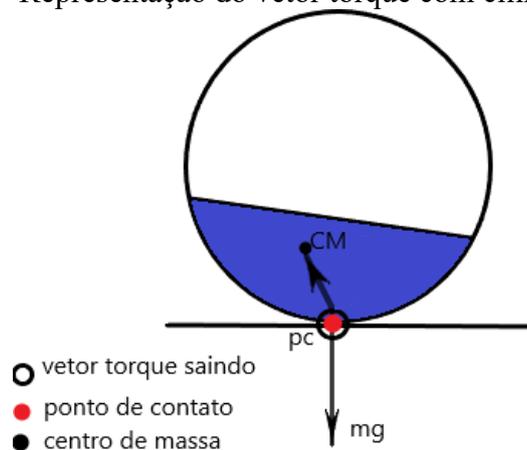
Figura 12 - Representação das forças atuantes no cilindro com grãos e no cilindro com cera



Fonte: Acervo da autora 2021

No caso do cilindro preenchido com grãos oscilante, temos um movimento periódico oscilatório em que o cilindro com grãos se move, para frente e para trás num dado referencial, sobre uma superfície horizontal, de modo que, quando utilizamos a regra da mão direita apontando na mesma direção do peso e girar, o vetor torque estará saindo da tela, conforme representado na Figura 13.

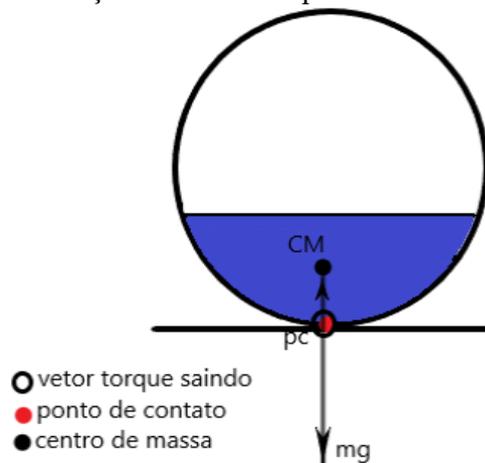
Figura 13 - Representação do vetor torque com cilindro oscilante.



Fonte: Acervo da autora 2021

Uma das condições para o cilindro com grãos permanecer em equilíbrio ocorre quando o vetor torque é nulo conforme a Figura 14 - Representação do vetor torque com cilindro em equilíbrio pois o vetor que liga o ponto de contato da superfície com o cilindro e o centro de massa são paralelos. Assim, a soma dos torques no sentido horário em torno de qualquer eixo deve ser igual à soma dos torques no sentido anti-horário em torno do mesmo eixo.

Figura 14 - Representação do vetor torque com cilindro em equilíbrio



Fonte: Acervo da autora 2021

### 3.2 Oscilações

Nos estudos de Física, vemos que o Movimento Harmônico Simples, também representado pela sigla (MHS), consiste em um movimento periódico e oscilatório ou vibratório quando o móvel se desloca periodicamente sobre uma mesma trajetória, indo e vindo para um lado e para outro em relação a uma posição média de equilíbrio. Essa posição média é o ponto sobre a trajetória, para o qual a resultante das forças que agem sobre o móvel é nula. Os fenômenos repetitivos cujos movimentos acontecem num mesmo intervalo de tempo de forma sucessiva são chamados de movimentos periódicos.

Em um movimento periódico, o período ( $T$ ) é o tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do móvel por um mesmo ponto da trajetória. A frequência é o número de oscilações realizadas por um sistema em que são concluídas a cada segundo. As fórmulas usadas para calcular essas grandezas são as seguintes:

$$f = n / \Delta t \quad (54)$$

$$f = 1 / T \quad (55)$$

$$T = 1 / f \quad (56)$$

onde  $f$  é a frequência (Hz);  $T$  é o período (s);  $n$  é o número de oscilações;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo (s). As unidades de medida da frequência e do período são, respectivamente, o hertz (Hz) e o segundo (s).

Além das grandezas frequência e período, o *MHS* é definido a partir de grandezas angulares. A mais importante das grandezas angulares relacionadas ao *MHS* é a frequência angular, também conhecida como velocidade angular ou pulsação.

$$|\omega| = 2\pi / T \quad (57)$$

ou

$$|\omega| = 2\pi / f \quad (58)$$

onde  $|\omega|$  é a frequência angular ( $rad/s$ ).

A frequência angular tem a dimensão de  $rad/s$ . Os radianos são uma das diferentes formas de se definir os ângulos, sendo que uma volta completa ao longo do círculo trigonométrico corresponde a  $360^\circ$  ou  $2\pi$  radianos.

O movimento harmônico simples é um tipo particular de movimento periódico oscilatório em que a partícula se move para frente e para trás num dado referencial, sobre uma reta, de modo que a intensidade da força que tende a levá-la a um ponto referencial cresce na mesma proporção em que aumenta o seu afastamento deste ponto e o sentido da força é oposto ao deslocamento da partícula.

A força restauradora que tende a fazer a partícula voltar a posição de equilíbrio no MHS pode ser obtida por:

$$F(x) = -kx \quad (59)$$

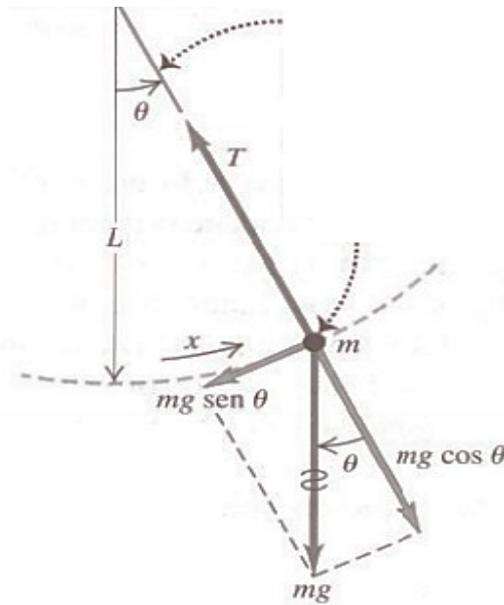
onde,  $k$  é a constante elástica de mola (obedecendo a Lei de Hooke) e  $x$  o deslocamento em relação ao ponto de equilíbrio.

Para pequenos desvios da posição de equilíbrio estável, qualquer sistema com um grau de liberdade deve obedecer à equação diferencial ordinária para  $x(t)$  de 2ª ordem:

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x \quad (60)$$

Quando o sentido do movimento é invertido de forma regular temos um movimento oscilatório, onde o pêndulo simples é um exemplo, pois o mesmo se desloca de uma posição até a mesma posição inversa passando pelo ponto de origem.

Figura 15 - Pêndulo simples



Suponha que o fio não tenha massa e seja inextensível; o peso é considerado um corpo puntiforme e a força restauradora sobre o peso é proporcional a  $\text{sen}\theta$ , não a  $\theta$ . Entretanto, para um  $\theta$  pequeno  $\text{sen}\theta \approx \theta$ , então o movimento é aproximadamente um movimento harmônico simples.

A amplitude do seu movimento é igual ao ângulo formado com a vertical quando o pêndulo está numa posição extrema. O pêndulo simples ideal realiza suas oscilações no vácuo com amplitude não superior a  $15^\circ$ , se amplitude  $< 15^\circ$  o valor para  $\text{sen}\theta \theta \cong (\theta \text{ em radianos})$ . Se levamos o pêndulo até uma posição fora do equilíbrio, e o soltamos, ele irá oscilar por ação de uma força restauradora, no caso a força-peso:

$$P = mg\text{sen}\theta \quad (61)$$

Quando  $\theta$  é pequeno,  $\text{sen}\theta$  é aproximadamente igual ao ângulo  $\theta$  em radianos.

$$P = mg\theta \quad (62)$$

Para deslocamentos pequenos a constante da força é:

$$k = mg/L \quad (63)$$

A frequência angular ( $\omega$ ) de um pêndulo simples com amplitude pequena é dada por:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{mg/L}{m}} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (64)$$

Para obtermos a frequência e o período temos então:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (\text{pêndulo simples, amplitude pequena}) \quad (65)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (\text{pêndulo simples, amplitude pequena}) \quad (66)$$

## **CAPITULO 4**

### **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **4.1 SISTEMAS GRANULARES**

Os sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

Resende (2008), em sua tese de doutorado informa que recentemente os sistemas granulares se tornaram novamente o foco de interesse dos pesquisadores devido aos fundamentos das teorias existentes para os sistemas granulares e do ponto de vista da Mecânica Estatística ainda são um problema em aberto. Enfatiza também que o comportamento exótico de certas propriedades dos sistemas granulares é aplicável à maioria dos sistemas reais.

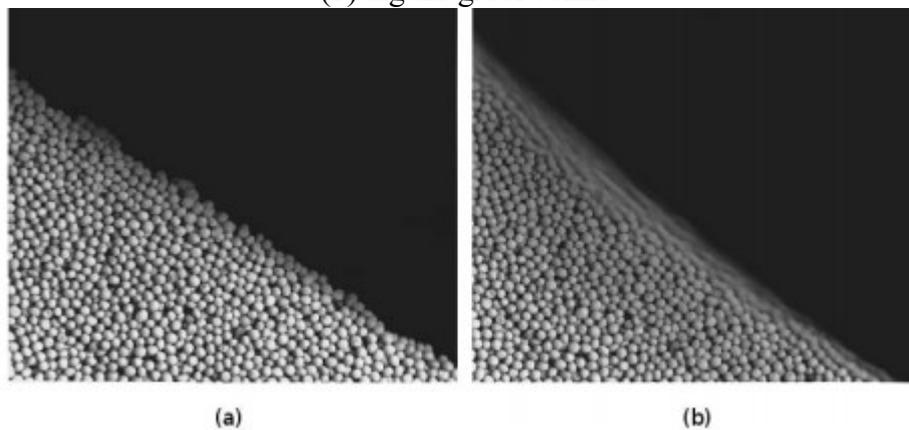
O estudo dos sistemas granulares é majoritariamente experimental, o que se justifica pelo número de partículas e a diversidade das interações físicas. Alguns estudiosos notáveis aparecem nos estudos deste sistema, tais como: Coulomb, que propôs a ideia de atrito estático; Faraday, que escreveu sobre a instabilidade convectiva em um recipiente cheio submetido a vibrações (DURAN, 2000).

Soterroni (2007) comenta em sua dissertação que o comportamento de um único grão é facilmente compreendido, mas ao se tratar de uma coleção de grãos as propriedades se tornam complexas. Assim, materiais granulares constituem sistemas de  $n$  corpos, dissipativos e longe do equilíbrio quando sujeitos a forças externas. Frequentemente apresentam comportamentos não usuais e interessantes fenômenos, como a separação dos grãos e a formação de padrões.

Resende (2008) propõe que, quando os sistemas granulares são formados por grãos não coesivos, as forças entre grãos são somente forças de repulsão, de tal modo que a forma do material é determinada pelas condições externas e a força da gravidade. Se os grãos são secos, qualquer fluido intersticial, tal como o ar, pode ser desprezado no estudo das propriedades estáticas e de fluidos do sistema.

Soterroni (2007) enfatiza que em muitas ocasiões, os sistemas granulares não se comportam nem como gases, líquidos ou sólidos. Eles podem ser considerados apropriadamente como outro estado da matéria. Por exemplo, uma pilha de grãos com um ângulo inferior a certo valor crítico, que depende dos constituintes da pilha, se comporta como um sólido. Se for inclinada a pilha num ângulo acima do crítico, os grãos começarão a fluir. Porém, o fluxo não será como num líquido, porque este somente existirá numa camada da superfície da pilha, os grãos no interior ficarão em repouso.

Figura 16 - Inclinação dos grãos de mostarda: (a) alguns graus abaixo do ângulo de repouso e (b) alguns graus acima



Fonte: Jaeger et al. (1996)

Soterroni (2007) comenta em sua dissertação que diversos processos naturais evoluem segundo uma dinâmica típica de materiais granulares. É o que acontece, por exemplo, na evolução temporal das dunas, avalanches, desmoronamentos, erosão, sedimentação e formação de planetas e galáxias.

Do ponto de vista teórico, o grande desafio é o de se chegar a uma teoria que forneça uma visão unificada dos fenômenos observados e a elaboração de modelos que possibilitem a previsão confiável de comportamentos futuros.

Existe, portanto, uma demanda da indústria por descrições mais precisas dos fenômenos envolvendo materiais granulares e, além disso, o estudo desses fenômenos como o ângulo de repouso de materiais granulares tem sido amplamente investigado, pois é um parâmetro macroscópico muito importante na caracterização da fluidez desses materiais.

Segundo Soterroni (2007), a fluidez desses materiais granulares depende de um conjunto de parâmetros, um dos principais é o ângulo de repouso. O ângulo de repouso é

fisicamente definido como a inclinação medida na base de uma pilha de sólidos granulares, não compactados, após o escoamento.

A razão da escolha dos grãos de arroz e feijão para o experimento em cilindros preenchidos submetidos a rotações é devido a investigação de artigos e dissertações de Azevedo (2008), Castro (2020), Duran (2000), Jaeger et al (1996), Lopez (2008), Pereira (2017), Tavares (2018) que mostram que para determinados tipos de grãos existe um ajustamento interno da pilha.

## 4.2 ÂNGULO DE REPOUSO

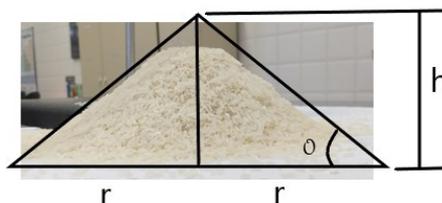
Resende(2008) descreve que, quando uma pilha de grãos é formada, ela se estabiliza de forma natural em um certo ângulo  $\theta$ , chamado ângulo de repouso ou equilíbrio dos grãos. Todas as pilhas formadas por um mesmo material estabilizar-se-ão neste mesmo ângulo. A medida que novos grãos são depositados sobre a pilha, o conjunto de grãos permanece estável, tal qual um sólido, até que o ângulo da pilha atinja um limite  $\theta_{máx}$ . Quando este limite é atingido, ocorre uma avalanche e os grãos mais superficiais fluem pilha abaixo tal qual um fluido, enquanto grãos mais profundos permanecem parados e não participam do movimento.

O ângulo de repouso pode ser altamente influenciado pelo teor de umidade, pelo tamanho, forma, constituição externa dos grãos, a presença de material estranho, a orientação das partículas e, principalmente, a rugosidade da superfície. Os menores ângulos de talude ocorrem em grãos esféricos, grandes, lisos, sadios, íntegros, limpos e secos. (MAGALHÃES, 2008).

Assim, quanto menor o ângulo de repouso maior será o volume de grãos que poderão ser armazenados em um silo. O conhecimento do valor do ângulo de repouso dos grãos é importante para a determinação da capacidade estática dos silos (MAGALHÃES, 2008).

O método de determinação do ângulo de repouso consiste na utilização das equações trigonométricas expressas abaixo:

Figura 17 - Imagem das grandezas do ângulo de repouso de grãos de arroz



Fonte: elaborado pela autora (2021)

Cálculo do ângulo de repouso dos grãos

$$\theta = \arctg ( h/r) \quad (67)$$

O ângulo de repouso pode ser definido como o ângulo máximo do talude formado pelos grãos em relação a horizontal sendo altamente influenciado pelo teor de umidade, pelo tamanho, forma, constituição externa dos grãos, presença de material estranho, a orientação das partículas e, principalmente, a rugosidade da superfície. Os menores ângulos de talude ocorrem em grãos esféricos, grandes, lisos, sadios, íntegros, limpos e secos (CORRÊA, 2008).

#### 4.3 CONTRIBUIÇÕES DA TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY NO USO DE NOVAS TECNOLOGIAS

As ideias interacionistas de Vygotsky foram utilizadas para detectar algumas dessas deficiências nas relações cotidianas no âmbito escolar, tendo como desafio a proposição de um caminho teórico/prático que contribua para a ação de educadores no propósito de qualificar uma prática voltada a uma formação cidadã, na qual se considera e se valoriza todos os envolvidos no processo de ensino-aprendizagem.

A teoria sócio-histórica de Vygotsky (2001) indica uma relação de dependência entre desenvolvimento intelectual e as relações sociais que são estabelecidas ao longo do crescimento do ser humano. Como exemplo, temos também as atividades práticas de demonstração desenvolvidas tanto em ambientes de ensino formal como informal (GASPAR,2005).

Moreira (2011) enfatiza que em ambiente de ensino formal, verifica-se que certas posturas do professor são importantes para que essas atividades atinjam o que, a nosso ver, deve ser seu objetivo pedagógico: propiciar uma situação estimuladora de interações sociais que facilitem o processo de ensino e de aprendizagem.

Vygotsky (2001), afirma que:

“A relação dos conceitos científicos com a experiência pessoal da criança é diferente da relação dos conceitos espontâneos. As motivações internas, que levam a criança a formar conceitos científicos, também são inteiramente distintas daquelas que levam o pensamento infantil à formação dos conceitos espontâneos. Outras tarefas surgem diante do pensamento da criança no processo de assimilação dos conceitos na escola, mesmo quando o pensamento está entregue a si mesmo. [...] considerações igualmente empíricas nos levam a reconhecer que a força e a fraqueza dos conceitos espontâneos e científicos no aluno escolar são inteiramente diversas: naquilo em que os conceitos

científicos são fortes os espontâneos são fracos e vice versa, a força dos conceitos espontâneos acaba sendo a fraqueza dos conceitos científicos. (VYGOTSKY, 2001a, p. 263).

Os pares professor-aluno e aluno-aluno formam um conjunto de mediadores da cultura que possibilita progressos no desenvolvimento da criança. Para Vygotsky, a construção do conhecimento dar-se-á coletivamente, portanto, sem ignorar a ação intrapsíquica do sujeito.

Vygotsky desenvolve dois conceitos chave. O primeiro chama de Zona de Desenvolvimento Real (ZDR) e o segundo Zona de desenvolvimento Proximal (ZDP).

Gaspar (2009) estabelece quatro critérios orientadores de uma pedagogia para atividades experimentais inspirada na teoria de Vygotsky:

“ 1º- Estar ao alcance da zona de desenvolvimento imediato do aluno, ou seja, o professor não deve limitar esse critério apenas ao tema ou ao objetivo da atividade, o importante é que a explicação de um experimento seja adequada. 2º- Garantir que um parceiro mais capaz participe da atividade, em geral tem o professor, que pode ser substituído por um ou mais alunos preparados previamente para exercer o papel. 3º - Garantir o compartilhamento das perguntas propostas e das respostas pretendidas: é preciso que a própria atividade, ou se necessário o parceiro mais capaz, indique claramente quais são as perguntas e as respostas pretendidas. 4º- Garantir o compartilhamento da linguagem utilizada: todos os participantes da interação devem ser capazes de compreender a linguagem utilizada. Palavras, gráficos, desenhos, esquemas e símbolos utilizados.” (GASPAR, 2009, p. 59).

Assim, podemos verificar que a aquisição de conceitos científicos é mais eficaz quando eles são associados a exemplos concretos, quando a criança consegue relacionar uma nova ideia com situações de sua experiência diária (GASPAR, 2005).

De acordo com Oliveira (2007), acerca da teoria sócio-histórico-cultural de Vygotsky nota-se as implicações desta teoria no contexto escolar, o desenvolvimento do indivíduo está diretamente ligado ao ambiente em que aprende e aos fatores externos específicos, o que nos faz refletir quanto a necessidade de métodos que impulsionaram o desenvolvimento do aluno no âmbito escolar.

Levando em consideração que as tecnologias digitais estão presentes na sociedade e na vida do cidadão, o investimento em tecnologia educacional se torne essencial.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular, a BNCC, uma das competências gerais a serem desenvolvidas em toda a educação básica é, entre outras, o uso de:

“ [...] tecnologias digitais de comunicação e informação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas do cotidiano (incluindo as escolares) ao se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos e resolver problemas.” (BRASIL, 2016, p.18)

Silva (2017) em seu artigo salienta que para as tecnologias digitais realizarem um trabalho a contento como um instrumento mediador da aprendizagem é necessário um olhar mais apurado sobre o contexto, e a partir disso repensando a prática, o aluno poderá ter realmente novas experiências de aprendizado que o estimule em questões que se perfazem a crítica e a reflexão do conteúdo.

É preciso, portanto, um conjunto de propostas de aprendizagem eficazes alinhadas a BNCC para adequar as aulas, com conhecimentos gerados através do auxílio do celular e de outras ferramentas tecnológicas em sala de aula.

#### **4.3.1 Uso do *smartfone* em sala de aula como novas tecnologias**

É importante entender o motivo da inserção de tecnologias no contexto educacional e da discussão acerca da inovação educacional onde podemos perceber como essa abordagem influencia a aprendizagem desses estudantes conhecidos como geração Z, semente de uma nova sociedade totalmente conectada aos dispositivos móveis. Em sala de aula, o uso desses dispositivos em um ambiente de aprendizagem encara a proibição por parte, dos professores, diretores e familiares ou responsáveis dos estudantes, muitas vezes por não saberem lidar com essa nova realidade. Desta forma, propor atividades contextualizadas com o uso de dispositivos móveis pode ser uma solução para a inatividade e desinteresse apresentado pela maior parte dos discentes atualmente nas aulas de Física.

Para a atividade, o aplicativo (app) para celular escolhido para ser utilizado foi o Rolamento, desenvolvido pelo Orientador Dr. Mauricio Girardi, disponível para download para sistemas Android no link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1DO-vOMnc1dS5iGrMQGn63XzJ8OacQeId?usp=sharing>

O app foi desenvolvido para ser uma ferramenta pedagógica com o objetivo de auxiliar os alunos nos cálculos de Mecânica com enfoque nos conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento e Oscilações, deixando de lado a preocupação em acertar os cálculos que, aqui, são substituídos pelo software.

O app é gratuito e, ao abrir pela primeira vez, o aluno se depara com a seguinte imagem:

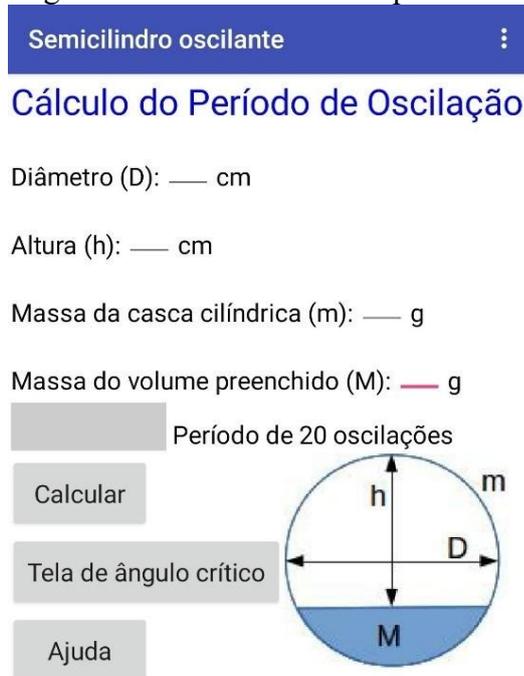
Figura 18 - Página inicial do app Rolamento



Fonte: Imagens capturadas no celular da autora (2021)

Com o aplicativo pronto para uso, o aluno irá visualizar o ícone Rolamento e ao executá-lo aparecerá a tela inicial do experimento. (Figura 19).

Figura 19 - Tela inicial do experimento



Fonte: Imagens capturadas no celular da autora (2021)

Em seguida, o aluno irá clicar no ícone Tela de ângulo crítico e inserir os dados coletados nos experimentos. Após ter inserido os dados, clicar em Calcular.

Figura 20 - Resultados calculados pelo aplicativo para o experimento realizado com grãos de arroz

**Semicilindro oscilante**

**Cálculo do ângulo de equilíbrio**

Inclinação do plano:  $\varphi$  15 graus

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 2.9 cm

Massa da casca cilíndrica (m) 24 g

Massa do volume preenchido (M): 28 g

**21.35 graus** Ângulo crítico  $\varphi_c$

**30.30 graus** Ângulos de equilíbrio  $\theta$

**119.70**  
**graus**

Calcular Tela de período Ajuda

Fonte: Imagens capturadas no celular da autora (2021)

Com esses resultados, o aluno pode relacionar os cálculos realizados matematicamente para uma casca cilíndrica semipreenchida em um plano inclinado onde encontramos o ângulo crítico  $\varphi_c$ , ou seja, o ângulo máximo para inclinação do plano inclinado em que o sistema fica em equilíbrio estático (considerando que o atrito estático entre o cilindro e o plano seja suficientemente alto para que ele não deslize e que o ângulo de repouso não tenha sido alcançado) e os ângulos de equilíbrio  $\theta$ , sendo o primeiro valor o ângulo de equilíbrio estável e o segundo de equilíbrio instável para um sistema rígido.

Ainda, se o usuário retornar à página inicial, poderá calcular o período de oscilação do semicilindro oscilante, inserir os dados coletados nos experimentos e após ter inserido os dados, clicar em Calcular, obtendo assim o período de vinte oscilações do semicilindro oscilante.

Figura 21 - Resultados calculados pelo aplicativo para o experimento do Período de oscilações realizado com grãos de arroz

Semicilindro oscilante

**Cálculo do Período de Oscilação**

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 2.1 cm

Massa da casca cilíndrica (m): 24 g

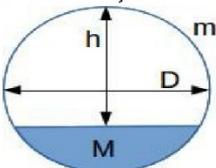
Massa do volume preenchido (M): 20 g

**13.11 s** Período de 20 oscilações

Calcular

Tela de ângulo crítico

Ajuda



Fonte: Imagens capturadas no celular da autora (2021)

Clicando no ícone Ajuda temos a informação:

Figura 22 - Impressão da tela com informação do ícone Ajuda

Semicilindro oscilante

**Cálculo do Período de Oscilação**

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 2.1 cm

Massa da casca cilíndrica (m): 24 g

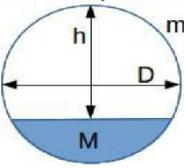
Massa do volume preenchido (M): 20 g

**13.11 s** Período de 20 oscilações

Calcular

Tela de ângulo crítico

Ajuda



Para uma casca cilíndrica de massa  $m$ , semipreenchida por uma massa  $M$ , podemos calcular o período de oscilação em um plano horizontal para pequenos ângulos. Na figura, vemos um corte transversal do cilindro de comprimento  $L$ . Assumimos que as densidades de massa são uniformes e que o atrito entre o cilindro e o plano é suficientemente alto para que não haja escorregamento.

Fonte: Imagens capturadas no celular da autora (2021)

## CAPITULO 5

### 5 DESENVOLVIMENTO

#### 5.1 PÚBLICO ALVO

A escola na qual foi aplicada a sequência didática desenvolvida neste trabalho é a escola Abílio César Borges, uma escola estadual de ensino básico na cidade de Nova Venéza-SC.

Figura 23 - Imagem da Escola Abílio César Borges



Fonte: Facebook- Abílio César Borges

Atualmente a escola conta com cerca de 500 alunos. Para atender estes alunos, a escola dispõe de 12 salas que comportam cerca de 30 alunos cada, tem aulas nos 3 períodos, atendendo turmas desde a primeira série do ensino fundamental até o terceiro ano do ensino médio. A escola ainda conta com secretaria, sala de orientação, ginásio de esportes e um campo externo. Os alunos desta escola moram numa região onde existe grande movimento agrícola, então, em geral, são famílias de agricultores. A turma 301, com 12 alunos presenciais e 5 em sistema remoto (atendidos por uma escola pólo), estavam cientes da participação na aplicação do produto educacional. Havia alunos medianos e alguns ótimos alunos.

O contexto da turma era diferente, pois no ano de 2020 foram ministradas aulas no sistema online através de aulas exclusivamente teóricas que foram postadas no sistema Google e alguns alunos que não possuíam acesso à internet recebiam as atividades impressas sem a mediação do professor. Então houve uma diferença com relação ao conteúdo ministrado no primeiro e segundos ano do ensino médio. Essa turma foi escolhida por já terem visto os conteúdos básicos de mecânica e por terem aulas no período vespertino na modalidade de ensino médio inovador. Deste modo, estariam revisando tais conteúdos com o auxílio deste

trabalho. Temos um número reduzido de alunos devido às regras de distanciamento social descritas no Plano de Contingência da COVID-19 da Secretaria de Educação de Santa Catarina.

## 5.2 PLANO DE ENSINO E AULAS

No quadro 1, apresentamos uma síntese da primeira sequência didática com seis aulas desenvolvidas para trabalhar as Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares. No quadro 2, apresentamos uma síntese da segunda sequência didática com quatro aulas desenvolvidas para trabalhar as Leis de Newton, enfocando as oscilações, período e frequência, características básicas, e a sua relação com os sistemas granulares.

Quadro 1 - Síntese da primeira sequência didática com seis aulas

<b>Aulas</b>	<b>Atividades</b>	<b>Recursos</b>
1 e 2	Nessa aula será realizada a apresentação da justificativa do uso das aulas e uma revisão sobre os conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas, e a sua relação com os sistemas granulares.	Data show para apresentação de slides de PowerPoint.
3 e 4	Como abordagem inicial, será realizado o experimento de obtenção do ângulo de repouso dos grãos de arroz e feijão. Levantar a seguinte questão: "Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados? " Execução do experimento do ângulo de repouso dos grãos. Atividade 1 - Questionário sobre os conhecimentos adquiridos em sala de aula.	Materiais necessários para a execução do experimento: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 garrafa PET</li> <li>• 01 tripé metálico</li> <li>• 01 garra metálica</li> <li>• 01 régua graduada</li> <li>• 01 folha de papel milimetrado</li> <li>• 01 canudo plástico</li> <li>• 01 estilete</li> <li>• Fita adesiva</li> <li>• Grãos de arroz</li> <li>• Grãos de feijão</li> <li>• Questionário impresso.</li> </ul>
5 e 6	Complementando a 3ª e 4ª aulas, será realizado o experimento Rolando grãos (rolamento de tubos de PVC contendo grãos de arroz e feijão com massas diferentes sob um plano inclinado). Levantar a seguinte questão: "Qual dos tubos ficará parado em equilíbrio no plano inclinado? "	Materiais necessários <ul style="list-style-type: none"> <li>• 04 pedaços de tubo de PVC de 4 cm x 6 cm de comprimento.</li> <li>• Papel filme</li> </ul>

	<p>Execução do software Rolamento. Atividade 2- Questionário sobre os conhecimentos adquiridos em sala de aula.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200g de arroz (aproximadamente)</li> <li>• 200g de feijão (aproximadamente)</li> <li>• 01 Balança digital</li> <li>• Fita adesiva</li> <li>• 01 Tesoura</li> <li>• 01 Espátula</li> <li>• 01 rampa de madeira (conforme figura 10).</li> <li>• 01 goniômetro ou transferidor</li> <li>• 01 <i>smartphone</i></li> <li>• Questionário impresso.</li> </ul>
--	---	--

Fonte: Acervo da autora (2021)

Quadro 2 - Síntese da segunda sequência didática com quatro aulas

Aulas	Atividades	Recursos
1 e 2	<p>Nessa aula será realizada a apresentação da justificativa do uso das aulas e uma revisão sobre os conceitos de Oscilações mecânicas, período e frequência, características básicas, e a sua relação com os sistemas granulares.</p>	<p>Data show para apresentação de slides de PowerPoint.</p>
3 e 4	<p>Como abordagem inicial, será realizado o experimento de oscilação de semicilindro em superfície horizontal plana. Execução do software Rolamento. ( semicilindro oscilante) Atividade 2- Questionário sobre os conhecimentos adquiridos em sala de aula.</p>	<p>Materiais necessários</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 04 pedaços de tubo de PVC de 4 cm x 6 cm de comprimento.</li> <li>• Papel filme</li> <li>• 20g de arroz e feijão (aproximadamente)</li> <li>• 02 pedaços de fio de cobre bem fino</li> <li>• 01 balança digital</li> <li>• 01 Tesoura</li> <li>• 01 Espátula</li> <li>• Cronômetro (smartfone)</li> <li>• 01 Placa de vidro</li> <li>• 01 Régua</li> <li>• 01 nível de bolha</li> <li>• Smartphone</li> <li>• Questionário impresso.</li> </ul>

Fonte: elaborado pela autora (2021)

### 5.3 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

As sequências didáticas descritas abaixo foram desenvolvidas com o objetivo de revisar os conteúdos da Mecânica para alunos do 3º ano do Ensino Médio com ênfase nos sistemas granulares. Para isso foram planejadas e elaboradas duas sequências didáticas.

#### 5.3.1 Descrição da primeira sequência didática

Devido às regras de distanciamento social descritas no Plano de Contingência da COVID-19 da Secretaria de Educação de Santa Catarina, temos um número reduzido de alunos por turma, sendo que todos os experimentos foram realizados por um aluno integrante da equipe e o outro aluno responsável por anotar as informações, nos roteiros experimentais impressos e utilizando o seu *smartfone*. Conforme protocolo da escola todos os materiais foram higienizados para utilização.

No primeiro encontro (2 aulas), foi realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint, sobre os conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares que estão em anexo no Apêndice B.

No segundo encontro (2 aulas), a turma foi dividida em cinco grupos com dois alunos, que receberam o material referente ao roteiro de aula, em anexo no Apêndice C, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, os conteúdos a serem abordados, roteiro experimental e atividade referente às aulas apresentadas.

Como abordagem inicial, foi levantada a seguinte questão: "Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados?" Em seguida foi realizado o seguinte experimento: Obtenção do Ângulo de repouso dos grãos de arroz e feijão. Com a participação de um aluno por equipe, devido a PC-COVID, foi possível anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais. Após a conclusão desta etapa, os estudantes receberam a atividade que deveriam realizar.

No terceiro encontro (2 aulas), complementando a 3ª e 4ª aulas, foi realizado o seguinte experimento: Rolamento de tubos de PVC contendo grãos de arroz e feijão com massas diferentes sob um plano inclinado, sendo levantada a seguinte questão: "Qual dos tubos ficará parado em equilíbrio no plano inclinado?" Com a participação dos alunos, foi possível anotar as respostas em tabelas disponíveis no roteiro experimental.

Posteriormente os alunos foram instruídos a utilizar um *smartphone* por equipe, sendo manipulado por um integrante da equipe, e a partir do link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1DO-vOMnc1dS5iGrMQGn63XzJ8OacQeId?usp=sharing> ,

baixar o *software* intitulado Rolamento.

Com o *software* instalado e os dados coletados nos experimentos, os alunos efetuaram o cálculo do ângulo de inclinação do plano e o ângulo de equilíbrio dos tubos com grãos de arroz e feijão. Para encerrar essa sequência didática e usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula, os estudantes receberam a atividade que deveriam realizar.

### 5.3.2 Descrição da segunda sequência didática

No primeiro encontro (2 aulas), foi realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint, sobre os conceitos de Oscilações mecânicas, período e frequência, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

No segundo encontro (2 aulas), a turma foi dividida em cinco grupos com dois alunos e receberam o material referente ao roteiro de aula, em anexo no Apêndice E, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, os conteúdos a serem abordados, roteiro experimental e atividade referente às aulas apresentadas. Foi executado o experimento “semicilindro oscilante” com a participação de um aluno por equipe, devido ao PC-COVID, foi possível anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais.

Em seguida, com o *software* intitulado Rolamento já instalado no *smartfone* e os dados coletados no experimento, os alunos foram instruídos a utilizar um *smartphone* por equipe, sendo manipulado por um integrante da equipe, para efetuarem o cálculo do período de oscilação dos tubos com grãos de arroz e feijão.

Após a conclusão desta etapa, os estudantes receberam a atividade que deveriam realizar usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula.

## CAPITULO 6

### 6 RESULTADOS E ANÁLISE DAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

#### 6.1 PRIMEIRA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

No primeiro encontro (2 aulas), foi realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint, sobre os conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas, e a sua relação com os sistemas granulares que estão em anexo no Apêndice B. Os alunos sentiram dificuldades em lembrar o conteúdo revisado, pois alguns tinham frequentado outra unidade escolar e disseram que o professor não tinha explicado esses conteúdos.

No segundo encontro, a turma foi dividida em cinco grupos com dois alunos e receberam o material referente ao roteiro de aula, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, os conteúdos a serem abordados, roteiro experimental e atividade referente às aulas apresentadas.

Como abordagem inicial, foi levantada a seguinte questão: "Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados?" Em seguida foi realizado o seguinte experimento: Obtenção do Ângulo de repouso dos grãos de arroz e feijão.

Com a participação de um aluno por equipe, devido a PC-COVID, foi possível anotar as respostas nas tabelas 2 e 3 disponíveis no roteiro experimental. Após a conclusão desta etapa, os estudantes receberam a atividade que deveriam realizar.

Na atividade 1 a primeira pergunta feita foi: "Na demonstração do ângulo de repouso dos grãos, quais os valores médios obtidos para o diâmetro de amontoado dos grãos e altura do amontoado de grãos?" Sendo os resultados representados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Resultados da primeira pergunta da atividade 1 para os grãos de arroz.

Equipes	altura do amontoado de grãos de arroz (cm)	diâmetro de amontoado dos grãos de arroz (cm)
1	6,2	22,8
2	6,5	22,5
3	7	23
4	6,4	22,7
5	6,4	22,7

Fonte: elaborado pela autora (2021)

Tabela 11 - Resultados da primeira pergunta da atividade 1 para os grãos de feijão.

Equipes	altura do amontoado de grãos de feijão (cm)	diâmetro de amontoado dos grãos de feijão (cm)
1	4	20
2	4,3	20,8
3	4,4	21,2
4	4,2	20,6
5	4,2	20,6

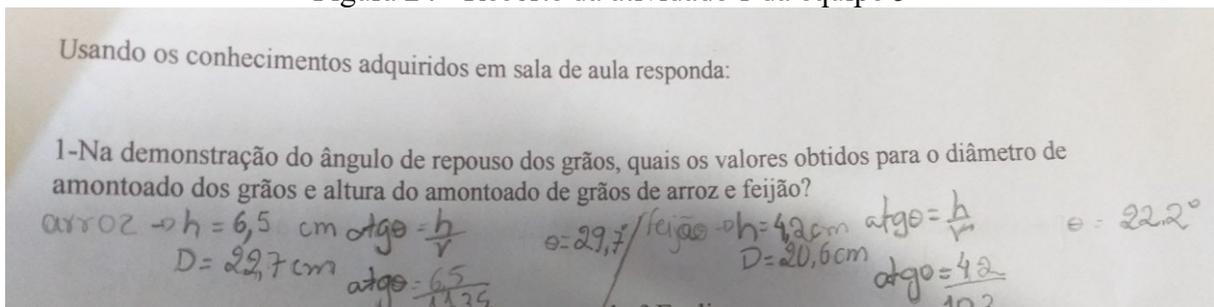
Fonte: elaborado pela autora (2021)

Analisando os valores das equipes, pudemos verificar que as equipes 5 e 6 obtiveram a mesma média. Foi observado pela professora que as leituras com a régua dos valores foram feitas com mais cuidado e precisão pelos alunos.

Na segunda pergunta: Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados? Todas as equipes responderam que existe e a equipe 4 acrescentou em sua resposta: “ *O ângulo de repouso formado entre a pilha de grãos e o plano horizontal sobre o qual o grão permanecerá quando empilhada.* ”. A resposta estava correta diante do material que foi disponibilizado para os alunos.

Na terceira pergunta: Qual o valor da média do ângulo de repouso para os grãos demonstrados no experimento? Conforme os cálculos apresentados pelas equipes 5 e 6, que realizaram as leituras com mais cuidado e precisão, foram obtidos os seguintes valores: ângulo de repouso dos grãos de arroz  $29,7^\circ$  e dos grãos de feijão  $22,2^\circ$ .

Figura 24 - Recorte da atividade 1 da equipe 5



Fonte: elaborado pela autora (2021)

Notou-se que os conhecimentos prévios dos alunos deixam bastante a desejar em termos de Matemática, o que acarretam mais trabalho à professora de Física, que se viu obrigada a revisar conteúdos básicos para poder usar em suas aulas.

Na quarta pergunta: O ângulo de repouso depende do tipo de grãos? Todas as equipes responderam que dependem. As equipes 1 e 2 responderam: *que dependem do tamanho dos grãos e se estão com casca.* As equipes 3 e 5 se restringiram em responder: *Achamos que*

*depende.* A equipe 4 respondeu que: *Sim, pois os grãos que são pequenos e lisos formam pilhas diferentes dos grãos que são grandes e enrugados.* Diante do que foi visto em aula e realizada a leitura da justificativa apresentada no roteiro de aula, a resposta mais correta seria que, a estrutura do material afeta o ângulo de repouso. Os grãos muito pequenos ou lisos que exercem pouca fricção uns sobre os outros tendem a formar pilhas com lados mais rasos, grãos mais ásperos ou que aderem fortemente uns aos outros tendem a formar pilhas com lados mais íngremes e um ângulo mais alto.

Na quinta pergunta: Porque o ângulo de repouso do feijão é menor do que o ângulo de repouso do arroz? As equipes 1,2 e 4 limitaram-se a responder: *Por causa do tamanho dos grãos.* As equipes 3 e 5 resolveram verificar se o tamanho dos grãos eram diferentes antes de responder e medindo com a régua verificaram que realmente o tamanho dos grãos eram bem diferentes e suas formas também. Após terem medido responderam: *Os grãos de feijão utilizados no experimento tinham as seguintes dimensões: comprimento 8 mm, largura 5 mm e espessura 4 mm sendo mais esféricos e formaram um menor ângulo de repouso. Os grãos de arroz tinham comprimento 5 mm, largura 2 mm e espessura 1 mm e formavam um ângulo mais alto.*

Sendo realizadas as medidas de 10 grãos de arroz e 10 grãos de feijão pela professora anteriormente ao experimento, os tamanhos se aproximavam dos valores, para os grãos de feijão utilizados no experimento, possuindo as seguintes dimensões: comprimento 10 mm, largura 6 mm e espessura 5 mm sendo mais esféricos e lisos e tendem a formar um menor ângulo de repouso. Os grãos de arroz utilizados no experimento tinham as seguintes dimensões: comprimento 6 mm, largura 2,5 mm e espessura 1,5 mm (longo fino), mais ásperos, que aderem fortemente uns aos outros e tendem a formar pilhas com um ângulo mais alto.

Na sexta pergunta: O que acontece com a pilha de grãos se colocarmos mais grãos? A equipe 1 respondeu: *ao colocá-los aumentará sua altura e diâmetro dos grãos.* A equipe 2 respondeu: *À medida que os grãos vão sendo colocados, o ângulo de repouso não muda.* A equipe 3 respondeu: *Apenas aumentará a quantidade e conseqüentemente a pirâmide formada pelos grãos.*

A equipe 4 respondeu: *Se colocarmos bem devagar mais grãos eles começam a empilhar um em cima do outro, criando uma pilha de ângulo igual ao medido, em seguida os grãos começam a rolar uns sobre os outros.* A equipe 5 copiou a resposta da equipe 4 e acrescentou: *Os grãos de feijão acontecem a mesma coisa.*

Verificando os slides apresentados e a leitura da justificativa apresentada no roteiro, os alunos poderiam ter respondido de maneira mais completa, pois se adicionarmos mais grãos de arroz ou feijão de cada vez sobre uma superfície plana, estes começam a empilhar-se uns sobre os outros criando uma pilha de ângulo suave, em seguida o ângulo fica demasiadamente íngreme na pilha e alguns grãos deslizam causando pequenas avalanches. À medida que mais grãos são adicionados e o ângulo da pilha aumenta, também o tamanho médio das avalanches aumenta. O ângulo da pilha cessa de aumentar quando este atinge o valor correspondente ao ângulo de repouso.

No terceiro encontro (2 aulas), complementando a 3ª e 4ª aulas, foi realizado o seguinte experimento: Rolamento de tubos de PVC contendo grãos de arroz e feijão com massas diferentes sob um plano inclinado, sendo levantada a seguinte questão: Qual dos tubos ficará parado em equilíbrio no plano inclinado? Com a participação dos alunos, foi possível anotar as respostas em tabelas disponíveis no roteiro experimental.

Figura 25 - Participação dos alunos durante a apresentação



Fonte: Imagens capturadas pela autora (2021)

Nesta etapa de realização do experimento, ocorreu a necessidade da intervenção da professora em vários momentos, como na utilização de uma balança de precisão digital, pois

alguns alunos não sabiam utilizar de maneira correta e na colocação do papel filme nos tubos.

A professora considera que quando os alunos conseguem realizar a prática experimental como um todo, o resultado é mais expressivo e instigante.

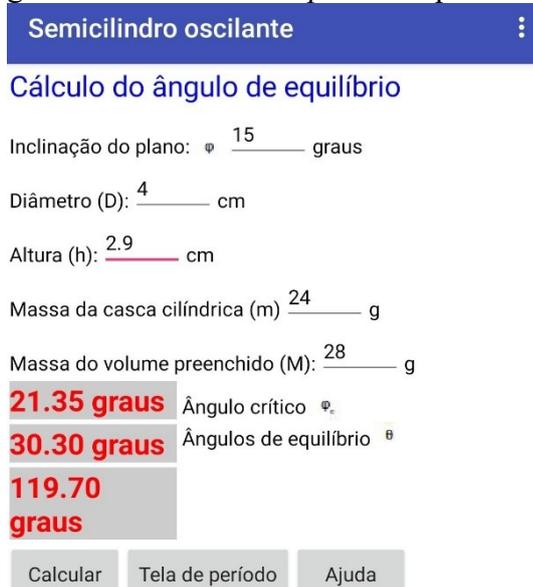
Posteriormente os alunos foram instruídos a utilizar um *smartphone* por equipe, sendo manipulado por um integrante da equipe, e a partir do link abaixo, baixar o *software* intitulado Rolamento.

<https://drive.google.com/drive/folders/1DO-vOMnc1dS5iGrMQGn63XzJ8OacQeId?usp=sharing>

Com o *software* instalado e os dados coletados nos experimentos, os alunos efetuaram o cálculo do ângulo de inclinação do plano e o ângulo de equilíbrio dos tubos com grãos de arroz e feijão.

Os alunos durante esta etapa começaram a comparar os resultados entre as equipes para ver quem conseguiu chegar nos valores que a professora tinha realizado no seu *smartfone*.

Figura 26 - Tela do *smartphone* da professora



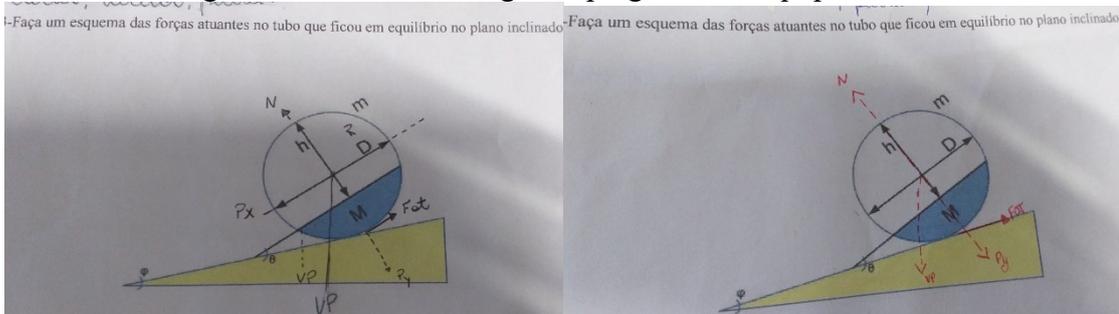
Fonte: Imagens capturadas no celular da autora (2021)

Para encerrar essa sequência didática e usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula, os estudantes receberam a atividade que deveriam realizar.

Na atividade 1, a primeira pergunta feita foi: Com relação à demonstração rolando grãos, qual dos tubos ficou parado em equilíbrio no plano inclinado? Todas as equipes concluíram que foi o tubo 4 com  $\frac{1}{3}$  de massa de grãos de arroz e o tubo com  $\frac{1}{3}$  de massa grãos de feijão.

A segunda pergunta feita foi: Faça um esquema das forças atuantes no tubo que ficou em equilíbrio no plano inclinado. As equipes 1,2 e 3 não conseguiram fazer o esquema das forças atuantes de maneira correta.

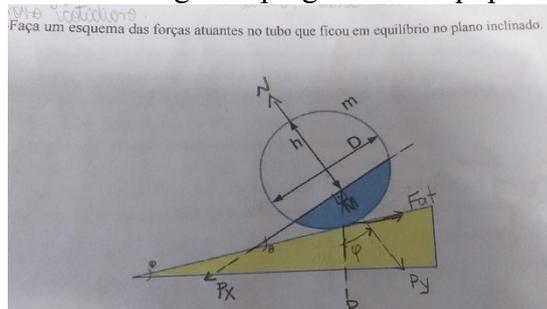
Figura 27 - Recorte da segunda pergunta das equipes 1,2 e 3



Fonte: Acervo da autora (2021)

As equipes 4 e 5 foram as que mais se aproximaram da representação correta.

Figura 28 - da segunda pergunta das equipes 4 e 5.

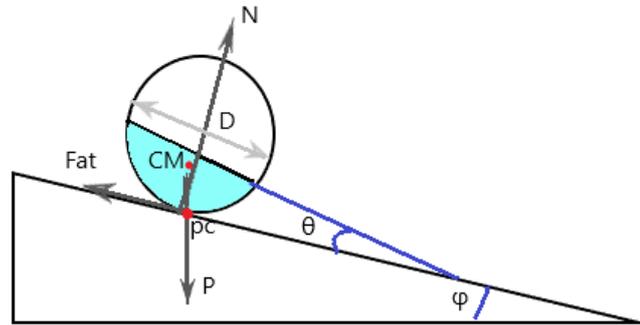


Fonte: Acervo da autora (2021)

Constatou-se a dificuldade na representação das forças atuantes devido ao fato dos alunos não terem visto o conteúdo de sistemas de coordenadas no primeiro ano do ensino médio, relacionadas à decomposição de vetores e não conseguirem relacionar que o centro de massa do cilindro não se encontrava no centro dos eixos  $(x, y)$ .

Após o término desta resposta por todas as equipes a professora esclareceu as dúvidas retomando a revisão de plano inclinado utilizando a figura abaixo com auxílio do quadro e canetas coloridas para quadro.

Figura 29 - Desenho realizado pela professora no quadro



Fonte: Acervo da autora (2021)

A terceira pergunta feita foi: “ A partir dos dados obtidos no experimento, utilize o *software* e calcule: a) O ângulo de inclinação crítico ( $\varphi_c$ ) para os tubos com grãos de arroz e feijão com o plano inclinado. ” b) “O ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) dos tubos de pvc que ficam parados para os grãos de arroz e feijão no plano inclinado. ” Sendo os dados representados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Resultado do ângulo de inclinação crítica da terceira pergunta para os grãos de arroz e feijão

Equipes	ângulo de inclinação crítica ( $\varphi_c$ ) para os tubos com grãos de arroz	ângulo de inclinação crítica ( $\varphi_c$ ) para os tubos com grãos de feijão
1	17,63	16,33
2	18,54	17,17
3	19,47	18,03
4	20,40	18,89
5	21,35	19,76

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 13 - Resultado do ângulo de repouso da terceira pergunta para os grãos de arroz e feijão

Equipes	ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) do tubos de pvc com grãos de arroz	ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) do tubos de pvc com grãos de feijão
1	43,73	31,73
2	39,48	29,25
3	35,95	27,06
4	32,93	25,11
5	31,58	23,36

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Analisando os valores das equipes podemos verificar que as equipes 5 e 6 obtiveram os valores próximos realizados pela professora que observou a leitura com goniômetro dos

valores foram feitas com mais cuidado e precisão pelos alunos dessas equipes e o maior cuidado que essas equipes tiveram para não movimentar o tubo em equilíbrio e fazer as leituras.

A quarta pergunta feita foi: Para que ângulo os tubos de arroz e feijão começam a rolar? Todas as equipes responderam: *para os ângulos menores que o ângulo crítico calculado no aplicativo.*

A quinta pergunta feita foi: Compare os resultados obtidos no experimento e no aplicativo. As equipes 1 e 2 responderam: *os resultados não batem por causa do arredondamento nas leituras feitas.* As equipes 3,4 e 5 foram mais além em acrescentar: *os resultados não batem por causa do arredondamento nas leituras feitas e por causa do tamanho dos grãos.*

A sexta pergunta feita foi: O que você entende por sistemas granulares? As equipes 1 e 2 responderam: *É um sistema formado por grãos de qualquer tipo de material que tenha características de tamanho de grãos diferentes.* As equipes 3, 4 e 5 responderam de forma similar: *É um sistema formado por grãos de arroz, feijão, areia, milho e brita que tem tamanho de grãos diferentes.* Analisando as respostas, todas as equipes tiveram respostas satisfatórias com relação ao roteiro da aula que foi entregue no início.

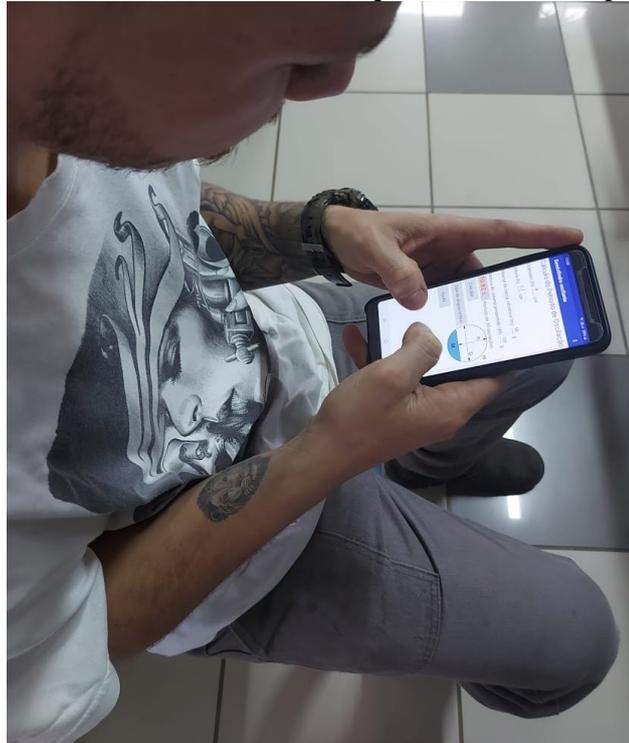
## 6.2 SEGUNDA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

No primeiro encontro (2 aulas), foi realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint, sobre os conceitos de Oscilações mecânicas, período e frequência, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares que estão em anexo no Apêndice D.

No segundo encontro (2 aulas), a turma foi dividida em cinco grupos com dois alunos e receberam o material referente ao roteiro de aula, em anexo no Apêndice E, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, conteúdo a serem abordados, roteiro experimental e atividade referente às aulas apresentadas. Foi executado o experimento semicilindro oscilante com a participação de um aluno por equipe, devido ao PC-COVID, foi possível anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais.

Em seguida, com o *software* intitulado Rolamento já instalado no *smartphone* e os dados coletados no experimento, os alunos foram instruídos a utilizar um *smartphone* por equipe, sendo manipulado por um integrante da equipe, para efetuarem o cálculo do período de oscilação dos tubos com grãos de arroz e feijão.

Figura 30 - Aluno utilizando o aplicativo no *smartphone*



Fonte: imagem capturada pela autora - 2021

Após a conclusão desta etapa, os estudantes receberam a atividade que deveriam realizar usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula.

Na atividade 3, a primeira pergunta feita foi: Podemos considerar o movimento dos tubos de PVC como um movimento harmônico simples? As equipes 1 e 2 responderam: *Sim, pois os tubos mexem-se de um lado para outro até cessar o movimento.* As equipes 3,4 e 5 foram mais além em acrescentar: *O movimento periódico oscilatório em que o tubo se move, para frente e para trás num ponto de referência sobre uma superfície reta onde a quantidade da força que tende a levá-lo a um ponto de referência contrário.* O conhecimento de todas as equipes ainda está relacionado ao pêndulo de um relógio, que foi difícil para o professor desmistificar a relação.

Na segunda pergunta feita: Por que não há oscilação no tubo de pvc cheio e vazio? As equipes responderam: *pois o centro de massa do tubo não exerce nenhum tipo de força para o tubo deslocar no sistema vai e vem.* O conceito de centro de massa não foi totalmente assimilado pelos alunos, pois nunca tinham visto o conteúdo, necessitando um aprofundamento maior.

Na terceira pergunta feita: Qual o valor do período e da frequência calculados para o tubo 3? Sendo representados nas Tabelas 14 e 15.

**Tabela 14- Valores de período e frequência para os tubos de PVC com grãos de arroz**

Equipes	Frequência(1/s)	Período (s)
1	2	0,5
2	2,5	0,4
3	2	0,5
4	1,3	0,7
5	1,5	0,6

Fonte: elaborada pela autora (2021)

**Tabela 15- Valores de período e frequência para os tubos de PVC com grãos de feijão**

Equipes	Frequência(1/s)	Período (s)
1	2,5	0,4
2	2	0,5
3	4	0,25
4	1,6	0,625
5	1,3	0,76

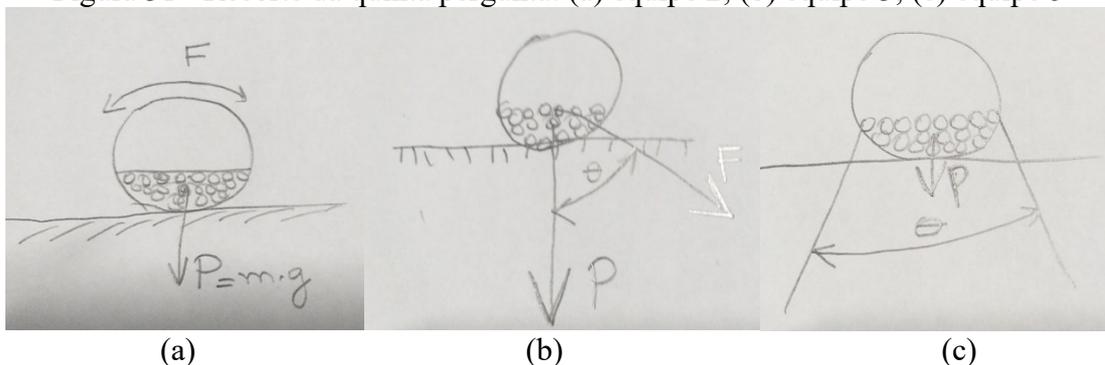
Fonte: elaborada pela autora (2021)

As equipes notaram que os valores das frequências estavam muito próximos por causa do uso do cronômetro do *smartphone* ao ser acionado e desligado muito rápido.

Na quarta pergunta feita: Quais as possíveis causas da diferença entre os valores calculados e obtidos experimentalmente? As equipes 1, 3 e 4 responderam: *a fixação incorreta do fio*. As equipes 2 e 5 responderam: *a aproximação do tempo no cronômetro no celular*.

Na quinta pergunta feita: Faça um diagrama de forças e torques para demonstrar porque o cilindro oscila. As equipes 1 e 4 não conseguiram fazer o esquema das forças atuantes. As equipes 2,3 e 5 não conseguiram fazer o esquema das forças atuantes de maneira correta.

Figura 31 - Recorte da quinta pergunta: (a) equipe 2; (b) equipe 3; (c) equipe 5



Fonte: elaborado pelos alunos das equipes 2, 3 e 5 (2021)

Diante das respostas das equipes a professora retornou ao quadro e retomou a definição de torque e colocou no quadro as forças que atuam no cilindro.

## CAPITULO 7

### 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta foi desenvolvida numa turma de 3º ano do ensino médio inovador de uma escola pública composta por doze alunos, no período vespertino, devido às regras de distanciamento social descritas no Plano de Contingência da COVID-19 da Secretaria de Educação de Santa Catarina.

A pandemia nos impôs repensar a maneira com que a professora iria se relacionar com os alunos e os métodos utilizados para ensinar e avaliar diante da limitação de distanciamento social, pois a temática abordava a construção e aplicação de roteiros de experimentação contrastando o comportamento de sistemas granulares com os sistemas físicos típicos que abordam conceitos relacionados à Mecânica.

As atividades experimentais tiveram que ser realizadas com um número pequeno de alunos por grupo, por isso recomendamos que para posteriores estudos sejam realizados ajustes, como uma maior divisão de grupos e possível extensão no tempo de execução da metodologia, para o caso de um número maior de alunos.

Os alunos sentiram-se motivados na realização dos experimentos, pois nunca tiveram contato com experimentação em Física e uso de novas tecnologias como o aplicativo Rolamento.

A utilização de sistemas granulares como arroz e feijão deve-se a escola estar situada em uma região produtora de ambos tipos de grãos, facilitando assim a contextualização dos alunos, criando um ambiente propício para trazer o conhecimento físico para a realidade do aluno de uma forma diferenciada, apresentando os conteúdos da Física com uma abordagem diferente do que se tem normalmente na escola.

A construção e aplicação de roteiros de experimentação contrastando o comportamento de sistemas granulares com os sistemas físicos típicos da mecânica são de grande importância para os alunos que ingressaram em uma universidade.

O objetivo de desenvolver um produto educacional na forma de uma sequência didática e apresentar um relato de sua aplicação para estudantes que estão concluído o ensino médio, priorizando a consolidação da interdisciplinaridade e ampliando a possibilidade de o aluno ingressar no ENEM, surgiu com a verificação de algumas questões do ENEM que

envolvem situações-problema contextualizadas e interdisciplinares, desviando-se assim de questões muito restritas aos discursos disciplinares.

A metodologia de revisão dos conteúdos abordados no primeiro ano do ensino médio, como as Leis de Newton, oscilações, período e frequência foram de grande importância para os alunos existindo uma maior compreensão, pois havia uma grande defasagem de conhecimento adquirido pelos mesmos.

Durante a realização do experimento da determinação do ângulo de equilíbrio para um cilindro semipreenchido em equilíbrio estático em um plano inclinado, alguns resultados experimentais das grandezas físicas puderam ser comparados com os resultados obtidos no software utilizado, ratificando a abordagem experimental e tornando significativo a utilização das Leis de Newton.

Cabe ao professor de Física do Ensino Médio, ao incorporar tais experimentos nas aulas experimentais, iniciar a utilização de experimentos e novas tecnologias desde o primeiro ano do ensino médio, como motivador para as aulas teóricas, focando nas Leis de Newton e nos cálculos de decomposição de vetores, sendo necessário também, a abordagem dos cálculos do centro de massa para objetos extensos e em questões teóricas envolvendo sistemas granulares.

Sugerimos a utilização de diversos tipos de sistemas granulares, o professor poderá explorar sistemas que estejam relacionados com o cotidiano da comunidade escolar e analisar suas propriedades físicas e químicas de maneira interdisciplinar.

## REFERÊNCIAS

- (ARAÚJO, 2002) ARAÚJO, M.S.T.; ABIB, M.L.V.S. **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.25, n.2: p.176-194, 2002.
- (AZEVEDO, 2008) AZEVEDO, L. F; OLIVEIRA, T. P; PORTO, A. G; SILVIA, F. S. **A capacidade estática de armazenamento de grãos no Brasil**. Artigo do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, RJ, p.04-05, 2008.
- (Brasil 2018) Brasil, Ministério da Educação e do Desporto, Secretaria de Educação Fundamental, **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br> Acesso em: 20 ago.2020
- (Brasil 1998a) Brasil, Ministério da Educação e do Desporto, Secretaria de Educação Fundamental, **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEF, 1998a.
- (Brasil 1998b) Brasil, Ministério da Educação e do Desporto, Secretaria de Educação Fundamental, **Parâmetros Curriculares Nacionais Introdução**. Brasília: MEC/SEF, 1998b.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; SASSERON, Lúcia Helena. **Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores**. Estud. av., São Paulo , v. 32, n. 94, p. 43-55, Dec. 2018 . Disponível em: Acesso em: 02 Apr. 2020.
- (CASTRO, 2020) CASTRO, E. da M. de; VIEIRA, N. R. de A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. da. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p. Disponível em: < [http://www.cnpaf.embrapa.br/transferecia/informacoestecnicas/publicacoesonline/circular tecnica\\_34.pdf](http://www.cnpaf.embrapa.br/transferecia/informacoestecnicas/publicacoesonline/circular tecnica_34.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2020
- CHAIKLIN, Seth. **A zona de desenvolvimento próximo na análise de Vygotsky sobre aprendizagem e ensino**. 2011, vol.16, n.4, pp.659-675. ISSN 1413-7372. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pe/a/jCGfKbkrHPCr8KyZD4xjB3C/?lang=pt> Acesso em 18 de mai. 2020.
- DUARTE, S. E. **Física para o Ensino Médio Usando Simulações e Experimentos de Baixo Custo: Um exemplo Abordando Dinâmica da Rotação**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, p. 525-542, Setembro 2020.
- (DURAN, 2000) J. DURAN, Sands, **Powders, and Grains: An Introduction to the Physics of Granular Materials**, Springer, New York (2000).
- (FONSECA, 1972) FONSECA A. , 1972. **Curso de Mecânica - volume III. Dinâmica**. Ao Livro Técnico S. A., Rio de Janeiro.
- (GASPAR, 2005) GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky**, IENCI, Agosto de 2005, v. 10, n. 2, pp 161 – 178.

(GUIMARÃES, 2011) Guimarães.V. 2011, **Física I para Oceanografia Instituto de Física-Aula – 10**: Rolamento e momento angular Universidade de São Paulo.

(HALLIDAY, 2009) D. Halliday et al., **Fundamentos da Física**. v. 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais ANÍSIO TEIXEIRA. Sinopse **Estatísticas do Exame Nacional do Ensino Médio 2018**. Brasília: INEP, 2019 Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/sinopses-estatisticas-do-enem>, acesso em: 08/04/2020.

[JAEGER et al] JAEGER, H. M.; NAGEL, S. R.; BEHRINGER, R. P. **Granular solids, liquids, and gases**. Reviews of Modern Physics, v. 68, n. 4, p. 1259–1273, 1996.

(KENSKY, 2007) KENSKY, Vani Moreira. **Educação e tecnologias**: o novo ritmo da informação. Campinas,SP: Papirus, 2007.

(LOPEZ, 2008) J. Lopez1, A. Vercik e E.J.X. **Meios granulares e experimentos simples para a sala de aula**. Costa Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1308 (2008) [www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)

(MONTEIRO, 2002) MONTEIRO, Isabel C. de Castro. **As atividades experimentais de demonstração em sala de aula** – Uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotski. Bauru, 2002. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, UNESP.

(MOREIRA, 2011) Moreira, Ana Claudia. **Uma Visão Vygotskyana das Atividades experimentais de Física** Publicadas em Revistas de ensino de Ciências / Ana Claudia Souza Moreira – Salvador: UFBA, 2011. 101 f.

(NUSENZVEIG, 1996) NUSENZVEIG H. M., 1996. **Curso de Física Básica**. 1-Mecânica. Editora Edgar Blucher, S. Paulo.

(NUSENZVEIG, 2002) H. M. Nussenzveig, **Física Básica - Mecânica**. vol 1. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

(OLIVEIRA, 1997) OLIVEIRA , M. K. **Vygotsky – Aprendizado e desenvolvimento**: Um processo sócio histórico. São Paulo: Scipione, 1997.

(PABLOS) PABLOS, S. P. traduzido por GONÇALVES, L. R. M. **Sete motivos para ligar o celular na sala de aula**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319986811> Acesso em 06 nov de 2020.

(PEREIRA, 2017) PEREIRA J. A.; PEREIRA J. C. A.; SILVA R. C. DA; CARVALHO R. DO O.; FEITOSA R. M. **Determinação das propriedades físicas de grãos de feijão caupi**. V. 1, 2017, ISSN 2526-186X.

ROSA, C. W. D.; ROSA, Á. B. D. **O ensino de ciências (Física) no Brasil**: da história às novas orientações educacionais. Revista Iberoamericana de Educación, v. 58, n. 2 , 2012.

Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.13, n.1, p.27-35, 2011, ISSN 1517-8595

(TAVARES, 2018) Tavares, Abraão Marques **T231s Simulação de materiais granulares aplicada a transportadores de correia.** / Abraão Marques Tavares. – Belo Horizonte, 2018.

(TIPLER, 2002) P. A Tipler e G . Mosca, **Física para cientistas e engenheiros.** vol. 1. 6. ed. São Paulo: LCT. 2002.

UNESCO BRASIL. **Ensino de Ciências: o futuro em risco.** 2005. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001399/139948por.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020.

UNESCO. **Diretrizes de políticas para a aprendizagem móvel.** Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org> Acesso em 06 nov 2020.

(VEIT, 2004) Veit E. A. & Mors. P. M., **Física Geral Universitária: Mecânica.** Porto Alegre, 2004.

(VIGOTSKY, 1987) VIGOTSKY, L.S. **Pensamento e Linguagem.** São Paulo, Martins Fontes, 1987.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. **A formação social da mente.** 6.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

VYGOTSKY, L. S. **O desenvolvimento psicológico na infância.** São Paulo: Martins Fontes, 1999.

MOREIRA, M. A. Teorias da Aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999

COSTA, Josemerto Rosendo Da et al.. **O professor mediador e o ensino de física: das teorias a uma possibilidade prática.** Anais IV CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/37896>>. Acesso em: 28/02/2021

ZANELLA, Andréa Vieira. **Zona de desenvolvimento proximal: análise teórica de um conceito em algumas situações variadas.** Temas psicol., Ribeirão Preto , v. 2, n. 2, p. 97-110, ago.1994.

(CORRÊA,2008) CORRÊA, Paulo César; SILVA, J. S. **Estrutura, composição e propriedades dos grãos.** SILVA, JS Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. 2ª. ed. Viçosa:[sn], Cap, v. 2, 2008.

MONTEIRO, I. C. C. **Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky.** Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.10, n.2, p. 227-254, ago. 2005.

SOBRINHO JUNIOR, J. F.; MORAES, C. de C. P. **Orientações e instigações presentes na base nacional comum curricular quanto ao uso de tecnologias digitais no ensino.** Revista Prática Docente, [S. l.], v. 6, n. 3, p. e079, 2021.

**ANEXO 1**  
**PRODUTO EDUCACIONAL**

**MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA**

**ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM  
ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO  
MÉDIO.**

**Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel**

**Orientador: Dr. Mauricio Girardi**

Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal  
de Santa Catarina Mestrado Profissional em Ensino  
de Física (MNPEF)

**Campus Araranguá**

## APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a):

Este produto educacional, intitulado Abordagem de sistemas granulares com ênfase em atividades experimentais nas aulas de Física no Ensino Médio, foi desenvolvido para a conclusão do curso de Mestrado Profissional Nacional do Ensino em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Este guia de apoio descreve a construção e aplicação de roteiros de experimentação contrastando o comportamento de sistemas granulares com os sistemas físicos típicos que abordam conceitos relacionados à Mecânica, aplicados a turma do 3º ano do ensino médio, com objetivo de revisar o conteúdo e desenvolver um produto educacional na forma de uma sequência didática e apresentar um relato de sua aplicação para estudantes que estão concluindo o ensino médio.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA .....</b>	<b>79</b>
1.1	Roteiro de aula - Tema - Mecânica.....	79
1.2	Roteiros experimentais - Ângulo de repouso dos grãos e Rolando grãos.....	82
1.3	Roteiro de aula - Tema - Mecânica.....	97
1.4	Roteiro experimental - Semicilindro oscilante.....	99
<b>2</b>	<b>PLANO DE ENSINO DA PRIMEIRA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....</b>	<b>1055</b>
2.1	Primeiro encontro .....	105
2.2	Segundo encontro .....	105
2.3	Terceiro encontro .....	106
<b>3</b>	<b>PLANO DE ENSINO DA SEGUNDA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....</b>	<b>107</b>
3.1	Primeiro encontro .....	107
3.2	Segundo encontro .....	107
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>109</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>110</b>

## 1 MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.**

### 1.1 ROTEIRO DE AULA

**PROFESSORA:** Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

**Tema:** MECÂNICA

**Disciplina:** Física

**Série, Nível:** 3º ano do Ensino Médio

**Números de aulas:** 6 horas/aula

#### Introdução

As diversas estratégias e atividades realizadas pelos professores têm despertado a aprendizagem significativa, principalmente em disciplinas da área de Ciências da Natureza, consideradas de difícil compreensão por muitos alunos. Nesse sentido, propõe-se explorar o conteúdo de Mecânica vinculado ao uso da experimentação para revisão sobre os conceitos de forças de rolamento em rampa associado a sistemas granulares.

Os sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

Figura 32 - Sistemas granulares



Fonte: elaborada pela autora (2021)

Existe, portanto, uma demanda da indústria por descrições mais precisas dos fenômenos envolvendo materiais granulares e, além disso, o estudo desses fenômenos se tornou relevante para os físicos por envolver muitos conceitos fundamentais sobre outras áreas da física.

A área da física que envolve esses estudos é a Mecânica Clássica, que vão desde a utilização da roda na navegação e, nos dias de hoje, através dos equipamentos de armazenamento de grãos em silos, sistemas de partículas que podem ditar fluxo das avalanches, a qualidade do concreto na construção civil e até mesmo a mistura de fármacos para a produção de medicamentos, entre outros.

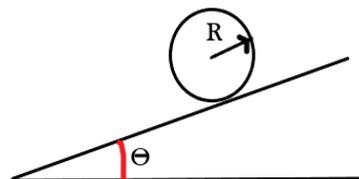
As avalanches podem ocorrer espontaneamente quando a inclinação do material granular excede um certo ângulo crítico ou podem ter início a ângulos menores que o crítico, quando se aplicam pequenas perturbações nos meios granulares. A adição de novos grãos provoca avalanches que tendem a manter o ângulo de inclinação em torno de seu valor crítico, que é mais ou menos constante.

Desta forma, conhecer as propriedades e os efeitos que as forças de rolamento causam em certos sistemas granulares remetem a aspectos quantitativos e conceituais, importantes no conhecimento do estudante referente ao desenvolvimento da Mecânica.

O plano inclinado é tratado em todos os livros de mecânica de física básica, nos quais aparece como um dos primeiros exemplos das aplicações das leis de Newton. Em geral, é encontrado em rampas, esteiras rolantes, morros e ladeiras que são superfícies comuns no cotidiano.

O plano inclinado pode ser caracterizado pelo seu ângulo  $\theta$  de inclinação com a horizontal. Esse sistema aparece na seguinte figura abaixo.

Figura 33 - Representação de plano inclinado



Fonte: elaborada pela autora (2021)

Se um cilindro desce por um plano inclinado rolando sem deslizar, a componente da força gravitacional paralela ao plano inclinado faz com que a velocidade do seu centro de massa

varie. Então, para que a região do cilindro em contato com a pista de rolamento fique em repouso deve haver uma força que resiste ao deslizamento, o atrito estático.

No caso de uma certa quantidade de materiais granulares compostos por pequenas partículas sólidas despejados de uma certa altura sobre um determinado local, verifica-se que esta tende a formar um monte de forma cônica, sendo o ângulo de repouso dos grãos aproximadamente igual ao ângulo de atrito estático, enquanto há equilíbrio, o ângulo  $\theta$  é inferior ao ângulo de atrito estático ( $\theta_e$ ).

### **Objetivo geral**

Possibilitar ao aluno compreender as propriedades, os conceitos e as definições presentes na Mecânica com enfoque em sistemas granulares.

### **Objetivos específicos:**

O aluno deverá ser capaz de:

- Rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton.
- Identificar os tipos de forças que agem nos sistemas granulares em um rolamento.
- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de software

### **Conhecimentos:**

- I. Leis de Newton
- II. Plano Inclinado
- III. Rolamento
- IV. Torque
- V. Centro de Massa

### **Pedagógico:**

- I. Aula expositiva
- II. Execução do experimento

III. Coleta de dados

IV. Utilização do aplicativo de software

### **1ª e 2ª aulas**

Nessa aula, será realizada uma revisão, com auxílio de slides de Powerpoint, sobre os conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

### **3ª e 4ª aulas**

Como abordagem inicial, será levantada a seguinte questão: "Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados? "

Em seguida, será realizado o seguinte experimento: Obtenção do Ângulo de repouso dos grãos de arroz e feijão. Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais.

### **5ª e 6ª aulas**

Complementando a 3ª e 4ª aulas, será realizado o seguinte experimento:

Rolamento de tubos de PVC contendo grãos de arroz e feijão com massas diferentes sob um plano inclinado.

Levantar a seguinte questão: "Qual dos tubos ficará parado em equilíbrio no plano inclinado? "

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência, utilizar o aplicativo de *software*.

## **1.2 ROTEIROS EXPERIMENTAIS**

### **1- ÂNGULO DE REPOUSO DOS GRÃOS**

Materiais necessários

01 garrafa PET

01 tripé metálico

01 garra metálica

01 régua graduada

01 folha de papel milimetrado

01 canudo plástico

01 estilete

Fita adesiva

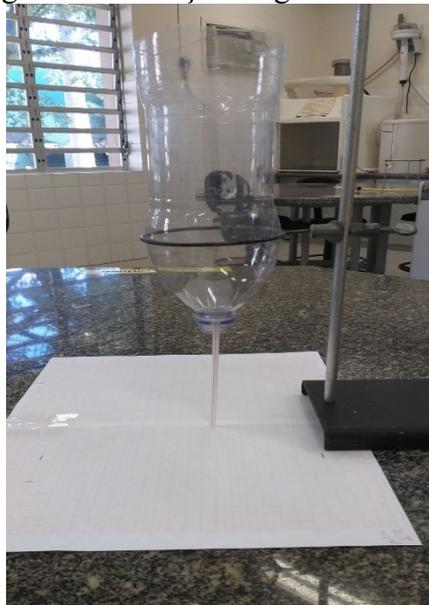
Grãos de arroz

Grãos de feijão

### **Procedimentos**

Corte o fundo da garrafa PET com o estilete e prenda com auxílio de uma fita adesiva um canudo plástico cortado ao meio. Em seguida, prenda a garrafa PET, com auxílio de um aro metálico, no suporte metálico. (Figura 34)

Figura 34 - Fixação da garrafa de PET



Fonte: Acervo da autora (2021)

Em seguida coloque uma folha de papel milimetrado centralizado em direção a boca da garrafa sobre uma superfície plana. Despeje o arroz dentro da garrafa e abra a tampa da garrafa na parte inferior.(Figura 35)

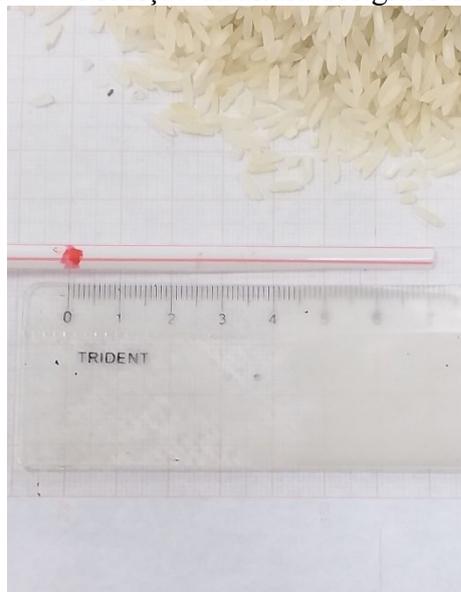
Figura 35 - Despejamento dos grãos de arroz



Fonte: Acervo da autora (2021)

Aguarde os grãos se acomodarem em forma de cone. Marque com uma caneta marca texto a altura e retire cuidadosamente o canudo plástico e meça a altura do amontoado de grãos marcado no canudo com a régua graduada e o diâmetro formado na folha de papel milimetrada. (Figura 36)

Figura 36 - Medição da altura dos grãos de arroz



Fonte: Acervo da autora (2021)

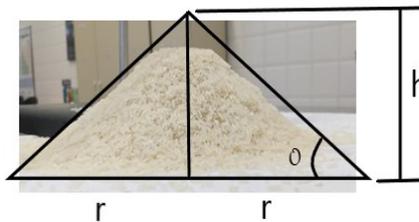
Anote na Tabela 2 as informações para os grãos de arroz e na Tabela 3 as informações para os grãos de feijão. Faça o teste no mínimo três vezes o procedimento para os grãos de arroz e feijão para calcular a média das medidas. (Figura 36 - Medição da altura dos grãos de arroz).

Figura 37 - Despejamento dos grãos de feijão



Fonte: Acervo da autora (2021)

Faça as medidas e responda às atividades propostas.



Cálculo do ângulo de repouso dos grãos

$$\theta = \arctg (h/r)$$

Tabela 2 - Informações sobre a altura do amontoado de grãos e diâmetro do amontoado de grãos de arroz

Teste	Altura do amontoado de grãos (cm)	Diâmetro do amontoado de grãos (cm)	Ângulo de repouso dos grãos (°)	Ângulo médio de repouso dos grãos (°)
1	6,2	22,8	28,53	29,9
2	6,5	22,5	30,01	
3	7	23	31,3	

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 3 - Informações sobre a altura do amontoado de grãos e diâmetro do amontoado de grãos de feijão

Teste FEIJÃO	Altura do amontoado de grãos (cm)	Diâmetro do amontoado de grãos (cm)	Ângulo de repouso dos grãos (°)	Ângulo médio de repouso dos grãos (°)
1	4	20	21,82	22,2
2	4,3	20,8	22,46	
3	4,4	21,2	22,54	

Fonte: elaborada pela autora (2021)

### ATIVIDADE 1

Usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula responda:

1 - Na demonstração do ângulo de repouso dos grãos, quais os valores médios obtidos para o diâmetro de amontoado dos grãos e altura do amontoado de grãos?

**Resposta:** Para os grãos de arroz os valores são respectivamente, 11,38 cm e 6,56 cm.

Para os grãos de feijão os valores são respectivamente, 10,33 cm e 4,23 cm.

2 - Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados?

**Resposta:** Existe, é o ângulo de repouso formado entre a pilha de grãos e o plano horizontal sobre o qual o grão permanecerá quando empilhada.

3 - Qual o valor da média do ângulo de repouso para os grãos demonstrados no experimento?

**Resposta:** Conforme o cálculo do ângulo de repouso dos grãos de arroz

$$\theta = \arctg (h/r) = \frac{6,56}{11,38} = 29,9^\circ$$

Conforme o cálculo do ângulo de repouso dos grãos de feijão

$$\theta = \arctg (h/r) = \frac{4,23}{10,33} = 22,2^\circ$$

4 - O ângulo de repouso depende do tipo de grãos?

**Resposta:** Sim, a estrutura do material afeta o ângulo de repouso. Os grãos muito pequenos ou lisos que exercem pouca fricção uns sobre os outros tendem a formar pilhas com lados mais

rasos, grãos mais ásperos ou que aderem fortemente uns aos outros tendem a formar pilhas com lados mais íngremes e um ângulo mais alto.

**5 -** Porque o ângulo de repouso do feijão é menor do que o ângulo de repouso do arroz?

**Resposta:** Os grãos de feijão utilizados no experimento têm as seguintes dimensões: comprimento 10 mm, largura 6 mm e espessura 5 mm sendo mais esféricos e lisos e tende a formar um menor ângulo de repouso. Os grãos de arroz utilizados no experimento têm as seguintes dimensões: comprimento 6 mm, largura 2,5 mm e espessura 1,5 mm (longo fino) mais ásperos que aderem fortemente uns aos outros tendem a formar pilhas com um ângulo mais alto

**6 -** O que acontece com a pilha de grãos se colocarmos mais grãos?

**Resposta:** Se adicionarmos mais grãos de arroz ou feijão de cada vez sobre uma superfície plana, estes começam a empilhar-se uns sobre os outros criando uma pilha de ângulo suave, em seguida o ângulo fica demasiadamente íngreme na pilha e alguns grãos deslizam causando pequenas avalanches. À medida que mais grãos são adicionados e o ângulo da pilha aumenta, também o tamanho médio das avalanches aumenta. O ângulo da pilha cessa de aumentar quando este atinge o valor correspondente ao ângulo de repouso.

## 2 - ROLANDO OS GRÃOS

Materiais necessários

- 04 pedaços de tubo de PVC de 4 cm x 6 cm de comprimento.
- Papel filme
- 200g de arroz (aproximadamente)
- 200g de feijão (aproximadamente)
- 01 Balança digital
- Fita adesiva
- 01 Tesoura
- 01 Espátula
- 01 rampa de madeira (conforme figura 25).
- 01 goniômetro ou transferidor
- 01 *smartphone*

## Procedimentos

Com o auxílio de uma balança, pese o tubo vazio e tare a balança (figura 38)

Figura 38 - Fixação do papel filme



Fonte: Acervo da autora (2021)

Em seguida, com uma espátula, preencha totalmente com os grãos o segundo tubo de pvc e feche o outro lado do tubo também com papel filme e fita adesiva. Pese na balança e anote o total da massa. Para o terceiro tubo coloque 2/3 da massa total, o quarto tubo com 1/3 da massa total. (Figura 39)

Figura 39 - Tubos de PVC com grãos de arroz



Fonte: Acervo da autora (2021)

Utilize a rampa de madeira sobre uma mesa, colocando no transferidor de marcação acoplado na rampa de madeira um ângulo de inclinação ( $\varphi$ ) inicial de  $10^\circ$  e aperte o parafuso em forma de borboleta. Solte o primeiro tubo de pvc e na sequência os demais. Observe e anote na tabela 4 todas as informações.

Figura 40 - Rampa de madeira com início do rolamento do tubo de PVC



Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 41 - Rampa de madeira com o fim do rolamento do tubo de PVC



Fonte: Acervo da autora (2021)

Faça o experimento para vários ângulos de inclinação, de grau em grau, observando o tubo que vai ficar parado. (Figura 1)

Com auxílio do goniômetro, faça a leitura do ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) do tubo de PVC com grãos de arroz, que ficou parado e anote na tabela 5 (Figura 43).

Para os grãos de feijão, repita o mesmo procedimento anotando nas Tabela 6 e Tabela 7.

Figura 42 - Goniômetro



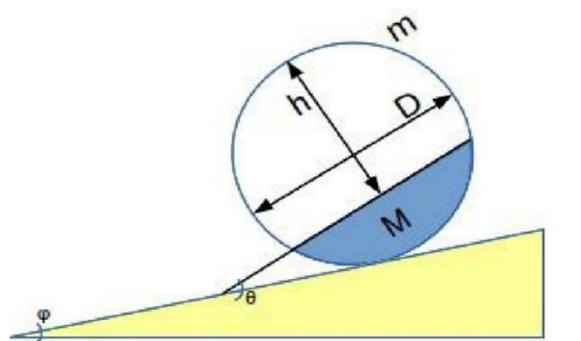
Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 43 - Medição com o goniômetro do ângulo de equilíbrio do tubo de PVC em equilíbrio



Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 44 - Medidas do tubo de PVC em equilíbrio



Fonte: Acervo da autora (2021)

Tabela 4 - Informações referentes a altura da massa de grãos e massa dos tubos de PVC e observações do experimento com grãos de arroz

Tubos de pvc	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Massa dos tubos de pvc com grãos (g)	Observações do movimento dos tubos
1º tubo (vazio)	4	24	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
2º tubo (cheio)	0	100	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
3º tubo ( $\frac{2}{3}$ da massa)	2,5	57	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
4º tubo ( $\frac{1}{3}$ da massa)	2,9	28	o tubo de PVC ficou em equilíbrio no plano inclinado

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 5 - Informações referentes ao experimento de rolamento do tubo de PVC com grãos de arroz em equilíbrio.

Ângulo de inclinação ( $\varphi$ )	Ângulo de equilíbrio ( $\theta$ )	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Diâmetro do tubo de PVC (D) (cm)	Massa do tubo de PVC vazio (m) (g)	Massa de grãos (M) (g)
15	30	2,9	4	24	28

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 6 - Informações referentes a altura da massa de grãos e massa dos tubos de PVC e observações do experimento com grãos de feijão

Tubos de pvc	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Massa dos tubos de pvc com grãos (g)	Observações do movimento dos tubos
1º tubo (vazio)	0	24	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
2º tubo (cheio)	4	97	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
3º tubo ( $\frac{2}{3}$ da massa)	2,1	48	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
4º tubo ( $\frac{1}{3}$ da massa)	3	24	o tubo de PVC ficou em equilíbrio no plano inclinado

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 7 - Informações referentes a demonstração de rolamento dos tubos de PVC com grãos de feijão.

Ângulo de inclinação ( $\varphi$ )	Ângulo de equilíbrio ( $\theta$ )	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Diâmetro do tubo de PVC (D) (cm)	Massa do tubo de PVC vazio (m) (g)	Massa de grãos (M) (g)
11	22	3	4	24	24

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Em seguida o aluno utilizará o seu *smartphone* e a partir do link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1DO-vOMnc1dS5iGrMQGn63XzJ8OacQeId?usp=sharing>

irá baixar o *software* intitulado Rolamento.(Figura 45)

Figura 45 - Página inicial do aplicativo



Fonte: Acervo da autora (2021)

Com o aplicativo pronto para uso, o aluno irá visualizar o ícone Rolamento e irá clicar em cima e aparecerá a tela inicial do experimento. (Figura 1Figura 46).

Figura 46 - Tela inicial do experimento

Semicilindro oscilante

### Cálculo do Período de Oscilação

Diâmetro (D): — cm

Altura (h): — cm

Massa da casca cilíndrica (m): — g

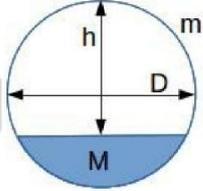
Massa do volume preenchido (M): — g

Período de 20 oscilações

Calcular

Tela de ângulo crítico

Ajuda



Fonte: Acervo da autora (2021)

Clique no ícone Tela de ângulo crítico e insira os dados coletados na tabela C. Após ter inserido os dados, clique em Calcular.

Figura 47 - Tela do cálculo do ângulo de equilíbrio do arroz

Semicilindro oscilante

### Cálculo do ângulo de equilíbrio

Inclinação do plano:  $\varphi$  15 graus

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 2.9 cm

Massa da casca cilíndrica (m) 24 g

Massa do volume preenchido (M): 28 g

**21.35 graus** Ângulo crítico  $\varphi_c$

**30.30 graus** Ângulos de equilíbrio  $\theta$

**119.70 graus**

Calcular Tela de período Ajuda

Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 48 - Resultado calculado pelo aplicativo para o experimento do ângulo de equilíbrio do tubo de PVC com grãos de feijão

Semicilindro oscilante

### Cálculo do ângulo de equilíbrio

Inclinação do plano:  $\varphi$  11 graus

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 3 cm

Massa da casca cilíndrica (m) 24 g

Massa do volume preenchido (M): 24 g

**20.64 graus** Ângulo crítico  $\varphi_c$

**21.77 graus** Ângulos de equilíbrio  $\theta$

**136.23 graus**

Calcular Tela de período Ajuda

Fonte: Acervo da autora (2021)

## ATIVIDADE 2

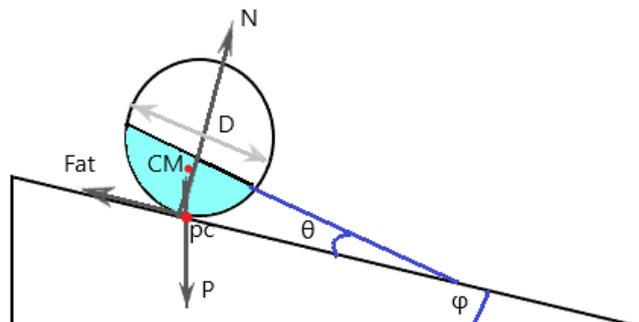
Usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula responda:

1 - Com relação à demonstração rolando grãos, qual dos tubos ficou parado em equilíbrio no plano inclinado?

**Resposta:** O tubo 4 com  $\frac{1}{3}$  de massa de grãos de arroz e o tubo com  $\frac{1}{3}$  de massa grãos de feijão.

2 - Faça um esquema das forças atuantes no tubo que ficou em equilíbrio no plano inclinado.

**Resposta:**



Legenda da figura:

$D$  = diâmetro do tubo de PVC

$N$  = força normal

$P = Mg$  peso do tubo de PVC

$p_c$  = Ponto de contato com o plano inclinado

Fat = Força de atrito

CM = Centro de massa

$\theta$  = ângulo de equilíbrio do tubo de PVC

$\varphi$  = ângulo de inclinação do plano com a horizontal

**3** - A partir dos dados obtidos no experimento, utilize o software e calcule:

**a)** O ângulo de inclinação crítico ( $\varphi_c$ ) para os tubos com grãos de arroz e feijão com o plano inclinado.

**Resposta:** O ângulo de inclinação crítico ( $\varphi_c$ ) para os grãos de arroz tem o valor de  $21,35^\circ$ . O ângulo de inclinação crítico ( $\varphi_c$ ) para os grãos de feijão tem o valor de  $20,64^\circ$

**b)** O ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) dos tubos de pvc que ficam parados para os grãos de arroz e feijão no plano inclinado.

**Resposta:** O ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) do tubo de pvc com grãos de arroz tem o valor de  $30,30^\circ$ . O ângulo de equilíbrio ( $\theta$ ) do tubo de pvc com grãos de feijão tem o valor de  $21,77^\circ$

**4** - Para que ângulo o tubo de arroz e feijão começam a rolar?

**Resposta:** Para os tubos com grãos de arroz, ângulos menores que o ângulo crítico calculado, com o valor de  $21,35^\circ$ . Para os tubos com grãos de feijão, ângulos menores que o ângulo crítico calculado, com o valor de  $21,77^\circ$ .

**5** - Compare os resultados obtidos no experimento e no aplicativo.

**Resposta:** Os resultados ficaram próximos entre os ângulos medidos no experimento e calculado pelo aplicativo. Isso se deve aos erros de medição que podem ser creditados aos instrumentos utilizados não aferidos, à inabilidade dos alunos, as simplificações matemáticas devido à forma como os Algarismos utilizados para representar quantidades dentro de seus

sistemas numéricos são representados e tratados, as propriedades físicas dos grãos como bolsas de ar e acomodação dos grãos.

**6** - O que você entende por sistemas granulares?

**Resposta:** Os sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.**

### **1.3. ROTEIRO DE AULA**

**PROFESSORA:** Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

**Tema:** MECÂNICA

**Disciplina:** Física

**Série, Nível:** 3º ano do Ensino Médio

**Números de aulas:** 4 horas/aula

#### **Introdução**

As diversas estratégias e atividades realizadas pelos professores têm despertado a aprendizagem significativa, principalmente em disciplinas da área de Ciências da Natureza, consideradas de difícil compreensão por muitos alunos. Nesse sentido, propõe-se explorar o conteúdo de Mecânica vinculado ao uso da experimentação para revisão sobre os conceitos de oscilações mecânicas associados a sistemas granulares.

Os sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

O estudo de oscilações mecânicas é uma parte importante da mecânica devido à frequência com que este tipo de fato ocorre. Os fenômenos oscilatórios estão presentes nas mais diversas formas na natureza com aplicações em várias áreas do conhecimento, tais como, engenharia, química, física e biologia.

O movimento descrito por um pêndulo de um relógio, o movimento de um pistão em uma engrenagem de um automóvel, movimentos vibratórios de uma colheitadeira de grãos, rotação e vibrações moleculares, são exemplos de fenômenos de natureza oscilatória. O movimento oscilatório pode ser definido como um movimento periódico realizado por uma partícula quando a partícula é deslocada desta posição de equilíbrio através de uma força externa.

Figura 49 - Relógio de pêndulo e cilindros com grãos



Fonte: <http://consertandofacil.blogspot.com> Acesso em 28/02/21

### Objetivo geral

Possibilitar ao aluno compreender as propriedades, os conceitos e as definições presentes na Mecânica com enfoque em sistemas granulares.

### Objetivos específicos

O aluno deverá ser capaz de:

- Rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton, enfocando as oscilações, período e frequência;
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de software.
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.

### Conhecimentos:

- I. Leis de Newton
- II. Oscilações
- III. Período e frequência

### Pedagógico:

- I. Aula expositiva
- II. Execução do experimento
- III. Coleta de dados
- IV. Utilização do aplicativo de *software*

### 1ª e 2ª aulas

Nessa aula será realizada uma revisão, com auxílio de slides de Powerpoint, sobre os conceitos de Oscilações mecânicas, período e frequência, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

### 3ª e 4ª aulas

Como abordagem inicial, será realizada a demonstração de oscilação de semicilindro em superfície horizontal plana.

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência utilizar o aplicativo de *software*.

## 1.4 ROTEIRO EXPERIMENTAL

### 1- SEMICILINDRO OSCILANTE

#### Materiais utilizados

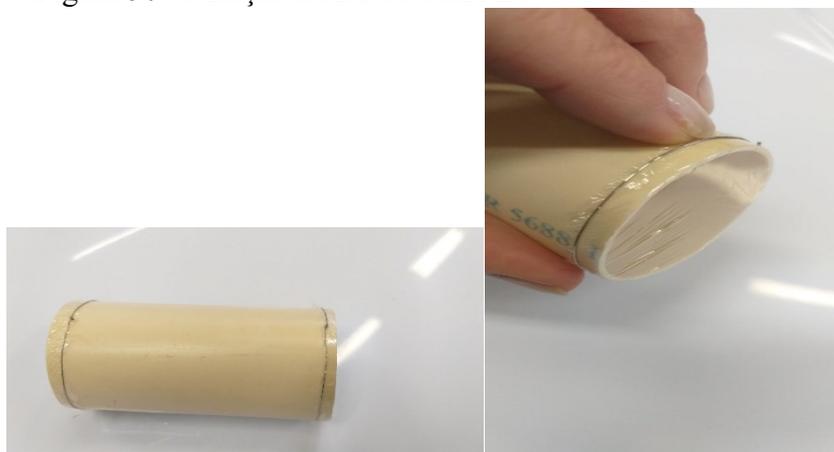
- 04 pedaços de tubo de PVC de 4 cm de diâmetro x 6 cm de comprimento.
- Papel filme
- 20g de arroz e feijão (aproximadamente)
- 02 pedaços de fio de cobre bem fino (obtido de cabo multifilar)
- 01 Balança digital
- 01 Tesoura
- 01 Espátula
- Cronômetro (*smartphone*)
- 01 Placa de vidro
- 01 Régua
- 01 nível de bolha ou *smartphone* com acelerômetro
- *Smartphone*

#### Procedimento

Utilize um nível de bolha para verificar se a superfície a ser utilizada para o experimento se encontra na horizontal. Em seguida, com o auxílio de uma balança digital, pese um tubo de PVC vazio e anote o valor da massa da casca cilíndrica ( $m$ ) na tabela C. Coloque

papel filme em uma das pontas de outro tubo de PVC e fixe com um pedaço de fio de cobre, encha o tubo com grãos de arroz e feche o outro lado do tubo da mesma forma (Figura 50).

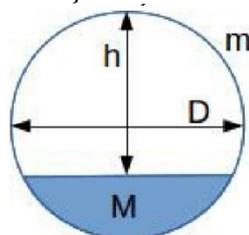
Figura 50 - Fixação do fio de cobre no tubo de PVC



Fonte: Acervo da autora (2021)

Faça o mesmo procedimento com o terceiro tubo que contém 20 g de arroz (M) pesados na balança digital e com o quarto tubo com 30g de arroz. Meça com a régua a medida da altura (h) representada na Figura 51. Disponha uma placa de vidro sobre uma superfície horizontal e plana.

Figura 51 - Representação das medidas do tubo de PVC



Fonte: elaborado pela autora (2021)

Coloque o tubo de PVC vazio, em equilíbrio, no centro da placa de vidro (Figura 52). Desloque levemente o tubo de pvc e com auxílio do cronômetro do *smartfone*, cronometre o tempo para movimento de 20 oscilações. Repita essa operação para os outros três tubos de pvc com grãos de arroz e anote na Tabela 8. Para a o procedimento com tubo de PVC com grãos de feijão anote na Tabela 9.

Figura 52 - Oscilação do tubo de PVC vazio



Fonte: Acervo da autora (2021)

Tabela 8 - Informações referentes ao experimento de oscilação do tubo de PVC com grãos de arroz

Tubos de PVC	Diâmetro do tubo de pvc (cm)	Altura da massa de grãos arroz (cm)	Massa da casca cilíndrica (g)	Massa de grãos(g)	Tempo das oscilações (s)	Frequência (s)
1º tubo (vazio)	4	0	24	0	não oscila	
2º tubo (cheio)	4	0	24	132	não oscila	
3º tubo	4	2	24	20	12	1,66
4º tubo	4	1,7	24	30	14	1,42

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 9 - Informações referentes ao experimento de oscilação do tubo de PVC com grãos de feijão

Tubos de PVC	Diâmetro do tubo de pvc (cm)	Altura da massa de grãos feijão (cm)	Massa da casca cilíndrica (g)	Massa de grãos(g)	Tempo das oscilações (s)	Frequência (s)
1º tubo (vazio)	4	0	24	0	não oscila	
2º tubo (cheio)	4	0	24	83	não oscila	
3º tubo	4	2,8	24	20	8	2,50
4º tubo	4	2,4	24	30	11	1,81

Fonte: elaborado pela autora (2021)

Em seguida o aluno utilizará o seu *smartphone* e irá utilizar o *software* intitulado Rolamento (Figura 45). Com o aplicativo pronto para uso, o aluno irá inserir os dados anotados na tabela 5, para os grãos de arroz e em seguida os dados da Tabela 7, para os grãos de feijão. Após ter inserido os dados, clique em Calcular.

Figura 53 - Resultados para o tubo de PVC com 20g de grãos de arroz

Semicilindro oscilante

### Cálculo do Período de Oscilação

Diâmetro (D):  $\frac{4}{}$  cm

Altura (h):  $\frac{2.1}{}$  cm

Massa da casca cilíndrica (m):  $\frac{24}{}$  g

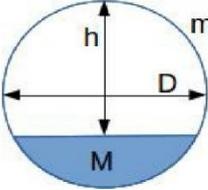
Massa do volume preenchido (M):  $\frac{20}{}$  g

**13.11 s** Período de 20 oscilações

Calcular

Tela de ângulo crítico

Ajuda



Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 54 - Resultados para o tubo de PVC com 20g de grãos de feijão

Semicilindro oscilante

### Cálculo do Período de Oscilação

Diâmetro (D):  $\frac{4}{}$  cm

Altura (h):  $\frac{2.8}{}$  cm

Massa da casca cilíndrica (m):  $\frac{24}{}$  g

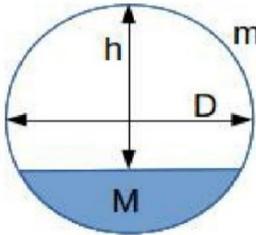
Massa do volume preenchido (M):  $\frac{20}{}$  g

**10.31 s** Período de 20 oscilações

Calcular

Tela de ângulo crítico

Ajuda



Fonte: Acervo da autora (2021)

### ATIVIDADE 3

Usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula responda:

1 - Podemos considerar o movimento dos tubos de PVC como um movimento harmônico simples?

**Resposta:** O movimento harmônico simples é um tipo particular de movimento periódico oscilatório em que a partícula se move, para frente e para trás num dado referencial, sobre uma reta, de modo que a intensidade da força que tende a levá-la a um ponto referencial cresce na mesma proporção em que aumenta o seu afastamento deste ponto e o sentido da força é oposto ao deslocamento do tubo de PVC.

2 - Por que não há oscilação no tubo de pvc cheio e vazio?

**Resposta:** O torque da força-peso em relação ao centro de massa é nulo, bem como o da força normal à superfície, por isso não oscila pois não tem torque restaurador. Ele é sempre nulo para qualquer posição do cilindro.

3 - Qual o valor do período e da frequência calculados para o tubo 3?

**Resposta:** Utilizando a relação  $f = n / \Delta t$  para os tubos de arroz teremos

$$f = 20/12 \quad T = 1/f$$

$$f = 1,66 \text{ s} \quad T = 0,60 \text{ s}$$

Utilizando a relação  $f = n / \Delta t$  para os tubos de feijão teremos

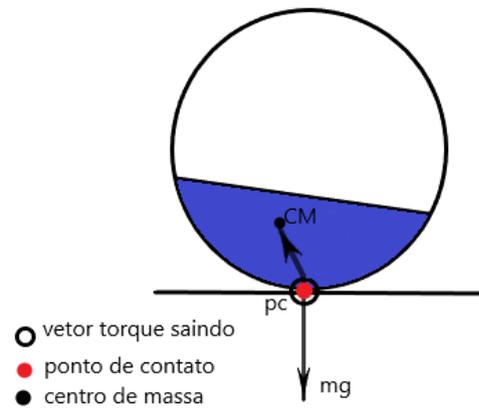
$$f = 20/8 \quad T = 1/f$$

$$f = 2,5 \text{ s} \quad T = 0,40 \text{ s}$$

4 - Quais as possíveis causas da diferença entre os valores calculados e obtidos experimentalmente?

**Resposta:** A fixação incorreta do fio de cobre, avalanche que ocorre com os grãos dentro do tubo de PVC a superfície de contato com o tubo de PVC.

5 - Faça um diagrama de forças e torques para demonstrar porque o cilindro oscila.



## 2PLANO DE ENSINO DA PRIMEIRA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

### 2.1 PRIMEIRO ENCONTRO

**Duração:** 1ª e 2ª aula (aulas com 45 minutos)

#### **Objetivos**

O aluno deverá ser capaz de:

- Rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton.
- Identificar os tipos de forças que agem nos sistemas granulares em um rolamento.

#### **Metodologia**

Nessa aula será realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint (Apêndice A), sobre os conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

### 2.2 SEGUNDO ENCONTRO

**Duração:** 3ª e 4ª aulas (aulas com 45 minutos)

#### **Objetivos**

- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de *software*;
- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.

#### **Metodologia**

Nessa aula, a turma será dividida em cinco grupos com dois alunos e receberão o material referente ao roteiro de aula, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, conteúdo a serem abordados, roteiros experimentais e atividade 1 referente às aulas apresentadas.

## 2.3 TERCEIRO ENCONTRO

**Duração:** 5ª e 6ª aulas (aulas com 45 minutos)

### **Objetivos**

- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de *software*

### **Metodologia**

Complementando a 3ª e 4ª aulas, será realizado o seguinte experimento:

Rolamento de tubos de PVC contendo grãos de arroz e feijão com massas diferentes sob um plano inclinado.

Levantar a seguinte questão: "Qual dos tubos ficará parado em equilíbrio no plano inclinado? "

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência, utilizar o aplicativo de *software*.

Após a conclusão desta etapa, os alunos receberam a atividade 2 que devem realizar.

### 3PLANO DE ENSINO DA SEGUNDA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

#### 3.1PRIMEIRO ENCONTRO

**Duração:** 1ª e 2ª aulas (aulas com 45 minutos)

**Objetivo**

- O aluno deverá ser capaz de rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton, enfocando as oscilações, período e frequência;

**Metodologia**

Nessa aula, será realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint (Apêndice B), sobre os conceitos de Oscilações mecânicas, período e frequência, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

#### 3.2 SEGUNDO ENCONTRO

**Duração:** 3ª e 4ª aulas (aulas com 45 minutos)

**Objetivos**

- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de *software*.

**Metodologia**

Nessa aula, a turma será dividida em cinco grupos com dois alunos e receberão o material referente ao roteiro de aula, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, conteúdo a serem abordados, roteiros experimentais e atividade 3 referente às aulas apresentadas. Na sequência, será realizado o experimento de oscilação de semicilindro em superfície horizontal plana.

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência, utilizar o aplicativo de *software*.

Após a conclusão desta etapa, os estudantes receberão a atividade 3 que deverão realizar usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional tem como objetivo a revisão dos conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton, oscilações, período e frequência, utilizando ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de software. Logo, a sequência didática trata da abordagem de sistemas granulares buscando a revisão de alguns conceitos físicos e científicos relacionados com o tema.

Espera-se que este material se torne uma ferramenta e inspiração para os colegas professores possam ser difundidas em outros momentos, por outros docentes, em outras instituições. Facilitando as práticas educacionais no ensino de Física, especialmente no uso do aplicativo Rolamento, disponível gratuitamente na internet. Além de se tratar de um material didático de baixo custo e de fácil execução, com a proposta de experimentos que podem ser usados materiais acessíveis.

Neste sentido, consideramos interessante o uso de práticas experimentais que envolvam todos os estudantes e se relacionem ainda mais com a realidade deles, tornando o conhecimento físico aplicado à realidade do aluno um modo diferenciado, instigante e interativo.

Verificou-se que, com a interpretação dos resultados, o uso de diversificadas estratégias de ensino associadas ao uso de novas tecnologias contribuiu para o aprendizado e motivação dos alunos.

## APÊNDICE A

### SLIDES DE MECÂNICA

**ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES  
COM ÊNFASE EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS  
NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO.**

**TÓPICO: REVISÃO DA MECÂNICA**

Profª Mª Saionara A. Santos Scussel

### LEIS DE NEWTON

#### • PRIMEIRA LEI NEWTON

A Primeira Lei de Newton afirma que: "um objeto permanecerá em repouso ou em movimento uniforme em linha reta, a menos que tenha seu estado alterado pela ação de uma força externa". (HALLIDAY)

#### SEGUNDA LEI NEWTON

A resultante ( $F_r$ ) das forças que agem sobre um corpo é igual ao produto de sua massa ( $m$ ) pela aceleração ( $a$ ) adquirida.

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

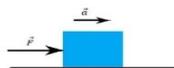
(segunda lei de Newton, forma vetorial)

$$\sum F_x = ma_x \quad \sum F_y = ma_y \quad \sum F_z = ma_z$$

(segunda lei de Newton, forma de componentes)

OBS:

- a) A **aceleração** adquirida pelo corpo sempre possui a mesma **DIREÇÃO** e **SENTIDO** da força resultante.  
 b) A unidade da força no S.I. é **N** (Newton)



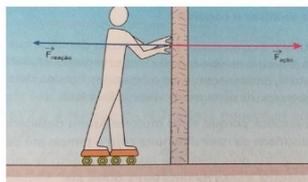
### TERCEIRA LEI NEWTON

A Terceira Lei de Newton, também chamada de Ação e Reação, relaciona as forças de interação entre dois corpos. Quando um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo corpo exerce uma força sobre o primeiro. Em outras palavras, “a toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade e sentido oposto” (HALLIDAY).

É importante salientar que a magnitude das forças é idêntica, mas as forças estão aplicadas em corpos diferentes. Sejam dois corpos, A e B e utilizando a força de A sobre B como sendo  $\vec{F}_{AB}$  e a força de B sobre A como sendo  $\vec{F}_{BA}$ .

De acordo com a terceira lei,

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{BA} = 0$$

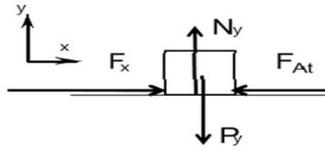


### Forças de contato

As forças de contato são aquelas em que ocorre um contato direto entre as superfícies dos corpos que estão interagindo, ou entre o elemento que aplica força e o corpo que a recebe, quando o contato é cessado a força deixa de agir [Tipler 2002].

**Força Normal**, também chamada de “força de apoio”, é a força que as superfícies exercem para impedir que objetos as atravessem. [Tipler 2002] Sua direção é sempre perpendicular à superfície de apoio.

**Força de atrito** é aquela que resulta do atrito entre os corpos, isto é, que se opõe ao movimento de uma superfície sobre outra (de sentido contrário a componente da força que produz o deslocamento/movimento).



Percebemos que ao iniciar o movimento, a força de atrito é proporcional à força Normal, conforme a Equação:

$$\vec{F}_{ate} = \mu e N$$

Nesse sentido, vale observar que o coeficiente ( $\mu e$ ) do atrito estático será sempre maior que o coeficiente ( $\mu d$ ) do atrito dinâmico ( $\mu e > \mu d$ ).

$$\vec{F}_{atd} = \mu d N$$

Quando a força aplicada em um corpo em repouso é igual ou menor que o limite da força de atrito estático, o corpo permanece em repouso.

$$\vec{F} \leq \mu e N$$

### Força peso

A força peso do corpo, nesse local, é igual ao produto da massa do corpo pela aceleração de gravidade característica do local.

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

- Onde  $\vec{g}$  aceleração da gravidade. Usaremos o valor aproximado para  $g$  de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

### PLANO INCLINADO

O plano inclinado é tratado em todos os livros de mecânica de física básica, nos quais aparece como um dos primeiros exemplos das aplicações das leis de Newton. Em geral é encontrado em rampas, esteiras rolantes, morros e ladeiras são superfícies comuns no cotidiano, pode ser caracterizado pelo seu ângulo  $\theta$  de inclinação com a horizontal.

Num plano inclinado, ângulo crítico é o ângulo máximo no qual a rampa ou declive suportará o objeto sem que ele deslize para baixo e as forças que atuam em um objeto podem ser representadas conforme o diagrama de forças.

Assim, ao analisarmos o diagrama ao lado obtém-se:

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

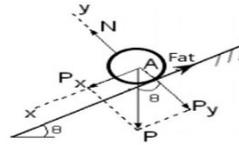
$$P_y = P \cdot \cos\theta$$

$$\text{Fat} = \mu N$$

Na direção  $y$ , de acordo com a segunda lei de Newton, tem-se:

$$F_y = m \cdot a_y$$

Temos que  $a_y = 0$ , logo a força resultante na direção  $y$  é nula.



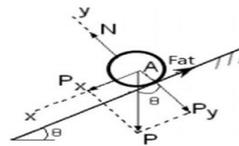
Analisando a força normal na direção  $y$ , obtém-se:

$$N - P_y = 0 \quad (1)$$

Como  $P_y = P \cdot \cos\theta$ , ao substituírmos na equação(1) tem-se:

$$N - P \cdot \cos\theta = 0$$

$$N = P \cdot \cos\theta$$



Na direção  $x$ , de acordo com a segunda lei de Newton:

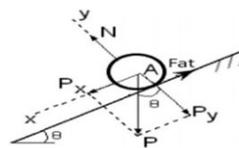
$$F_x = m \cdot a_x$$

Temos a componente  $P_x$  e a componente  $\text{Fat}$ , contrária ao movimento que se encontra o objeto.

$$P_x - \text{Fat} = m \cdot a_x$$

como  $\text{Fat} = \mu \cdot N$ , obtemos

$$P_x - \mu \cdot N = m \cdot a_x \quad (2)$$



e relacionando:

$$N = P \cdot \cos\theta \text{ e } P_x = P \cdot \sin\theta$$

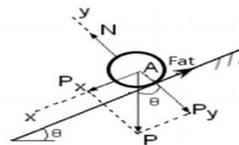
obtemos na substituição em (2)

$$P \cdot \sin\theta - \mu \cdot P \cdot \cos\theta = m \cdot a_x$$

substituindo  $P = mg$  obtém-se:

$$mg \cdot \sin\theta - \mu \cdot mg \cdot \cos\theta = m \cdot a_x$$

a aceleração  $a_x = g \cdot \sin\theta - \mu \cdot g \cdot \cos\theta$



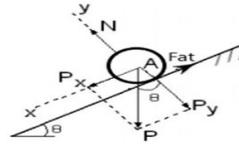
considerando o objeto em repouso  $a_x=0$ , temos:

$$0 = g \cdot \text{sen}\theta - u \cdot g \cdot \text{cos}\theta$$

$$u = \frac{g \cdot \text{sen}\theta}{g \cdot \text{cos}\theta}$$

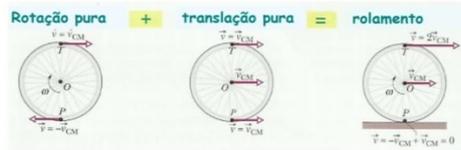
$$u = \frac{\text{sen}\theta}{\text{cos}\theta}$$

$$u = \text{tg}\theta$$



**Rolamento**

Rolamento é a mistura do movimento de translação do centro de massa mais o movimento de rotação. Aplicando a Segunda Lei de Newton ao cilindro (rotação e translação), no rolamento sem deslizamento onde cada ponto toca apenas uma vez no chão e a translação acompanha a rotação.



Observe que o ponto P sofre um deslocamento angular  $\Delta\theta$  num intervalo de tempo  $\Delta t$ , ocasionando assim, uma velocidade angular média  $\omega$ , dada pela equação:

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t \quad (2)$$

Esta equação representa quanto o ângulo muda por unidade de tempo sendo medido em radianos e o tempo em segundos, então  $\omega$  será tantos radianos por segundo.

$$v = \omega R \quad (4)$$

Para que não haja deslizamento a condição será:

$$\Delta\theta / \Delta t = \omega R$$

Velocidade de translação = Velocidade de rotação

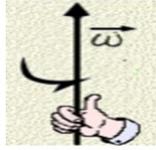
**Torque**

O torque é um vetor perpendicular ao plano formado pelos vetores força e raio de rotação. Pode-se indicar a equação do torque ( $\tau$ ) enquanto agente causador de alterações no movimento de rotação por:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

em que (I) corresponde ao momento de inércia do objeto em relação ao eixo de rotação e ( $\alpha$ ) é a aceleração angular produzida pela ação do torque.

Uma maneira simples de se ratificar essa direção é através da regra da mão direita, onde o polegar representa o vetor da velocidade angular.



Representação da regra da mão direita.

### Centro de Massa

A definição de centro de massa é o ponto hipotético onde toda a massa de um sistema físico está concentrada e que se move como se todas as forças externas estivessem sendo aplicadas nesse ponto. O centro de massa de um sistema de partículas de massa  $m$  se move como se houvesse nele uma partícula de massa  $m$ , submetida a todas as forças externas que atuam no sistema.

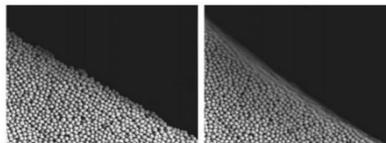


### ÂNGULO DE REPOUSO

Quando uma pilha de grãos é formada, ela se estabiliza de forma natural em um certo ângulo  $\theta$ , chamado ângulo de repouso ou equilíbrio dos grãos. Todas as pilhas formadas por um mesmo material se estabilizarão neste mesmo ângulo.



A medida que novos grãos são depositados sobre a pilha, o conjunto de grãos permanece estável, tal qual um sólido, até que o ângulo da pilha atinja um limite  $\theta_{max}$ . Quando este limite é atingido, ocorre uma avalanche e os grãos mais superficiais fluem para a base da pilha, enquanto grãos mais profundos permanecem parados e não participam do movimento.

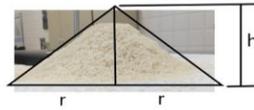


Inclinação do grãos de mostarda: (a) alguns graus abaixo do ângulo de repouso e (b) alguns graus acima.  
Fonte: Jaeger et al. (1996)

O método de determinação do ângulo de repouso consiste na utilização de equações trigonométricas expressas abaixo:

$$\theta = \text{arc tg } h / r$$

No entanto foi calculada o arco tangente para obter o ângulo de repouso do arroz a partir de medições diretas no aparelho, realizadas com uma régua graduada em milímetros. Esses dados de altura e base dos amontoados utilizado na equação.



## APÊNDICE B

### SLIDES DE OSCILAÇÕES

#### ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO.

#### TÓPICO: REVISÃO DE OSCILAÇÕES

Profª Mª Saionara A. Santos Scussel

#### MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

Nos estudos de Física, vemos que o Movimento Harmônico Simples, também representado pela sigla (MHS), consiste em um movimento periódico e oscilatório ou vibratório quando o móvel se desloca periodicamente sobre uma mesma trajetória, indo e vindo para um lado e para outro em relação a uma posição média de equilíbrio. Essa posição média é o ponto sobre a trajetória, para o qual a resultante das forças que agem sobre o móvel é nula.

Em um movimento periódico, o período (T) é o tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do móvel por um mesmo ponto da trajetória. A frequência é o número de oscilações realizadas por um sistema em que são concluídas a cada segundo. As fórmulas usadas para calcular essas grandezas são as seguintes:

$$f = n / \Delta t \quad f = 1 / T \quad T = 1 / f$$

onde f = frequência (Hz)

T = período (s)

n = número de oscilações

$\Delta t$  = intervalo de tempo (s).

As unidades de medida da frequência e do período são, respectivamente, o hertz (Hz) e o segundo (s).

A mais importante das grandezas angulares relacionadas ao MHS é a frequência angular, também conhecida como velocidade angular ou pulsação.

$$\omega = 2\pi / T \quad \text{ou} \quad \omega = 2\pi / f$$

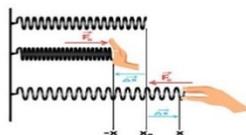
onde  $\omega$  é a frequência angular (rad/s).

A frequência angular tem a dimensão de rad/s. Os radianos são uma das diferentes formas de se definir os ângulos sendo que uma volta completa ao longo do círculo trigonométrico corresponde a 360° ou 2 $\pi$  radianos.

A força restauradora que tende a fazer a partícula voltar a posição de equilíbrio no MHS pode ser obtida por:

$$F(x) = -kx$$

onde,  $k$  é a constante de mola (obedecendo a Lei de Hooke) e  $x$  o deslocamento.



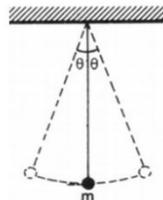
É possível perceber a presença de um  **sinal negativo**, que indica que a força elástica apresenta sempre  **sentido oposto à deformação da mola**. Se a mola estiver sendo esticada, por exemplo, a deformação  $x$  será positiva, portanto a força elástica  $F$  será negativa.

O pêndulo simples é um exemplo, pois o mesmo se desloca de uma posição até a mesma posição inversa passando pelo ponto de origem.

O pêndulo simples ideal realiza suas oscilações no vácuo com amplitude não superior a 15°, se amplitude < 15° o valor para  $\text{sen}\theta \cong \theta$  ( $\theta$  em radianos).

Se levarmos o pêndulo até uma posição fora do equilíbrio, e o soltamos, ele irá oscilar por ação de uma força restauradora, no caso a componente da força-peso:

$$p = mg\text{sen}\theta$$



## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, L. F.; OLIVEIRA, T. P.; PORTO, A. G.; SILVIA, F. S. **A capacidade estática de armazenamento de grãos no Brasil**. Artigo do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, RJ, p.04-05, 2008.

CASTRO, E. da M. de; VIEIRA, N. R. de A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. da. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p. Disponível em: < [http://www.cnpaf.embrapa.br/transferecia/informacoestecnicas/publicacoesonline/circularartecnica\\_34.pdf](http://www.cnpaf.embrapa.br/transferecia/informacoestecnicas/publicacoesonline/circularartecnica_34.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2016.

(Halliday 2009) D. Halliday et al., **Fundamentos da Física**. v. 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

J. L'opez1, A. Vercik e E.J.X. **Meios granulares e experimentos simples para a sala de aula**. Costa Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1308 (2008). Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)>

(Nussenzveig 2002) H. M. Nussenzveig, **Física Básica - Mecânica**. vol 1. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

PEREIRA J. A.; PEREIRA J. C. A.; SILVA R. C. DA; CARVALHO R. DO O.; FEITOSA R. M. **Determinação das propriedades físicas de grãos de feijão caupi**. V. 1, 2017, ISSN 2526-186X.

Tavares, Abraão Marques T231s **Simulação de materiais granulares aplicada a transportadores de correia**. / Abraão Marques Tavares. — Belo Horizonte, 2018.

(Tipler 2002) P. A Tipler e G . Mosca, **Física para cientistas e engenheiros**. vol. 1. 6. ed. São Paulo: LCT. 2002.

UNESCO BRASIL. **Ensino de Ciências: o futuro em risco**. 2005. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001399/139948por.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2021.