

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



**UMA PROPOSTA BASEADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO  
BROWNIANO NO ENSINO MÉDIO**

SARAH JANE COLARES DA SILVA

MANAUS  
2020

UMA PROPOSTA BASEADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO BROWNIANO NO  
ENSINO MÉDIO

SARAH JANE COLARES DA SILVA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo de Souza

MANAUS  
2020

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

S586p Silva, Sarah Jane Colares da.  
Uma proposta baseada na teoria de aprendizagem significativa para o ensino do movimento browniano no ensino médio./ Sarah Jane Colares da Silva. – Manaus, 2020.  
109 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2020.  
Orientador: Prof. Dr. José Ricardo de Souza.  
Acompanha produto educacional.

1. Ensino de física. 2. Movimento browniano. 3. Aprendizagem significativa. I. Souza, José Ricardo. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Universidade Federal do Amazonas. V. Título.

CDD 530.07



### PARECER DA DISSERTAÇÃO

ALUNA: SARAH JANE COLARES DA SILVA  
LOCAL: WEBCONFERÊNCIA HORA: 10:00 HORAS  
NÍVEL: MESTRADO  
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "UMA PROPOSTA BASEADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO BROWNIANO NO ENSINO MÉDIO".  
ORIENTADOR (A): PROF.DR. JOSÉ RICARDO DE SOUSA

#### BANCA JULGADORA:

##### TITULARES

Prof.Dr. JOSÉ RICARDO SOUSA - ORIENTADOR - UFAM  
Prof.Dr. DOUGLAS FERREIRA ALBUQUERQUE - MEMBRO EXTERNO -UFS  
Prof.Dr. MÁRCIO GOMES DA SILVA - MEMBRO INTERNO- IFAM

##### PARECER

- APROVADA  (A) CONCEITO  
- REPROVADA ( )

##### COMENTÁRIOS DO EXAMINADOR:

Segue as recomendações dos membros da banca examinadora

  
Prof.Dr. José Ricardo de Sousa  
Orientador

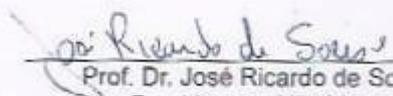
Manaus, 19 de junho de 2020.



## Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 4

### Ata da 35ª Defesa de Dissertação

Aos dezoito dias do mês de junho, do ano de dois mil e vinte, às dez horas, por webconferência, ocorreu a Defesa da Dissertação da mestranda Sarah Jane Colares da Silva, intitulada " Uma Proposta Baseada na Teoria de Aprendizagem Significativa para o Ensino do Movimento Browniano no Ensino Médio", do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 04, das Instituições de Ensino Superior Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. José Ricardo de Sousa, Prof. Dr. Douglas Ferreira Albuquerque e Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva. O Prof. Dr. José Ricardo de Sousa presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O presidente fez a leitura dos procedimentos para a defesa da dissertação, e convocou a mestranda para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, a mestranda tomou conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da Banca comunicou a interessada que feita às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da Banca Examinadora, a discente é obrigada a entregar, na Secretaria do Polo 04, até sessenta (60) dias após a data de defesa, cinco (5) vias impressas e encadernadas no formato capa dura, e duas vias digitais em formato PDF, em CD, para os tramites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução Nº 47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Ricardo de Sousa  
- Presidente – UFAM

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Douglas Ferreira Albuquerque  
Membro Externo - UFS

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Márcio Gomes da Silva  
Membro Interno - IFAM

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus em primeiro lugar porque até aqui o Senhor me ajudou. E depois aos meus queridos pais que sempre me apoiaram nos estudos, inclusive nos altos e baixos da minha vida, sendo eles os meus tesouros onde meu desejo é honrá-los nesta terra.

Agradeço imensamente ao meu orientador Dr. José Ricardo de Souza que respeitadamente chamo de mestre por sua grande bagagem de ensino e competência como professor, que mesmo eu diante de tantas dificuldades me ajudou em diversas formas além de ter me dado a oportunidade de fazer pesquisas, quando mais precisei de apoio, me apoiou, acreditou em mim e me incentivou em todos esses anos de estudos, tanto na UFAM quanto no IFAM, do qual é o autor de eu ter ingressado neste mestrado MNPF pólo 4 onde eu só cresci nos meus estudos recebendo grandes desafios que foram vencidos, obrigada mestre!

E agradeço também ao professor Dr. Igor Tavares Padilha que considero como meu segundo orientador por todos esses anos um grande docente, me ajudou em toda essa jornada de graduação e mestrado, obrigada por toda sua enorme paciência, seja nas dúvidas das disciplinas do curso de física, seja até para me dar conselhos de incentivos diante das barreiras. Também agradeço a todos os professores do mestrado que me auxiliaram na aprendizagem neste curso, agradeço ao coordenador e professor Dr. Minos Adão que também foi querido professor por ter me auxiliado para finalizar esta jornada aqui no mestrado. Agradeço profundamente a Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Capes (CAPES) portodo o auxílio no mestrado.

Querida Tatiane Figueiredo, se não fosse por você eu não teria uma escola onde aplicar o produto, foste uma luz em meu caminho, onde eu percebi o quão top és dando aula, sim és uma baita de uma profissional, te agradeço por ter me acolhido, obrigada por tudo mana! Fiz muitas amizades nesse mestrado que levarei para o resto da vida. Vocês são pessoas do bem, Wilson, Ronildo, Fredson, Lucas, Edmilson, Tatiane, Luana, dais quais compartilhamos várias emoções juntos, seja para rir mesmo de nervoso diante das dificuldades, sempre tivemos unidos para tudo. Quero agradecer em especial ao Camilo Gonçalves um herói, por ter sido nosso auxílio de programador para a turma nas horas vagas, grata por ser esse rapaz incrível seja como pessoa e profissional, sem palavras para descrever já basta você ter tirado a pedra que me impedia de sair dessa. Enfim sou grata a todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram.

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como proposta inserir uma abordagem de um fenômeno Físico considerado “avançado” ao público alvo do Ensino médio. O fenômeno escolhido foi sobre o Movimento Browniano (também conhecido como Difusão Normal), tema geralmente abordado em ensino de graduação em matérias sobre Física Moderna. A perspectiva desta proposta é que o discente perceba como temas de Física Moderna e Contemporânea estudados em sala de aula explicam grande número de eventos naturais observados em seu dia a dia, por exemplo, a diluição de açúcar em um copo com água, ou o espalhamento da fragrância de um perfume em ambiente fechado etc. E, com isso, pelo método de apresentação desses conteúdos, fazer com que o público alvo obtenha a compreensão destes fenômenos e a conexão geral que há entre eles. De acordo com essa metodologia, os objetivos gerais da pesquisa são: explorar e explicar esse fenômeno da Física, e além da percepção de sua aplicabilidade no cotidiano, promover a interação aluno-professor, induzir o hábito de investigação e debates, e apresentar uma correlação das diferentes linguagens presentes para se olhar um mesmo evento a partir da interdisciplinaridade com outros conteúdos apresentados a este público, tendo como base teórica a teoria de campo Ausubel.

**Palavras-chave:** Movimento Browniano. Aprendizagem significativa. Ensino Médio

## **ABSTRACT**

The present work has as proposal to insert an approach of a Physical phenomenon considered "advanced" to the target public of High School. The phenomenon chosen was about the Brownian Movement (also known as Normal Diffusion), a theme generally addressed in undergraduate teaching in matters of Modern Physics. The perspective of this proposal is that the student perceives how Modern and Contemporary Physics subjects studied in the classroom explain a large number of natural events observed in their daily lives, for example, the dilution of sugar in a glass with water, or the spreading the fragrance of a perfume indoors, etc. And, with this, through the method of presenting these contents, make the target audience obtain an understanding of these phenomena and the general connection that exists between them. According to this methodology, the general objectives of the research are: to explore and explain this phenomenon of Physics, and in addition to the perception of its applicability in daily life, to promote student-teacher interaction, to induce the habit of investigation and debates, and to present a correlation of the different languages present to look at the same event based on interdisciplinarity with other content presented to this audience, based on the Ausubel field theory as a theoretical basis.

**Keywords:** Brownian movement. Meaningful learning. High school

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trajetória de uma partícula em um fluido .....	22
Figura 2. Solução de água e açúcar.....	28
Figura 3. Alunos respondendo ao pré-teste.....	35
Figura 4. Slide 1: Noções fundamentais.....	36
Figura 5. Slide 2: Teoria cinética dos gases.....	38
Figura 6. Uso do simulador sobre propriedades dos gases.....	39
Figura 7. Slide 3: Equação ideal dos Gases.....	40
Figura 8. Alunos manuseando dados.....	41
Figura 9. Aluno manuseando um baralho.....	42
Figura 10. Dados idênticos de 6 faces .....	43
Figura 11. Slide 4: Processos aleatórios .....	44
Figura 12. Slide 5: Caminhada aleatória .....	45
Figura 13. Exemplificação das posições dos alunos em relação ao perfume lançado .....	46
Figura 14. Experimento com copos, água e corante .....	48
Figura 15. Vídeo sobre a História do movimento Browniano.....	50
Figura 16. Slide 6 “Movimento Browniano”.....	51
Figura 17. Ilustração de difusão.....	52
Figura 18. Simulador “Brownian motion”.....	53
Figura 19. Simulação no Scratch .....	54
Figura 20. Aluna interagindo com a simulação.....	55
Figura 21. Pré-Teste e Teste Final.....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Conceitos básicos de Termologia.....	28
Quadro 2. Questionário sobre difusão.....	49
Quadro 3. Síntese dos encontros.....	57
Quadro 4. Estrutura das aulas .....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Questão 1: Temperatura (pré-teste).....	60
Gráfico 2. Questão 1: Temperatura (teste final) .....	61
Gráfico 3. Questão 2: Calor (pré-teste) .....	61
Gráfico 4. Questão 2: Calor (teste final) .....	63
Gráfico 5. Questão 3: Partícula (pré-teste).....	62
Gráfico 6. Questão 3: Partícula (teste final).....	63
Gráfico 7. Questão 4: Molécula (pré-teste).....	64
Gráfico 8. Questão 4: Molécula (teste final) .....	64
Gráfico 9. Questão 5: Pressão (pré-teste).....	65
Gráfico 10. Questão 5: Pressão (teste final).....	65
Gráfico 11. Questão 6: Constante de Avogadro (pré-teste) .....	66
Gráfico 12. Questão 6: Constante de Avogadro (teste final) .....	66
Gráfico 13. Questão 7: Densidade (pré-teste) .....	67
Gráfico 14. Questão 7: Densidade (teste final).....	68
Gráfico 15. Questão 8: Força (pré-teste) .....	68
Gráfico 16. Questão 8: Força (teste final).....	69
Gráfico 17. Questão 9: Probabilidade (pré-teste) .....	69
Gráfico 18. Questão 9: Probabilidade (teste final) .....	70
Gráfico 19. Questão 10: Possibilidade (pré-teste).....	70
Gráfico 20. Questão 10: Possibilidade (teste final).....	71
Gráfico 21. Questão 11: Movimento Browniano (pré-teste).....	71
Gráfico 22. Questão 11: Movimento Browniano (teste final) .....	72
Gráfico 23. Questão 12: Queda da folha (pré-teste).....	73
Gráfico 24. Questão 12: Queda da folha (teste final).....	73

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>CAPÍTULO 2 – Aprendizagem significativa e o Scratch</b> .....	15
2.1 Teoria de aprendizagem de David Ausubel: Aprendizagem Significativa .....	15
2.2 O uso do Scratch como ferramenta de aprendizagem .....	17
<b>CAPÍTULO 3 – Movimento Browniano</b> .....	20
3.1 Formulação teórica .....	22
3.2 Coeficiente de difusão.....	25
<b>CAPÍTULO 4 – Metodologia e desenvolvimento</b> .....	34
4.1 Primeiro Encontro .....	35
4.2 Segundo Encontro .....	36
4.3 Terceiro Encontro .....	38
4.4 Quarto Encontro.....	41
4.5 Quinto Encontro .....	44
4.6 Sexto Encontro .....	48
4.7 Sétimo Encontro .....	54
4.8 Oitavo Encontro .....	56
4.9 Síntese das aulas do projeto.....	57
<b>CAPÍTULO 5 – Discussões e resultados</b> .....	60
<b>CAPÍTULO 6 – Considerações Finais</b> .....	75
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	76
<b>APÊNDICE A (Sequência Didática – 32 páginas)</b> .....	78

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Movimento browniano foi primeiramente estudado pelo botânico inglês Robert Brown que observou grãos de pólen em cima da superfície de água, e adquiriam um movimento bastante irregular no qual através dessas observações teve sua hipótese onde pensava que se se tratava de vida, então fez uma incessante busca para provar sua hipótese, realizou testes em materiais inertes, como poeira, areia, teia e aranha e etc.

O botânico viu que o movimento permanecia irregular, diante dessa observação descartou sua hipótese porém essa indagação ficou sem explicação por 30 anos, onde só foi esclarecido por Albert Einstein no dia 30 de abril de 1905 explicou o que acontecia com as partículas em suspensão de pólen onde também relata sua natureza aleatória e dar um tratamento probabilístico onde obtém uma equação de difusão para densidade de probabilidade que localiza a partícula na posição  $x$  em um instante de tempo  $t$ , mas nessa dissertação no capítulo de física para termos de conhecimento veremos o tratamento probabilístico de Langevin.

Então o movimento browniano é o movimento aleatório de partícula macroscópicas num fluido dos choques das moléculas do fluido sobre essas partículas, onde os impactos aleatórios das moléculas dão origem a uma força impulsiva que mantém o movimento irregular incessante das partículas.

O movimento Browniano é também conhecido como fenômeno da difusão bastante comum na natureza e ocorre em geral onde as partículas podem se mover espontaneamente, difundindo-se de regiões de maior concentração para regiões de concentração mais baixa, temos a equação de difusão normal, sendo uma formulação em termos de um caminho aleatório.

O estudo desse processo difusivo possui uma grande importância quando se observa a necessidade de compreender os comportamentos físicos microscópicos da matéria, de onde nos damos conta do quanto o fenômeno da difusão é abrangente.

As diversas equações de difusão são muito importantes porque possuem diversas aplicações nas mais variadas áreas, não só na física como também na biologia, química e aplicações na engenharia, porém nessa dissertação a intenção inicial é transpor esse conhecimento que possui bastante equações sofisticadas para outro modo de aprendizagem que facilita e ajuda também nessa compreensão do fenômeno.

A partir desse fenômeno para que o alunos venham adquirir o conhecimento foi utilizado a teoria de aprendizagem de David Paul Ausubel em defende que o fator mais importante da aprendizagem é aquilo que já se sabe sobre o conteúdo que será aprendido, um dos pilares da teoria de Ausubel são três condições necessárias para a aprendizagem que será aprendida. Onde a primeira desrespeita ao material que o professor irá trabalhar com linguagens relacionadas com

conhecimento prévio, o segundo o aluno deve possuir um conhecimento prévio e seu novo conhecimento deve relacionar com o conhecimento prévio. E se porventura o aluno não tenha esse conhecimento prévio é dever do professor desenvolver alguma estratégia para criar esse conhecimento prévio seja numa leitura, apresentação de um vídeo, por exemplo, mas que crie pontos de ancoragem para nova informação anterior que o aluno tem na estrutura cognitiva.

O terceiro o aluno precisa ter vontade de aprender de maneira significativa e novamente se porventura o aprendiz não tiver o interesse por essa maneira, justificado porque já vem de uma longa tradição de aprendizagem mecânica, então o professor poderá mostrar e ensinar que a aprendizagem significativa vem de uma aprendizagem duradora e diferente da mecânica que geralmente o aluno tende a esquecer o assunto que foi estudado embora tenha passado em uma prova através dessa aprendizagem mecânica, mas que não igual com uma boa aprendizagem significativa.

Esta dissertação tem como objetivo inserir o ensino do fenômeno do Movimento Browniano, aliado à experimentação de baixo custo e ao uso de novas tecnologias no Ensino Médio. Uma tecnologia dessa é a simulação no programa Scratch, onde iremos relacionar com a teoria da aprendizagem significativa e transposição didática, ambas defendidas por David Ausubel. Por meio da produção de uma sequência didática que toma como partida os conhecimentos prévios, o senso comum e empírico dos alunos envolvidos, e com isso reconstruir e adaptar com os novos conceitos abordados.

A obtenção do embasamento teórico necessário para compreender o fenômeno do movimento browniano possui aplicação muito ampla por abranger fenômenos que englobam várias áreas do conhecimento humano, como Ciências Naturais, Exatas e Sociais. Nesse trabalho escolhemos uma abordagem que requererá o uso da interdisciplinaridade com as áreas: Física, Matemática e Química. De maneira conjunta, construindo essa metodologia a fim de obter a assimilação dos conteúdos por parte dos alunos.

O tema do Movimento Browniano é uma novidade no Ensino Médio na maioria das escolas regulares. Esse tópico vem em conjunto com as outras disciplinas, e traz um leque de informações interessantes que abre a mente dos alunos para quem sabe, plantar a semente para futuros pesquisadores.

Entretanto, como podemos inserir esse assunto de forma que haja um melhor rendimento para os discentes? E, como poderão se apropriar desse conhecimento científico que requer tratamento matemático ainda não ensinado nas instituições do ensino médio?

Diante desse problema, vamos explorar primeiro o fenômeno do Movimento Browniano; perceber sua aplicabilidade no cotidiano; promover a interação aluno-professor; fomentar a investigação perante os experimentos apresentados; estimular debates durante as aulas. Essas práticas norteadas pela base teórica a aprendizagem significativa de David Ausubel, resultará em melhor aprendizado e a habilidade nas soluções de problemas envolvendo o problema.

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. No capítulo 2, faremos uma

discussão sobre a teoria de aprendizagem significativa proposta por David Ausubel, contextualizando alguns autores. Como ferramenta tecnológica para que o aluno possa fazer tarefa por meio do computador, usaremos o software Scratch. Uma visão geral sobre o software será também descrito no capítulo 2.

No capítulo 3, o tema a ser desenvolvido neste projeto: Movimento Browniano será discutido primeiro do ponto de vista probabilístico, onde a equação de difusão, relação de dispersão e conexão com experimento serão estudadas.

No capítulo 4, a metodologia deste projeto é discutida, onde foi dividido no total de oito (8) encontros com os alunos de segundo ano do ensino médio regular, da Escola Estadual Petrônio Portella, Manaus – AM. Cada encontro (uma “aula” com duração de 45 minutos) tem uma atividade bem específica e foi plenamente detalhada.

No capítulo 5, discutimos os resultados, onde gráficos dos pré e pós-testes são apresentados na forma de “pizza”. Finalmente, no capítulo 6 apresentamos as considerações finais, a conclusão deste trabalho. A dissertação ainda conta com um apêndice onde o produto educacional é apresentado.

## CAPÍTULO 2

### APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E O SCRATCH

Neste trabalho, usaremos o embasamento teórico da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a aplicação da ferramenta computacional Scratch e, a partir de um simulador do Movimento Browniano iremos ilustrar esse fenômeno. A ideia é também desenvolver a metodologia da interdisciplinaridade como ferramenta agregadora de conhecimento científico, onde o tema abordado fará conexão com as disciplinas: Física, Química, Biologia e Matemática (financeira). Dessa maneira, com a relação mais próxima entre a ferramenta e o professor, e até o empenho dos alunos para a utilização e familiaridade com tal mecanismo, há a possibilidade da construção do próprio conhecimento, sendo os discentes como ativos nesse processo. Veremos a seguir a caracterização e definição da aprendizagem significativa e o software “Scratch”.

#### 2.1 Teoria de aprendizagem de David Ausubel: Aprendizagem Significativa

Para que a aprendizagem significativa ocorra é preciso entender um processo de modificação do conhecimento, em vez do comportamento em um sentido externo e observável, e reconhecer a importância que os processos mentais têm nesse desenvolvimento. As ideias de Ausubel também se caracterizam por basearem-se em uma reflexão específica sobre a aprendizagem escolar e o ensino, em vez de tentar somente generalizar e transferir à aprendizagem escolar os conceitos ou princípios explicativos extraídos de outras situações ou contextos de aprendizagem (PELIZZARI et al, 2002).

Ainda de acordo com Pelizzari e colaboradores (2002), para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições. Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrariamente e literalmente, então, a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem. Cada aprendiz faz uma filtragem dos conteúdos que têm significado ou não para si próprio.

Para esclarecer como é produzida a aprendizagem escolar, Ausubel propõe distinguir dois eixos ou dimensões diferentes que originarão, a partir dos diversos valores que possam tomar em cada caso, as classes de aprendizagem se distinguem em duas, aprendizagem significativa e aprendizagem memorística.

- **Aprendizagem significativa** é o eixo relativo à maneira de organizar o processo de aprendizagem e a estrutura em torno da dimensão aprendizagem por descoberta/aprendizagem receptiva. Essa dimensão refere-se à maneira como o aluno recebe os conteúdos que deve aprender: quanto mais se aproxima do polo de

aprendizagem por descoberta, mais esses conteúdos são recebidos de modo não completamente acabado e o aluno deve defini-los ou “descobri-los” antes de assimilá-los; inversamente, quanto mais se aproxima do polo da aprendizagem receptiva, mais os conteúdos a serem aprendidos são dados ao aluno em forma final, já acabada.

• **Aprendizagem memorística ou mecânica** remete ao tipo de processo que intervém na aprendizagem e origina um contínuo delimitado pela aprendizagem significativa, por um lado, e pela aprendizagem mecânica ou repetitiva, por outro. Nesse caso, a distinção estabelece, ou não, por parte do aluno, relações substanciais entre os conceitos que estão presentes na sua estrutura cognitiva e o novo conteúdo que é preciso aprender. Quanto mais se relaciona o novo conteúdo, de maneira substancial e não arbitrária, com algum aspecto da estrutura cognitiva prévia que lhe for relevante, mais próximo se está da aprendizagem significativa. Quanto menos se estabelece esse tipo de relação, mais próxima se está da aprendizagem mecânica ou repetitiva.

A construção das aprendizagens significativas implica a conexão ou vinculação do que o aluno sabe com os conhecimentos novos, quer dizer, o antigo com o novo. A clássica repetição para aprender deve ser deixada de fora na medida do possível; uma vez que se deseja que seja funcional, deve-se assegurar a auto estruturação significativa (PELIZZARI, et al, 2002).

Para Tavares (2004), existem três requisitos essenciais para a aprendizagem significativa: a oferta de um novo conhecimento estruturado de maneira lógica; a existência de conhecimentos na estrutura cognitiva que possibilite a sua conexão com o novo conhecimento. A atitude explícita de apreender e conectar o seu conhecimento com aquele que pretende absorver. Esses conhecimentos prévios são também chamados de conceitos subsunções ou conceitos âncora. Quando se dá a aprendizagem significativa, o aprendente transforma o significado lógico do material pedagógico em significado psicológico. A medida que esse conteúdo se insere de modo peculiar na sua estrutura cognitiva, e cada pessoa tem um modo específico de fazer essa inserção, torna essa atitude um processo idiossincrático. Quando duas pessoas aprendem significativamente o mesmo conteúdo, elas partilham significados comuns sobre a essência deste conteúdo. No entanto, têm opiniões de pessoais sobre outros aspectos deste material, tendo em vista a construção peculiar deste conhecimento.

Ainda de acordo com Tavares (2004), para a aprendizagem significativa requer um esforço do aprendente em conectar de maneira não arbitrária e não literal, o novo conhecimento deve ter uma estrutura cognitiva existente. É necessária uma atitude proativa, pois numa conexão uma determinada informação liga-se a um conhecimento de teor correspondente na estrutura cognitiva do aprendiz; e em uma conexão não literal a aprendizagem da informação não depende das palavras específicas que foram usadas na recepção da informação. Desse modo, podemos

ter uma aprendizagem receptiva significativa em uma sala de aula convencional, onde se usam recursos tradicionais tais como giz e quadro-negro, quando existirem condições de o aprendiz transformar significados lógicos de determinado conteúdo potencialmente significativo, em significados psicológicos, em conhecimento construído e estruturado idiossincraticamente.

A aprendizagem significativa pressupõe que o novo material seja relevante e significativo ao aprendiz e uma estrutura cognitiva preexistente, da mesma forma que haja disposição de sua parte para realizar o processo. Nos dois casos, a não arbitrariedade é essencial (MOREIRA, 2001).

Ainda de acordo com Moreira (2001) o conhecimento de si mesmo é um ponto crucial na aplicação da metodologia proposta. O idealizador do conceito de aprendizagem significativa a todo o momento prevê a necessidade de o aprendiz se colocar como sujeito ativo e não passivo em seu processo de aprendizagem.

Logo, escolhamos a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para a nossa pesquisa, sabendo da circunstância e da necessidade de buscarmos os conhecimentos prévios dos alunos e por fim chegar na aprendizagem significativa propriamente dita

## **2.2 O uso do Scratch como ferramenta de aprendizagem**

No Brasil percebe-se uma tímida mudança na estrutura educacional tradicional, quando se trata de inserções de tecnologias nos currículos escolares. Poucas são as iniciativas de se tentar mudar este cenário onde a tecnologia clama e se apresenta para fazer parte dele. A ementa dessa componente curricular não contempla ainda de forma satisfatória esses novos recursos que podem contribuir de forma significativa no processo da construção do conhecimento.

Para Valente (1993), o computador não é um instrumento que ensina o aprendiz, mas sim uma ferramenta com a qual o aluno desenvolve algo, e, portanto, a aprendizagem ocorre pelo fato de estar executando uma tarefa por meio do computador. Sob esse olhar, a educação precisa andar de mãos dadas com as novas tecnologias que fazem parte do cotidiano das pessoas e de uma forma particular, dos alunos que frequentam os bancos escolares.

Segundo Farias (2014), no Brasil encontram-se diversos programas que podem ser utilizados para a montagem de animações e, conseqüentemente, dar suporte nas aulas de física, por exemplo, 3D Autodesk, 3D Canvas, StopMotion, Take 5, Modellus, 3D Flash Animator, Stykz, Power Point, Scratch e outros. Alguns desses softwares estão disponíveis na internet para download gratuitamente, outros que não estão disponíveis podem ser comprados. Nesse sentido, o programa Scratch é um software que se utiliza de blocos lógicos, e itens de som e imagem, para desenvolver suas próprias histórias interativas, jogos e animações, além de

compartilhar de maneira online suas criações. O Scratch é um projeto produzido por Lifelong Kindergarten Group do Massachusetts Institute of Technology/MIT Media Lab, e disponibilizado em Maio de 2007 para download no endereço eletrônico: [www.scratch.mit.edu](http://www.scratch.mit.edu), que foi idealizado por Mitchel Resnick.

O Scratch foi projetado especialmente para idades entre 8 e 16 anos, mas é usado, também, por pessoas de todas as idades. Ele é usado em mais de 150 países, está disponível em mais de 40 idiomas, e é fornecido gratuitamente para os principais sistemas operacionais (Windows, Linux e Mac). Atualmente, encontramos o Scratch nas versões 1.4 e 2.0, para os principais sistemas operacionais existentes no mercado.

A meta principal do Scratch é introduzir a programação para quem não tem experiência no assunto. A programação é feita arrastando-se blocos de comandos que devem ser encaixados uns aos outros. Os comandos assemelham-se as peças de quebra-cabeça e quando combinados formam programas sintaticamente corretos, tendo o usuário que focar apenas na lógica de funcionamento do seu projeto (MALAN, et al., 2007).

O professor pode utilizar esse software como recurso didático para que suas aulas fiquem mais interessantes e dinâmicas, na qual os alunos interajam no desenvolvimento das mesmas para construírem de um modo coeso o conhecimento. As animações são formas mais didáticas e compreensíveis de repassar os conceitos físicos e suas aplicações a todos, pois elas visam ajudar no aprendizado do assunto abordado em sala, embora não substituam os materiais de laboratório (FARIAS, 2014).

Para França e colaboradores (2013), o Scratch apresenta-se como um ambiente que pode ser utilizado satisfatoriamente por estudantes da Educação Básica no desenvolvimento de habilidades e conhecimentos tão necessários na atualidade, como o Pensamento Computacional. Ainda, através do acompanhamento da construção de conhecimentos pelos estudantes, é possível perceber que o conceito paralelismo não é trivial de ser aprendido num curso com curto período de duração, considerando que os aprendizes não possuem conhecimento prévio sobre o assunto.

As animações e simulações são consideradas, por muitos, a solução dos vários problemas que os professores de Física enfrentam ao tentar explicar para seus alunos fenômenos demasiado abstratos para serem “visualizados” através de uma descrição em palavras, e demasiado complicados para serem representados através de uma única figura (MEDEIROS, 2002 e HECKLER, 2007). Ainda de acordo com estes autores, as animações possibilitam observar em alguns minutos a evolução temporal de um fenômeno que levaria horas, dias ou anos em tempo real, além de permitir ao estudante repetir a observação sempre que o desejar.

É importante destacar que as animações se caracterizam como elementos que contribuem didaticamente e auxiliam na compreensão dos conceitos físicos e suas aplicações, ou seja, elas visam ajudar no aprendizado dos assuntos abordados em sala de aula, embora não substitua os materiais de laboratório.

O Scratch já vem sendo utilizado em diferentes projetos e vem contribuindo positivamente no ensino, pois é uma ferramenta tecnológica que permite que o aluno expresse suas ideias, criatividade e modelos, utilizando os blocos de comandos que possibilitam criar as animações e, conseqüentemente, discutir sobre o fenômeno físico representado. Portanto, ao utilizar-se essa inovação digital disponível, tem-se uma oportunidade para melhorar as aulas de física e criar ambientes na qual a construção e avaliação dos modelos dos alunos seja verdadeiramente incentivado.

Para López e Hernández (2015), o Scratch pode ser definido como uma ferramenta auxiliar de modelagem utilizada no ensino de física. Essa ferramenta permite que o aluno expresse suas ideias, criatividade e modelos, utilizando uma linguagem específica que possibilita avaliar os resultados da execução dos modelos expressos e, conseqüentemente, discutir com os colegas de classe e/ou professores.

O Scratch possibilita uma linguagem de programação disponível online, desenvolvida com o objetivo de possibilitar que iniciantes possam criar programas de computador sem aprender a sintaxe de uma linguagem de programação. A ideia é motivar o aprendizado de conceitos de programação por meio de uma experiência divertida, envolvendo os alunos (MALONEY, et al., 2010 e RODRIGUEZ, 2015), entre outros recursos visuais, na elaboração de projetos como animações interativas, jogos digitais.

O desafio é como professores de física podem tirar proveito de uma inovação digital como este programa (Scratch), com o objetivo de melhorar as suas aulas e criar ambientes propícios à construção do conhecimento significativo. Em anexo a essa dissertação está um guia rápido de instruções iniciais de como criar um modelo de simulação para o Movimento Browniano.

## CAPÍTULO 3

### MOVIMENTO BROWNIANO

Uma vez definidos a teoria da aprendizagem empregada e a ferramenta implementada pelo projeto, vamos determinar e definir o conteúdo a ser ministrado pela sequência didática. Nesta dissertação usaremos como problemática descrever as principais propriedades do Movimento Browniano, fazendo possíveis conexões com o cotidiano dos alunos.

O movimento browniano é o movimento aleatório de partículas macroscópicas num fluido como consequência dos choques das moléculas do fluido sobre essas partículas. Os impactos aleatórios das moléculas dão origem a uma força impulsiva que mantém o movimento irregular incessante das partículas.

Até 1908 não havia uma conclusão satisfatória entre os resultados de Einstein com relação à descrição do movimento Browniano, quando então Langevin propôs uma equação de movimento para a partícula de massa  $M$  deslocando-se um fluido de viscosidade. O trabalho de Langevin foi publicado em 1908, citando os trabalhos de Einstein como forma de uma possível generalização para os resultados que eram conhecidos. A descrição em sua teoria consistia em escrever uma equação diferencial para o movimento de uma partícula em suspensão. A teoria de Langevin para este movimento é obtido ao escrever as equações de Newton para uma partícula massiva, incluindo nesta uma força de fricção sistemática e uma força aleatória, para que sejam minimizados os efeitos dos diversos graus de liberdade do meio fluido em que a partícula esteja imersa, levando desta forma à equação de Langevin.

Para o desenvolvimento desse projeto foi necessário um estudo mais abrangente sobre a mecânica estatística como sendo uma ferramenta para o estudo e construção dessa pesquisa, para tal procedimento de transformações de equações deterministas pudesse ser transformadas em equações probabilísticas, como o exemplo da equação newtoniana. A contextualização teórica que faremos a seguir não foi explorada na sala de com alunos do ensino médio, mas desenvolvemos a fim de dar um maior suporte matemático para um professor de Física que optar em aplicar este material em sala de aula.

A teoria da dinâmica de fluidos foi importante para a compreensão da formulação que leva ao processo de difusão, onde iniciamos o estudo analisando apenas o comportamento normal deste fenômeno físico.

Na grade curricular do curso de física na graduação, muitos alunos as vezes não têm conhecimento das teorias que sucederam o entendimento do movimento browniano, e do fenômeno da difusão que é foco de grande pesquisa em ciências de maneira geral.

Tornou-se necessário o estudo da Hidrodinâmica dos fluidos em movimento, para um enorme número de partículas envolvido nesta via de estudo de muitas situações de importância prática podendo ser representadas por modelos ideais pelos quais são suficientemente simples para poderem ser entendidos.

O processo de difusão normal foi amplamente trabalhado ao longo dos anos levando a uma clara compreensão sobre o comportamento físico da matéria no que diz respeito ao fenômeno de transporte, dentre outras importantes.

Em física, é muito comum o uso de distribuições contínuas para descrever fenômenos naturais. Um dos exemplos é a chamada distribuição de velocidades das moléculas de um gás, comumente denominada distribuição de Maxwell-Boltzmann. Da teoria cinética dos gases pode-se mostrar que a velocidade quadrática média das partículas de um gás vale [Salinas, 2005 b]

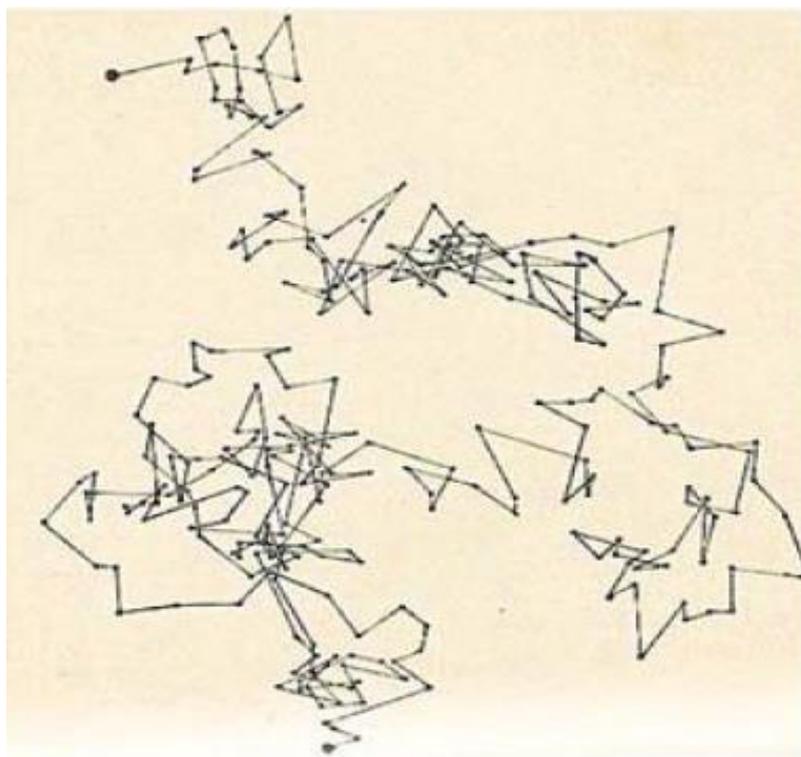
$$\langle v^2 \rangle = \frac{3RT}{M} \rightarrow v_{mq} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Onde,  $v_{mq}$  nos dá uma ideia a respeito da velocidade média das partículas no gás;  $R$  é a constante universal dos gases (presente na equação de um gás ideal), e  $M$  é a massa molar do gás.

Um exemplo de aplicação desta equação é o cálculo da velocidade das moléculas de ar à temperatura ambiente, que é em torno de  $480 \text{ m/s}$ , uma velocidade particularmente alta e que leva a uma pergunta simples: se a velocidade de propagação das partículas é tão alta, então por que quando abrimos um frasco de perfume num canto de uma sala fechada o cheiro só é sentido no outro canto da sala depois de vários segundos? A resposta a esta pergunta é que as partículas não se movem de um canto a outro da sala em linha reta:

a trajetória é errática, em ziguezague, um movimento aleatório devido ao elevado número de colisões com outras partículas presentes na sala, conforme ilustrado na figura 1.

Esse tipo de transporte de partículas é chamado de difusão. Se a trajetória fosse sempre uma linha reta, entre o ponto inicial e o final, a distância entre os pontos seria proporcional ao tempo de percurso, ou seja,  $d = \bar{v}t$ . Porém, devido à aleatoriedade do movimento, Einstein mostrou que a distância é na realidade proporcional à raiz quadrada do tempo de percurso,  $d \sim t^{1/2}$ , uma característica do movimento browniano. Nosso objetivo agora será encontrar uma equação diferencial que descreva a distribuição de probabilidade das partículas que se propagam aleatoriamente, em determinado meio, o que pode ser considerado como um processo estocástico por envolver variáveis aleatórias devido ao elevado número de colisões sofridas pela partícula analisada.



**Figura 1. Trajetória de uma partícula em um fluido**  
Fonte: Ann. Chem. Phys. 18, 1 (1909)

### 3.1 Formulação teórica

Esta seção está baseada no trabalho do professor Salina (2005 a), assim como se encontra no seu livro-texto de mecânica estatística [Salinas, 2005 b].

Na teoria da caminhada aleatória unidimensional, o famoso “andar do bêbado”, mostra-se que a probabilidade  $P_N(m)$  de encontrar o bêbado na posição  $x = ma$  ( $a$  é o tamanho do passo e  $m$  é a diferença entre o número de passos para a direita e o número de passos para a esquerda), depois de  $N$  passos, com  $p$  e  $q$  sendo as probabilidades de dar um passo para a direita e para a esquerda,

respectivamente, é dada por (Salinas, 2005 a, b)

$$P_N(m) = \frac{N!}{\left(\frac{N+m}{2}\right)!\left(\frac{N-m}{2}\right)!} p^{\frac{N+m}{2}} \cdot q^{\frac{N-m}{2}} \quad (1)$$

Pode-se mostrar por simples verificação que a distribuição de probabilidade (1) satisfaz a seguinte relação de recorrência:

$$P_{N+1}(m) = pP_N(m-1) + qP_N(m+1) \quad (2)$$

Podemos encontrar a equação diferencial que descreve o movimento de partículas num fluido tomando o limite em que o tamanho do passo  $a$  e o intervalo de tempo de cada passo  $\tau$  tendem a zero. Isto nos leva ao limite no contínuo, no qual uma equação de probabilidades discreta se torna uma equação com derivadas na forma

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \lim_{\tau, a \rightarrow 0} \left\{ \frac{P_{N+\tau} - P_N}{\tau} \right\} \quad (3)$$

e

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \lim_{\tau, a \rightarrow 0} \left\{ \frac{P_N(m+1) + P_N(m-1) - 2P_N(m)}{a^2} \right\} \quad (4)$$

Usando  $p = q = 1/2$ , reescrevemos a equação (4) na forma

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = 2 \lim_{\tau, a \rightarrow 0} \left\{ \frac{P_{N+\tau} - P_N}{a^2} \right\} \quad (5)$$

Comparando as equações (3) e (5), obtemos uma equação diferencial (parcial), que é dada por

$$\frac{\partial p}{\partial t} = D \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (6)$$

onde  $D = a^2/2\tau$  é definido como o coeficiente de difusão e  $\rho(x, t)$  representa a densidade de probabilidade.

A equação de difusão (6) está em sua forma unidimensional, podendo ser generalizada para três dimensões, basta substituir a derivada espacial de segunda ordem pelo laplaciano. Assim, a equação de difusão tridimensional será escrita na

forma

$$\frac{\partial p}{\partial t} = D\nabla^2 p \quad (7)$$

Esta equação descreve o movimento aleatório de partículas em um fluido e, em especial, descreve o movimento irregular dos grãos de pólen observados pelo botânico Robert Brown em seu experimento que dá nome ao chamado movimento browniano.

Para solucionar a equação de difusão, usaremos a técnica da transformada de Fourier. A condição inicial é dada por um delta de Dirac na forma  $p(x, t = 0) = \delta(x)$ , uma distribuição localizada. A transformada de Fourier da distribuição de probabilidade, de acordo com Machado (2004), é dada por

$$p(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{p}(k, t) e^{ikx} dk \quad (8)$$

sendo  $\tilde{p}(k, t)$  a distribuição de probabilidade no espaço dos momentos.

Aplicando a transformada de Fourier na equação de difusão (6), obtemos

$$\frac{\partial \tilde{p}(k, t)}{\partial t} = -k^2 D \tilde{p}(k, t) \rightarrow \tilde{p}(k, t) = \tilde{p}(k, 0) e^{-Dtk^2}. \quad (9)$$

Substituindo (9) em (8), ficamos com

$$p(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{p}(k, 0) e^{-Dtk^2} e^{ikx} dk \quad (10)$$

Usando a condição inicial na forma do delta de Dirac e sua definição, obtemos

$$p(x, 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{p}(k, 0) e^{ikx} dk = \delta(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{ikx} dk \rightarrow \tilde{p}(k, 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \quad (11)$$

Substituindo (11) em (10), completando quadrado e usando o valor da integral gaussiana, ficamos com

$$p(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-Dtk^2} e^{ikx} dk = \frac{e^{-\frac{x^2}{4Dt}}}{2\pi} \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-Dt(k - \frac{ix}{2Dt})^2} dk}_{=\sqrt{\frac{\pi}{Dt}}}$$

ou

$$p(x, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) \quad (12)$$

Ou seja, a solução apresenta-se na forma de uma distribuição gaussiana centrada, neste caso, em  $x_0 = 0$ . Com esta distribuição de probabilidade, podemos mostrar que o segundo momento da dispersão será dado por

$$\langle x^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x, t) dx = 2Dt \quad (13)$$

Um resultado importante que notamos é que o desvio quadrático médio das partículas cresce linearmente com o tempo, ou seja, o deslocamento característico de uma partícula em relação a seu ponto inicial cresce com  $\sqrt{t}$ . Estes resultados também podem ser obtidos a partir da teoria de Langevin para o Movimento Browniano, a qual utiliza uma equação diferencial estocástica a partir da segunda lei de Newton, adicionando uma força de caráter aleatório à equação que descreve as constantes colisões às quais uma partícula está sujeita em um fluido.

É interessante notar, ainda que essa dependência linear com o tempo está conectada a uma distribuição gaussiana (ou normal), onde temos um processo de difusão dita normal. Porém, os processos difusivos que ocorrem na natureza são bem mais gerais e nem sempre seguem este padrão de dispersão linear com o tempo, sendo chamados de processos de difusão anômala. Nestes processos, o desvio quadrático médio é descrito como uma lei de potência na forma  $\langle x^2 \rangle \sim t^\alpha$  ( $0 < \alpha < 2$ ) e a distribuição de probabilidade não é mais uma gaussiana. Para  $\alpha = 1$  recuperamos a difusão normal, para  $\alpha < 1$  temos um processo de subdifusão e para  $\alpha > 1$  temos um processo de superdifusão.

### 3.2 Coeficiente de difusão

O coeficiente de difusão,  $D$ , está intimamente relacionado com as propriedades do fluido e ao tamanho da partícula que estamos analisando. Vamos trabalhar usando a direção do eixo  $x$ , mas o procedimento é completamente geral. Considere uma força  $K$  atuando sobre as partículas presentes em uma suspensão,

dentro de um volume de comprimento  $\Delta x$  e seção transversal  $\Delta S$ . Para simplificar o problema, vamos considerar que as partículas são esferas rígidas de raio  $a$  e velocidade  $v$  dentro de um fluido de viscosidade  $\eta$ . A força que age sobre estas partículas é dada pela lei de Stokes, uma força diretamente proporcional à velocidade das partículas, que é dada por

$$K = 6\pi\eta av. \quad (14)$$

Além disso, o movimento das partículas em um fluido se dá devido a um gradiente de pressão, de forma que elas estão sujeitas a uma força por unidade de volume, ao longo do eixo, que vale

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x + \Delta x) - P(x)}{\Delta x}, \quad (15)$$

onde aqui  $\rho(x, t)$  é a pressão do fluido na posição  $x$  e no instante de tempo  $t$

Assim, podemos escrever uma equação que relaciona a lei de Stokes e o gradiente de pressão, na forma

$$K = -\frac{m}{\rho N_A} \frac{\partial P}{\partial x} = 6\pi\eta av, \quad (16)$$

onde,  $\rho$  a densidade de massa,  $m$  a massa molar do fluido e  $N_A$  o número de Avogadro. Isto nos leva a uma expressão para a velocidade das partículas e consequentemente a uma expressão para o fluxo de partículas, ou seja, a quantidade de massa atravessando a seção transversal  $\Delta S$  numa unidade de tempo, sendo dada por

$$J = \rho v = -\frac{m}{6\pi\eta a N_A} \frac{\partial \rho}{\partial x}. \quad (17)$$

Usando a equação dos gases ideais

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{RT\rho}{m}, \quad (18)$$

reescrevemos a expressão (17) por

$$J = -\frac{RT}{6\pi\eta a N_A} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (19)$$

A lei de Fick (1855) afirma que a densidade de corrente de partículas,  $f(x, t)$  é proporcional ao gradiente de concentração,  $\rho(x, t)$  ou seja, em uma dimensão teremos  $J = -D \frac{\partial \rho}{\partial x}$ , que comparando com a equação (19), mostramos que

$$D = \frac{RT}{6\pi a\eta N_A}. \quad (20)$$

O coeficiente de difusão  $D$  pode ser calculado teoricamente para os gases com boa precisão, mas para líquidos e sólidos somente dados experimentais (célula de Arnold).

Comparando a lei de Fick com a lei de conservação de partículas, podemos escrever a equação de difusão em 3d por

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \nabla^2 \rho, \quad (21)$$

de acordo com o resultado (7) obtido usando a distribuição de probabilidade.

O coeficiente de difusão ( $D$ ) é um valor que representa a facilidade com que cada soluto se move em um dado solvente. Conforme demonstrado em (20), ele depende do tamanho e forma do soluto (no caso do soluto esférico, a forma geométrica é  $6\pi a$ ), da viscosidade do solvente ( $\eta$ ) e da temperatura ( $T$ ). Apesar da expressão ter sido deduzida para um solvente gasoso, as dependências (geometria do soluto, viscosidade –  $\eta$  e temperatura –  $T$ ) também ocorrem em outros estados da matéria. No SI, o coeficiente de difusão tem a unidade  $\text{m}^2/\text{s}$ . tipicamente, o valor de  $D$  de um composto é aproximadamente  $10^4$  vezes maior no ar que em água. Por exemplo, o  $\text{CO}_2$  no ar tem um coeficiente de difusão de  $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ , e na água vale  $1,6 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

A expressão (20) do coeficiente geral é uma aproximação para o caso do solvente ser um gás ideal. Porém podemos usá-la, assim como fez Einstein (1905), para estimar o valor de  $D$  para o caso de um soluto sendo o grão de açúcar [raio  $a \cong 9,9 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ] na água na temperatura de  $100^\circ\text{C}$  [i.e.,  $T = 373 \text{ K}$  e  $\eta = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ N}\cdot\text{D}/\text{m}^2$ ]. Usando o fato de que a constante de Boltzmann pode ser expressa por  $K_B = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg}/\text{Ks}^2$ , da equação (20) é analisado o movimento crítico dos grãos de açúcar na água, calculando o desvio médio quadrático podemos usar o resultado (13) e obter o valor de  $D$ . Este procedimento experimental não é tão simples assim, necessita de muita habilidade e uma certa parcela de “sorte” para que o grão não se dissolva e o movimento crítico cesse.



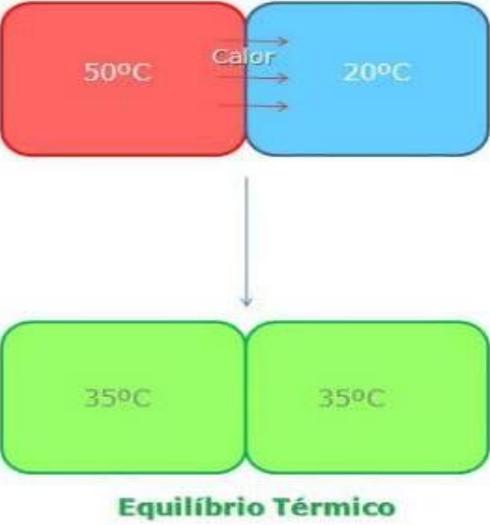
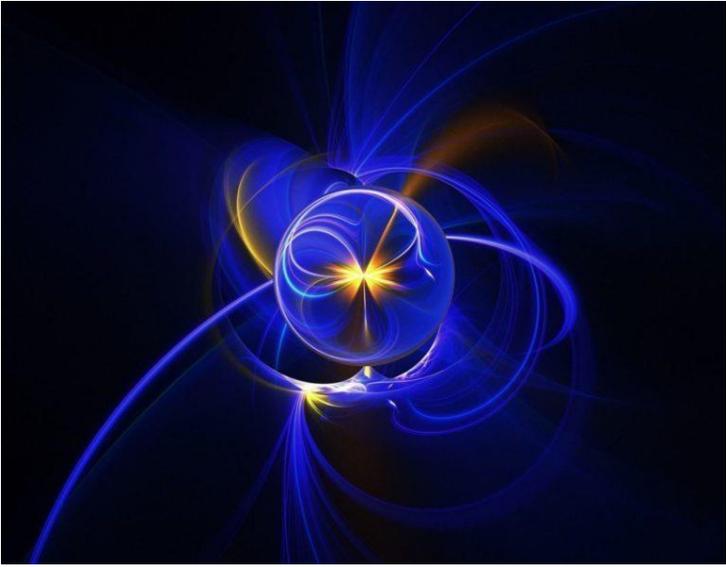
**Figura 2. Solução de água e açúcar**  
 Fonte: Saltitando com as palavras<sup>1</sup>

Observamos que as ferramentas acima são sofisticadas para o aprofundamento do entendimento do movimento browniano, onde nesse caso específico da solução de água e açúcar e entre outros movimentos de difusão o estudo dos conceitos abaixo ajudam no melhor entendimento como na temperatura, calor, partícula, molécula, pressão, constante de Avogadro, densidade, força e até probabilidade e possibilidade onde estão interligados ao processo de difusão, exemplo disso está no coeficiente de difusão onde podemos reafirmar que esta intimamente relacionada com as propriedades do fluido da partícula que estamos analisando, então segue a abaixo o a tabela de certos conceitos que ajudam a alicerçar o conhecimento sobre o movimento browniano.

**Quadro 1. Conceitos básicos de Termologia**

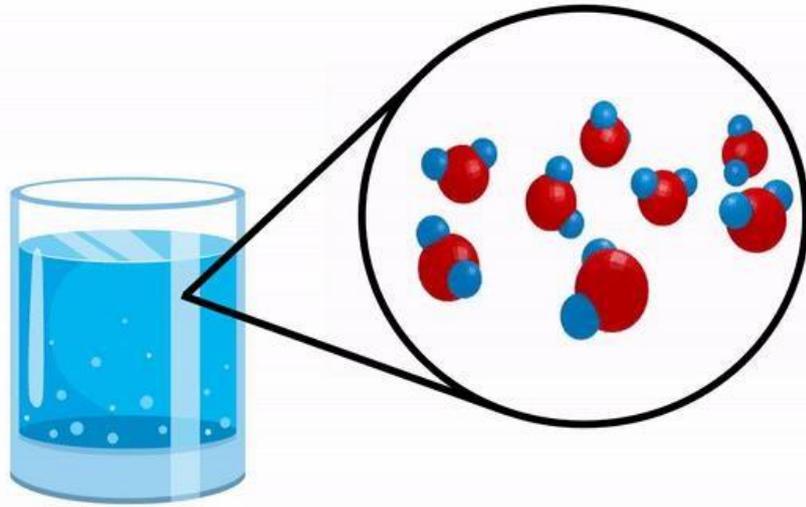
<b>Temperatura</b>	<p><b>É a medida do grau de agitação das moléculas.</b></p>
--------------------	---

<sup>1</sup> “Saltitando com as palavras”, disponível em: <https://saltitandocomaspalavras.blogspot.com/2014/08/agua-com-acucar-acalma-mito-ou-verdade.html>

<b>Calor</b>	<p>É o mecanismo da transferência da energia térmica.</p>  <p>50°C      Calor      20°C</p> <p>35°C      35°C</p> <p><b>Equilíbrio Térmico</b></p>
<b>Partícula</b>	<p>Partícula é um termo utilizado para classificar a menor divisão de uma matéria, considerada indivisível e parte elementar de um composto.</p> 

**Molécula**

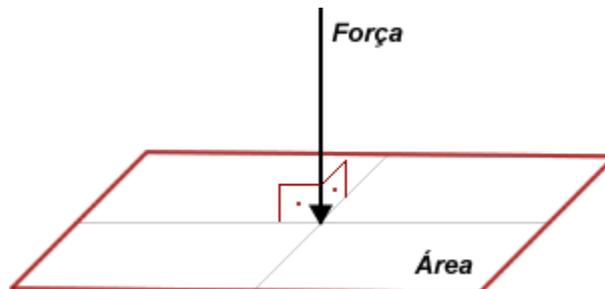
Uma molécula é uma entidade eletricamente neutra que possui pelo menos dois átomos, todos ligados entre si mediante uma ligação covalente.



**Pressão**

É a relação entre uma determinada força e sua área de distribuição. Sendo  $F$  a intensidade da resultante das forças distribuídas perpendicularmente em superfície de área  $A$ , a pressão  $P$  vale:

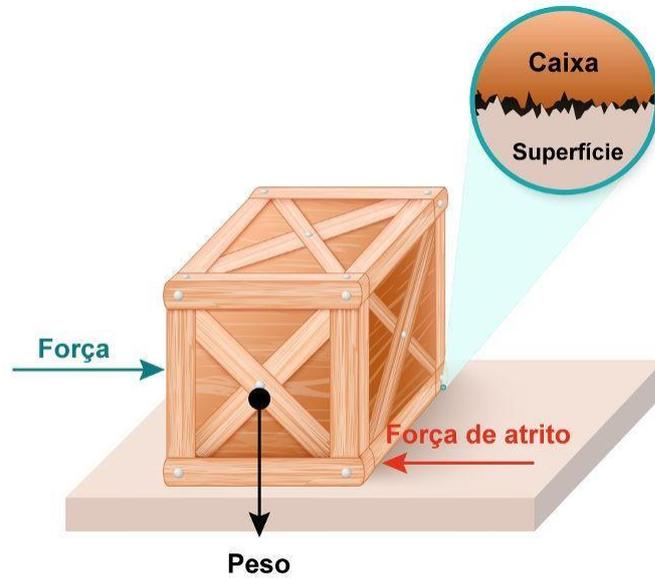
$$Pressão = \frac{Força}{Área}$$



<p><b>Constante de Avogadro</b></p>	<p>É como sendo o número de átomos por mol de uma determinada substância, em que o mol é uma das sete unidades básicas do Sistema Internacional de Unidades. A constante de Avogadro tem dimensões de mol recíprocas e seu valor é igual a <math>6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}</math></p> <p style="text-align: center;"><b>6022000000000000000000000000</b></p> <p style="text-align: center;"><b>= <math>6,022 \times 10^{23}</math></b></p> <p style="text-align: center;"><b>= 1 mol</b></p>
<p><b>Densidade</b></p>	<p>A densidade de um corpo define-se como o quociente entre a massa e o volume desse corpo. Desta forma pode-se dizer que a densidade mede o grau de concentração de massa em determinado volume.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Algodão</p>  </div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">X</div> <div style="text-align: center;">  <p>Minério de Chumbo</p> </div> </div>

**Força**

Força é um dos conceitos fundamentais da mecânica clássica. Relacionado com as três leis de Newton, é uma grandeza que tem a capacidade de vencer a inércia de um corpo, modificando-lhe a velocidade.



**Probabilidade**

Grau de segurança que associa a números de chances de determinado resultado para que possa acontecer, de modo que quanto maior esse número, maior será a chance desse resultado acontecer



Possibilidade      Condição do que é possível acontecer



## **CAPÍTULO 4**

### **Metodologia e desenvolvimento**

Este projeto foi elaborado de tal forma a apresentar os seguintes elementos em sua estrutura: Apresentação da proposta de trabalho aos alunos do Segundo Ano do Ensino médio Regular, informando-os que estaremos estudando um dos temas do currículo escolar. Foram necessárias 8 aulas para a sua implementação, seja para questionários, para experimentos e para simulação com o Scratch. Tudo foi elaborado com a possibilidade de ajudar os estudantes a compreenderem de forma bem didática os conhecimentos com ferramentas possíveis e fáceis de aplicar.

As atividades propostas nessa sequência didática tiveram duração de 10 aulas de média 45 minutos cada, feitas para duas turmas de Segundo Ano do Ensino Médio Regular, sendo caracterizadas como turma 1 e 2, de acordo com a ordem de aplicação na turma. Com isso, a quantidade de alunos que participaram foi de 55, e contou com a ajuda de alguns professores que cederam alguns tempos para ser possível concluir algumas atividades.

A instituição selecionada para aplicar-se a metodologia de ensino foi a Escola Estadual Petrônio Portella, Manaus – AM. Houve pouco empecilho, o principal foi quase no último processo de aplicação do produto, as aulas coincidiram em dias que os professores da instituição precisaram se ausentar para fazer capacitação, dos quais alguns tiveram que viajar. Nesse intervalo de tempo, o projeto precisou pausar e esperar o retorno deles para assim continuar.

A instituição foi escolhida por ser muito bem preparada para receber projetos, pois contém laboratórios de ciências e de informática, cada sala possui projetor de imagens, além de os professores, pedagogos e corpo administrativo que trabalham em conjunto e apoiam desenvolver o conhecimento do aluno, os quais são dedicados e participativos.

Como mencionado, o projeto foi dividido por encontros, totalizando 8 deles, faremos a seguir a descrição de cada encontro, citando conteúdos, materiais, experimentos, simuladores, ou seja, todos os materiais e recursos didáticos criados nesse projeto.

#### 4.1 Primeiro Encontro

Foi composta por um pré-teste diagnóstico, pela apresentação do projeto de mestrado, assim foram informados que participariam de encontros futuros desse trabalho e ficaram cientes da importância deles como alunos ativos, dessa forma todos estiveram de acordo com a aplicação do produto. Após isso, foi entregue o questionário, para avaliar o nível de entendimentos dos alunos perante o conteúdo, referente às ideias e aos conceitos do assunto. Deveriam escrever as respostas com suas próprias palavras, sem auxílio de aparelhos eletrônicos, de colegas ou de professores. Foram lidas em voz alta as perguntas presentes no teste. Nele, continham perguntas sobre os conceitos sobre temperatura, calor, partícula, molécula, pressão, constante de Avogadro, força, probabilidade, possibilidade, e mais duas perguntas sobre o movimento browniano. A duração do teste na prática ficou em torno de 30 minutos. Vale ressaltar que essa aplicação foi feita em período normal de aula, tendo apoio da professora dos alunos, assim como, os discentes foram orientados a assinarem seus nomes, mesmo que o resultado não fosse divulgado em público.



**Figura 3.** Alunos respondendo ao pré-teste

Fonte: Própria da autora

O pré-teste apresentado constou dos seguintes questionamentos: temperatura, calor, partícula, molécula, pressão, constante de Avogadro, densidade, força, probabilidade, possibilidade, Movimento Browniano e, ainda, solicitava que os alunos discorressem sobre a queda de uma folha.

## 4.2 Segundo Encontro

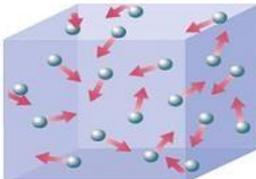
Utilizamos do recurso pedagógico slide 1, com tema “Noções fundamentais da termodinâmica”. Essas informações são necessárias, pois são os princípios básicos para a compreensão do fenômeno a ser abordado no trabalho de mestrado.

### ENERGIA TÉRMICA E CALOR

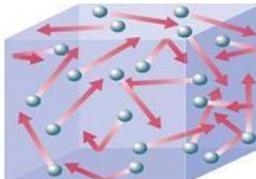
**Agitação térmica:** É o movimento das partículas causado pela temperatura sob a qual elas estão submetidas.

**Calor:** É a mecanismo da transferência da energia térmica

**Energia térmica:** É uma forma de energia associada com as energias cinéticas das partículas.



Menor temperatura



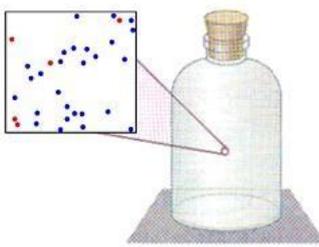
Maior temperatura

Figura: As moléculas do fluido em maior temperatura se agitam mais intensamente.

---

### NOÇÕES DE TEMPERATURA

**Temperatura:** medida do grau de agitação das moléculas.



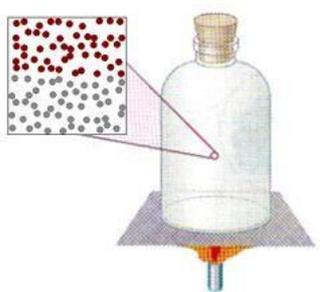


Figura: as moléculas do gás, quando colocado sobre a chama, adquirem mais energia cinética, ou seja, passam a apresentar uma temperatura mais elevada.

**Figura 4. Slide 1: Noções fundamentais**

Fonte: Própria da autora

Diante disso, foram feitas aos alunos indagações iniciais de temperatura como:

- Podemos confiar em nosso senso de quente e frio para medir temperatura?
- Ambos as mãos sentirão à mesma “temperatura” quando forem mergulhados na água morna?

Continuando com as revisões ou mesmo apresentações dos conceitos de temperatura, calor, energia térmica, pressão, densidade. Nesta mesma aula, conforme a aula em slide, iniciamos uma discussão sobre o pré- teste realizado, e foi deixado em aberto perguntas dos alunos, ou para eles, sobre termos e conceitos as quais a turma como um todo tinham mais dúvidas, tendo em vista a grande quantidade de perguntas sem respostas pelos alunos, mas já era algo esperado. Alguns conceitos nunca haviam sido apresentados para eles naquele nível escolar. Os conceitos abordados nessa discussão eram sobre noção de: partícula, Movimento Browniano, constante de Avogadro, entre outras. Tiradas as principais dúvidas sobre os conceitos presente no slide de número 1, onde deixamos pressão e densidade para discutirmos na aula seguinte.

### 4.3 Terceiro Encontro

Iniciamos com apresentação do conceito de gás ideal e noções afins através do Slide 2 “Teoria cinética dos gases”, além da apresentação dos conceitos de gás, gás ideal, equação de estado, lei de Avogadro e equação de Clapeyron.

## HIPÓTESES

- 1ª Hipótese: As moléculas se encontram em movimento desordenado, regido pelos princípios fundamentais da Mecânica Newtoniana.
- 2ª Hipótese: As moléculas não exercem força umas sobre as outras, exceto quando colidem.
- 3ª Hipótese: As colisões das moléculas entre si e contra as paredes do recipiente que as contém são perfeitamente elásticas e de duração desprezível.
- 4ª Hipótese: As moléculas têm dimensões desprezíveis em comparação aos espaços vazios entre elas.

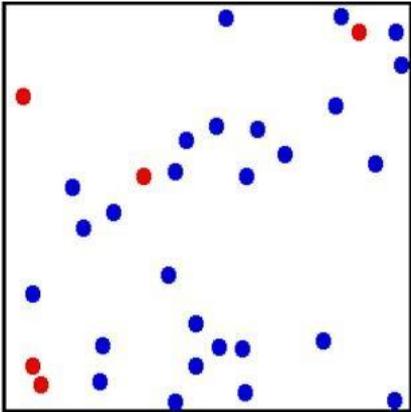


Figura: Movimento desordenado das moléculas de um gás ideal.

## OS GASES REAIS PODEM SE COMPORTAR COMO UM GÁS IDEAL, ATENDENDO A DUAS CONDIÇÕES:

- Baixa pressão**
  - Pressupõe-se um número menor de moléculas por unidade de volume, pois poucas moléculas acarretam poucas colisões nas paredes do recipiente e, conseqüentemente, menor pressão.
- Alta temperatura**
  - Moléculas com elevada velocidade média.

Figura 5. Slide 2: Teoria cinética dos gases

Fonte: Própria da autora

Ao decorrer desta aula, tivemos acesso ao computador juntamente com um projetor para que todos pudessem interagir e com estas ferramentas disponíveis foi

usado o simulador sobre as propriedades dos gases<sup>2</sup>.

**Explorar tela**  
Descubra o que acontece quando um gás é comprimido ou expandido, e identifique quando o trabalho de P-V é feito sobre ou por um gás.

**ABRIR a**

**COMPRESSOS**  
ou  
**Amplie** o volume para explorar o

**PAUSE e STEP forward** quadro a

Unidades

**ADD** ou **REMOVER** partículas 50 de cada vez ou

**Tela de Energia**  
Examine a velocidade e a distribuição de energia cinética e compare gases pesados e leves.

**OBSERVAR** a velocidade média de cada espécie

**EXAMINAR** velocidade e distribuição de energia em

**VER** as distribuições de

**EXPLORAR** sistemas com ou sem colisões de partículas

Partículas de **PUMP** em temperaturas

**Figura 6. Uso do simulador sobre propriedades dos gases**  
Fonte: PHET<sup>2</sup>

Logo após, no slide 3, a equação dos gases ideais foi apresentada para dar uma melhor interação dos alunos com o dito fenômeno físico. No simulador, conforme as imagens, há uma caixa que bombeia moléculas de gás por um meio de livre acesso para poder apertá-lo quantas vezes fosse preciso. Com essa simulação os alunos puderam observar o que acontecia quando se alterava determinadas grandezas Termodinâmicas, como o volume, “calor”, etc. Há neste simulador a opção de mudar a intensidade da gravidade também. Para reforçar mais as aulas anteriores, medimos a temperatura e a pressão, visando como as propriedades do gás variam entre si. Nessa aula 3, abre um leque de informação importantes para o avanço da didática da aprendizagem do projeto.

<sup>2</sup> Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/gas-properties](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gas-properties)

## EQUAÇÃO DE ESTADO DOS GASES IDEAIS

- Lei de Avogadro: volumes iguais de todos os gases nas mesmas condições de temperatura e pressão contém o mesmo número de moléculas.
- Equação de Clapeyron:

$$PV = nRT$$

Número de mols

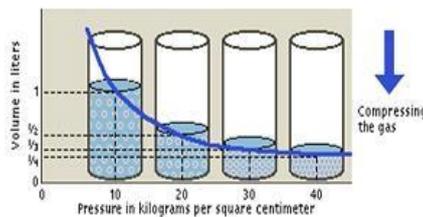
Constante dos gases

8,31 J/mol.K

## LEIS GERAIS DOS GASES

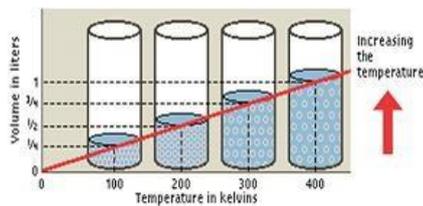
### Boyle's Law

If a gas is held at a **constant temperature**, the volume is inversely proportional to the pressure. Compressing a gas to half of its initial volume doubles its pressure.



### Charles' Law

If a gas is held at a **constant pressure**, the volume is directly proportional to the absolute temperature. Heating a gas to double its original temperature doubles its volume.



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

### I. Isotérmica

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

### II. Isobárica

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

### III. Isocórica

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Figura 7. Slide 3: Equação ideal dos Gases

Fonte: Própria da autora

#### 4.4 Quarto Encontro

Nesta aula foram necessários 2 tempos de aula de 45 minutos, que teve a intenção de apresentar determinados conceitos de probabilidade e estatística, tais noções seriam aproveitadas na interligação fenômenos naturais, ou não, onde efeitos aleatórios e probabilidade acabam sendo predominantes. Alguns exemplos de fenômenos físicos, que futuramente desejamos fazer que os alunos obtivessem desse efeito de probabilidade, era compreender a evolução de um movimento de um grupo de moléculas em um ambiente; a fragrância de um perfume ou outra substância, e conectando com os fenômenos futuramente abordados, tema do trabalho, o Movimento Browniano que possui essas características probabilísticas. Em pauta, os conceitos de probabilidade, a partir desta aula houve uma construção de conhecimento que alavanca mais o conhecimento tanto físico, matemático, e probabilístico para entendimento futuro sobre condições iniciais. Para isso vamos fazer primeiro experimentos de dados e baralhos, que são fáceis de manusear para melhorar o entendimento do assunto.



**Figura 8. Alunos manuseando dados**  
Fonte: Própria da autora

As noções de probabilidade foram apresentadas de forma prática por meio de alguns jogos, “fenômenos não naturais”, como dados e baralho. Foi cedido um dado de 6 faces para um[a] aluno[a] numa posição para que todos os alunos tivessem visibilidade do acontecimento que iria ocorrer, podendo assim observar o experimento, mesmo que simples, mas contendo muitas informações para contribuir para o entendimento da noção de probabilidade. Foi pedido para um[a] aluno[a] que jogasse o dado para cima, mas antes foi feita a seguinte pergunta, “qual número que aparecerá?” esperou-se a resposta dos alunos. As respostas obtidas podem mostrar a quantidade de possibilidades que o dado pode cair. Após isso foi feita a segunda pergunta: “o que é ideia de probabilidade?” Então, por meio dessa atividade foi acrescentada aos alunos a noção sobre espaço amostral, tema este abordado pelo professor de matemática alternativamente.

Nessa mesma atividade, continuou-se a jogar o dado mais algumas vezes para cima, sendo que os resultados das faces obtidas foram, 1, 3, e 4, nesta ordem. Precisaríamos jogar infinitas vezes, para mostrar que daria  $1/6$ ,  $1/6$  e  $1/6$  a “distribuição” dos eventos, mostrando com isso a diferença de probabilidade, frequência e a interligação entre ambas. Então, por motivos óbvios, não foi necessário jogar o dado tantas vezes assim para notar como funcionava o raciocínio. Informamos que as faces são equiprováveis, ou seja,  $1/6$ , para um dado não viciado, e que o espaço amostral com o “tamanho” é 6, então, a probabilidade é  $1/6$ .

Foi feito em seguida duas perguntas hipotéticas aos alunos, que foram:

- Se pegarmos um dado de 12 faces, qual seria o tamanho do seu espaço amostral?
- Qual a probabilidade de dá uma das faces?

O segundo experimento foi usar um baralho de 52 cartas, elas foram embaralhadas por um aluno voluntário que escolheu uma carta. Seguindo a mesma ideia para saber se depois de embaralhada viria a mesma carta selecionada anteriormente. Pegando-as, embaralhem mais uma vez no próprio baralho, foi feita a pergunta: “qual a probabilidade de retornar o mesmo jogo das 6 cartas?”. Ao calcular, supomos que quando selecione uma carta a probabilidade de dar “Ás de espada” é  $1/52$ , escolhendo mais uma carta para encontrá-la sobrando, então,  $1/51$ , e depois mais uma vez sobrando  $1/50$ , e assim sucessivamente ( $1/49$ ,  $1/48$ , e  $1/47...$ ). Com o uso da calculadora, obtivemos no produto desses denominadores de  $52 \times 51 \times 50 \times 49 \times 48 \times 47 = 1,46581344 \cdot 10^{10}$ , ou seja, a probabilidade é o inverso disso, sendo da ordem de  $10^{-10}$ .

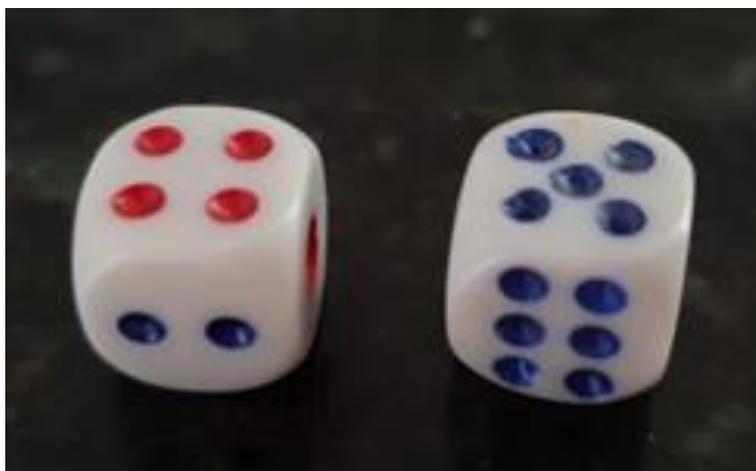


**Figura 9. Aluno manuseando um baralho**

Fonte: Própria da autora

Logo após a sequência do experimento com as 52 cartas, vamos aumentar agora o espaço amostral, voltando agora para o experimento do dado, porém iremos utilizar 2 dados de 6 faces. Jogando-os para cima ao mesmo tempo, tivemos combinações como: 1 e 1, 1 e 2, 4 e 6. Assim foram as combinações, pois, nesse exemplo, as combinações são independentes, sendo, assim, foi feita a pergunta:

- Qual é o seu espaço amostral? Então temos:  $1/36$ , pois a probabilidade de cada um é elevada ao quadrado  $(1/6)^2$ .



**Figura 10. Dados idênticos de 6 faces**

Fonte: Própria da autora

Essa atividade foi fundamental para a continuidade do projeto, onde conexão com a disciplina matemática, em especial, com o tema probabilidade foi rediscutido do ponto de vista prático, através dos experimentos com objetos dados e baralho. No final desta atividade, apresentamos um resumo dos principais conceitos abordados no experimento, que é dado pelo slide 4.

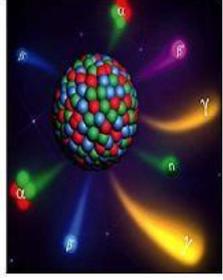
## 4.5 Quinto Encontro

Com os fundamentos físicos e matemáticos adquiridos nos quatro primeiros encontros, iniciamos a introdução desses conceitos ao problema do Movimento Browniano. Agora, o estudante devidamente fundamentado foi capaz de entender os conceitos de probabilidade para o problema real do movimento das moléculas. Nessa atividade propomos a ideia da caminhada aleatória em conexão com os acontecimentos no cotidiano, por exemplo, o espalhamento das moléculas do perfume no ar. No Slide 5 apresentamos o problema do caminhante aleatório em uma dimensão, também conhecido como o “problema do bêbado”.

### NOÇÕES DE PROBABILIDADE

Os conceitos de probabilidade são indispensáveis em várias áreas:

- Negócios de seguros;
- Jogos de azar;
- Em biologia são de profunda importância na área de Genética;
- Em Física para o estudo da desintegração radiativa e etc.



### EVENTO CERTO, EVENTO IMPOSSÍVEL

- Evento certo: Ocorre quando um evento coincide com o espaço amostral.
- Evento impossível: Ocorre quando um evento é vazio.

### PROBABILIDADE DE OCORRER UM EVENTO

$$P(A) = \frac{\text{número de elementos de } A}{\text{número de elementos de } \Omega} \Rightarrow P(A) = \frac{n(A)}{n(\Omega)}$$

Figura 11. Slide 4: Processos aleatórios

Fonte: Própria da autora

## Modelagem do Random Walk 1D

- Consideremos um indivíduo (um bêbado) podendo se deslocar sobre uma linha reta (problema em uma dimensão), sendo  $x=0$  seu marco inicial.
- O problema do random walk consiste em encontrar a probabilidade  $P_N(m)$  de que o bêbado se encontre na posição  $x = ma$ , após ter dado  $N_1$  passos para direita e  $N_2$  passos para esquerda, sendo  $m = N_1 - N_2$  ( $-N \leq m \leq N$ ) e  $N = N_1 + N_2$ .

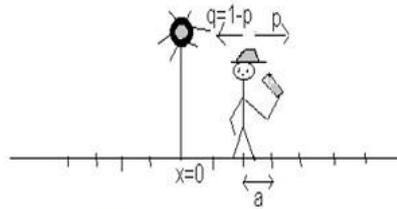


Figura - Esquema do bêbado na caminhada aleatória (random walk)

### Generalização do random walk

Podemos escrever esta equação

$$P_N(N_1) = \frac{N!}{N_1! \cdot N_2!} \cdot p^{N_1} \cdot q^{N_2},$$

Em termos da variável aleatória  $m = N_1 - N_2$ , posição do bêbado  $x = ma$  após ter dado  $N$  passos aleatoriamente. Substituindo  $N_1 = (N + m)/2$  e  $N_2 = (N - m)/2$  teremos :

Onde essa equação lado,  
Satisfaz a relação de recorrência

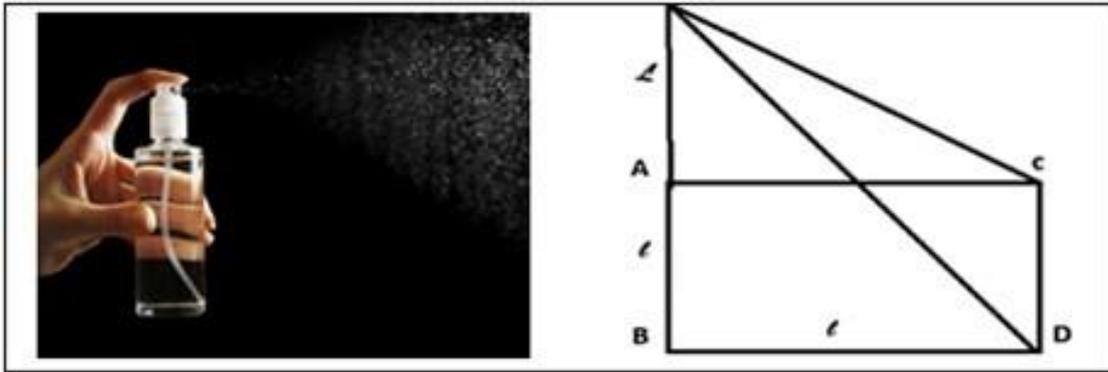
$$P_N(m) = \frac{N!}{\left(\frac{N+m}{2}\right)! \left(\frac{N-m}{2}\right)!} p^{\frac{N+m}{2}} \cdot q^{\frac{N-m}{2}},$$

$$|P_{N+1}(m) = pP_N(m - 1) + qP_N(m + 1).$$

### Figura 12. Slide 5: Caminhada aleatória

Fonte: Própria da autora

Foi indagado sobre abrir um frasco de perfume em sala de aula, sendo exposto no quadro a questão hipotética de observamos a ordem em que cada aluno irá sentir a fragrância do perfume. Os alunos que estão posicionados na sequência de 1 a 4 assumiram suas respectivas respostas como aluno 1=A, aluno 2=C, aluno 3=B e aluno 4=D, sendo  $L = 2m$  e  $l = 1m$ . Ainda indagamos sobre as moléculas do perfume em termos de mais aprofundamento e curiosidades em relação a tempo, possibilidade e probabilidade.



**Figura 13. Exemplificação das posições dos alunos em relação ao perfume lançado**  
 Fonte: Própria da autora

Podemos matematizar essas informações como:

$$A = 2$$

$$C = \sqrt{L^2 + l^2}$$

$$B = L + l$$

$$D = \sqrt{(L + l)^2 + l^2}$$

### Situação-problema

- 1) O que é mais possível de acontecer entre ao esborrifar a fragrância do perfume e morrermos asfixiados pelas próprias moléculas ou ganharmos na Megasena?

**(Explicação):** Mostrando-se determinados eventos com características probabilistas, que estão a nossa volta, e não nos damos algumas vezes conta. Para responder essa pergunta, vamos calcular a probabilidade para ganhar na Megasena. Podemos calcular com uma combinação simples de sessenta elementos formados seis a seis,  $C_{60,6}$ , sendo assim os possíveis números de combinações são calculados abaixo com cálculo simples de probabilidade:

$$C_{n,p} = \frac{N!}{p!(n-p)!}$$

$$C_{60,6} = \frac{60!}{6!(60-6)!}$$

$$C_{60,6} \approx 50 \text{ milhões}$$

Logo, existem 50 milhões de modos de se escolher os seis números de 1 a 60, então a chance é de 1 em 50 milhões correspondendo a ordem de  $10^{-8}$  sendo 0,0000002% .

Obs.: O jogo do baralho e as moléculas do perfume podem ser tratados de

maneira similar, sabendo que as ordens são diferentes, porém a ideia é a mesma em questão de quanto tempo poderão voltar para suas condições iniciais referentes ao tempo de recorrência de Poincaré.

Comparação baralho & perfume versus Megasena para melhor entendimento, entre ganhar na Megasena e conseguir no próprio jogo de baralho as mesmas cartas selecionadas inicialmente, o jogo do baralho é 100 vezes mais difícil de acontecer comparado ao ganhar na Megasena, agora sobre as moléculas do perfume voltarem para as narinas é possível, entretanto segundo a termodinâmica é impossível, pois é um processo irreversível. Porém, segundo a probabilidade, é possível, ou seja, não provável, justamente porque a probabilidade é muito pequena. Isso se chama tempo de recorrência de Poincaré, onde todo o sistema dinâmico ela sempre volta para o seu estado inicial ou próxima dessa região, mas qual seria o tempo para as moléculas voltarem para as narinas? Então seguindo comparação com o jogo do baralho vejamos o cálculo abaixo:

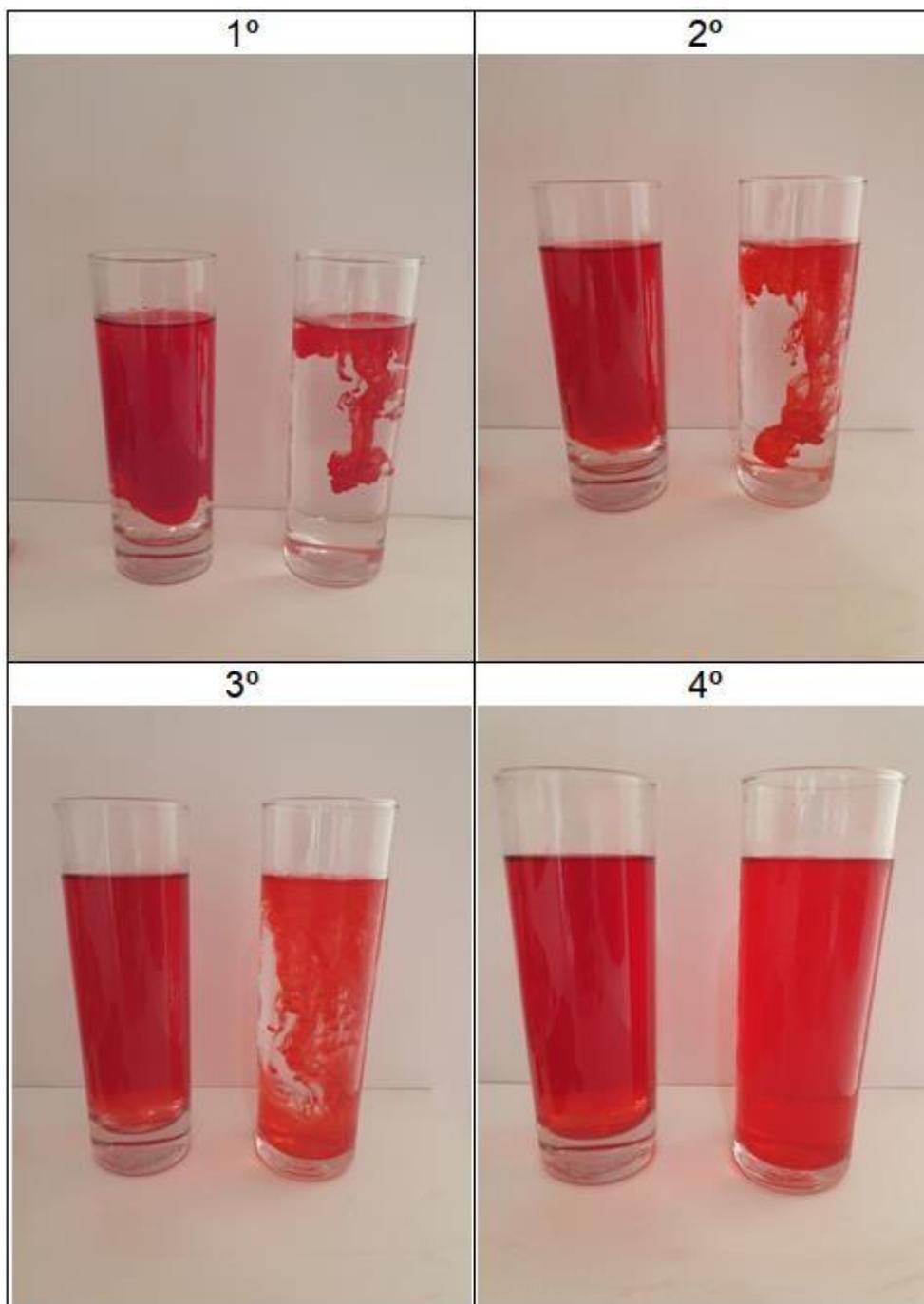
$$\begin{aligned}t_p &= N\Delta T = 10^{10} \times 6s \cong 10^{11}s \\1h &= 3600 \cong 10^3 \\1 \text{ dia} &= 24h = 10^4s \\1 \text{ ano} &= 365 \text{ dias} \cong 10^6s \\10^5 \text{ anos} &\text{ sendo então } 100000 \text{ anos}\end{aligned}$$

Então precisaria de 100000 anos para as 6 cartas selecionadas voltarem para suas condições iniciais, então é mais “fácil” ganhar na Mega-sena do que morremos asfixiados.

Ainda não convencidos? A ordem de tempo recorrência das moléculas de perfume é de  $10^{-10^{23}}$ , já dá megasena é de  $10^{-8}$  então é mais fácil alguém ganhar 20 vezes consecutivos na Mega-sena, do que as moléculas do perfume voltarem para nossas narinas e, assim, morrermos por asfixia por elas.

#### 4.6 Sexto Encontro

Primeiramente houve a abordagem com o experimento: em dois recipientes, sem dar detalhes aos alunos sobre a explicação, foi jogado um pingo de corante em cada copo e observamos o que iria acontecer com as misturas. Foi usado um cronômetro durante os eventos.



**Figura 14. Experimento com copos, água e corante**

Fonte: Própria da autora

O experimento consiste em dois copos de vidro com água no qual o 1º copo a esquerda está com a água aquecida e o 2º copo a direita com água fria (figura 14).

Em resumo, o corante vermelho se espalha rapidamente por todo o líquido que está quente, mas faz isso de forma um pouco mais lenta no líquido frio. Vimos que nos primeiros 60 segundos o corante já estava quase totalmente difundido na água, porém, o segundo copo no mesmo tempo a difusão estava sendo lentamente. No decorrer dos 3 minutos o 1º copo continuava com o espalhamento de forma linear, mas o 2º copo ainda vagarosamente. Enquanto ocorria a difusão, passaram-se 5 minutos e assim pudemos ver que o 2º copo a difusão do corante estava quase equivalente ao espalhamento comparado ao 1º copo. Isso significa, então, que a difusão para esse caso específico é mais lenta e também linear com tempo. O movimento das partículas em um líquido é um caminho irregular e imprevisível, pois as moléculas da água estão em constante movimento e colisão, continuamente, e foi isto que Brown observou, em seu caso, ao misturar água e pólen.

Ainda de acordo com a experiência registrada na fotografia, as moléculas do corante colidam com as da água, que também estão em movimento. A água quente tem suas moléculas mais agitadas por causa da temperatura elevada, permitindo assim um deslocamento mais rápido das partículas. Assim, o corante se dispersa mais facilmente do que na água fria, conforme demonstrado pela expressão (20) para o coeficiente de difusão (D).

Para a realização do experimento citado, foram feitas as perguntas do questionário no quadro a seguir. E para cada pergunta, foi transcrita a melhor resposta elaborada pelos alunos:

#### **Quadro 2. Questionário sobre difusão**

##### **Questionário do experimento sobre difusão**

**1)** Em suas palavras o que observaste nos dois frascos de vidro?

Resposta escolhida: *“que no frasco que contém a água quente o corante se dissolve mais rápido por conta da agitação das moléculas e que na água fria as moléculas estão menos agitadas”.*

**2)** O que entende por fluído?

Resposta escolhida: *“qualquer coisa onde as partículas ficam dispersas”.*

**3)** Por que na água quente o corante se difunde mais rápido?

Resposta escolhida: *“porque as moléculas estão mais agitadas, estado esse que facilita a difusão da corrente”.*

**4)** Por que na água fria o corante se difunde lentamente?

Resposta escolhida: *“porque as moléculas estão em um nível de agitação menor, retardando o processo”.*

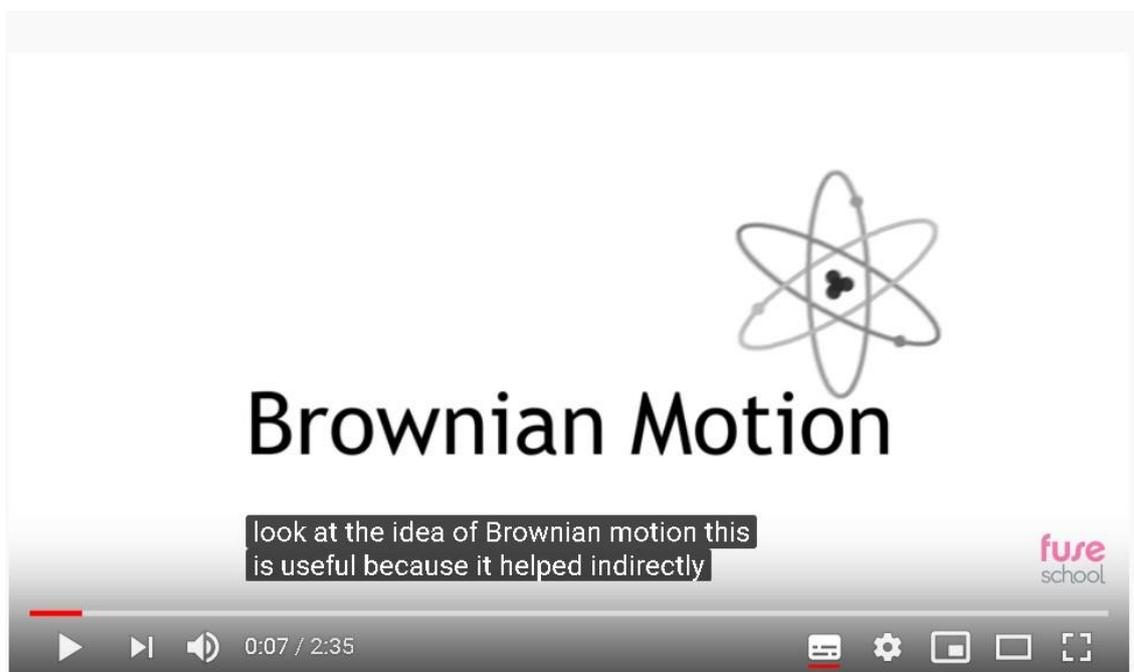
**5)** Terias alguma ideia de experimento que poderias representar este mesmo fenômeno visto no vídeo?

Resposta escolhida: *“sim, no preparo de café”.*

Fonte: Própria da Autora.

Logo após a entrega desse questionário respondido, na ocasião, as

respostas foram discutidas em uma espécie de mesa redonda, houve bastante colaboração dos alunos, tendo em vista que muitos têm respondido de forma plausível. Percebemos a necessidade de mais um tempo de aula, iniciando-a com um vídeo sobre a História do Movimento Browniano<sup>3</sup>.



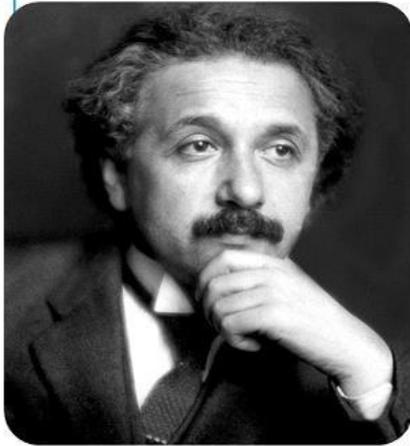
**Figura 15. Vídeo sobre a História do movimento Browniano**

Fonte: FuseSchool - Global Education<sup>3</sup>

O vídeo é em inglês (figura 15), mas foi traduzido de forma oral pela pesquisadora simultaneamente com a reprodução. Logo mais, foi apresentado o Slide 6: “Movimento Browniano”, enfatizando bastante Gif’s animados e explicativos para melhor entendimento do fenômeno.

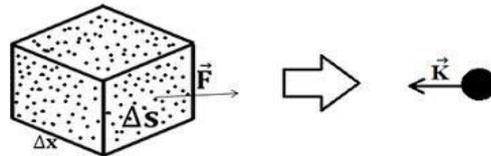
<sup>3</sup> What Is Brownian Motion? | Properties of Matter | Chemistry | FuseSchool. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4m5JnJBq2AU>

## A EQUAÇÃO DE EINSTEIN



Albert Einstein (1905)

○ O fenômeno conhecido como movimento browniano foi primeiramente explicado nos estudos realizados por Albert Einstein.



$$D = \frac{RT}{6\pi\eta\alpha N_A} = \frac{k_B T}{6\pi\eta a}$$

$$\langle x^2 \rangle = 2Dt = \frac{RT}{3\pi\eta\alpha N_A} t$$

## SOBRE OUTRO CIENTISTA LANGEVIN

○ Os impactos aleatórios das moléculas dão origem a uma força impulsiva que mantém o movimento irregular incessante das partículas.

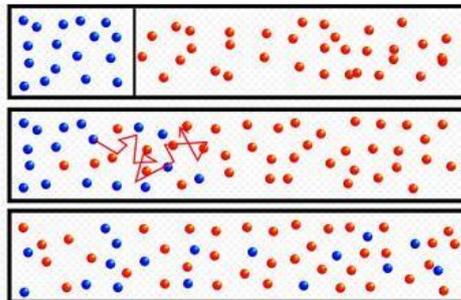


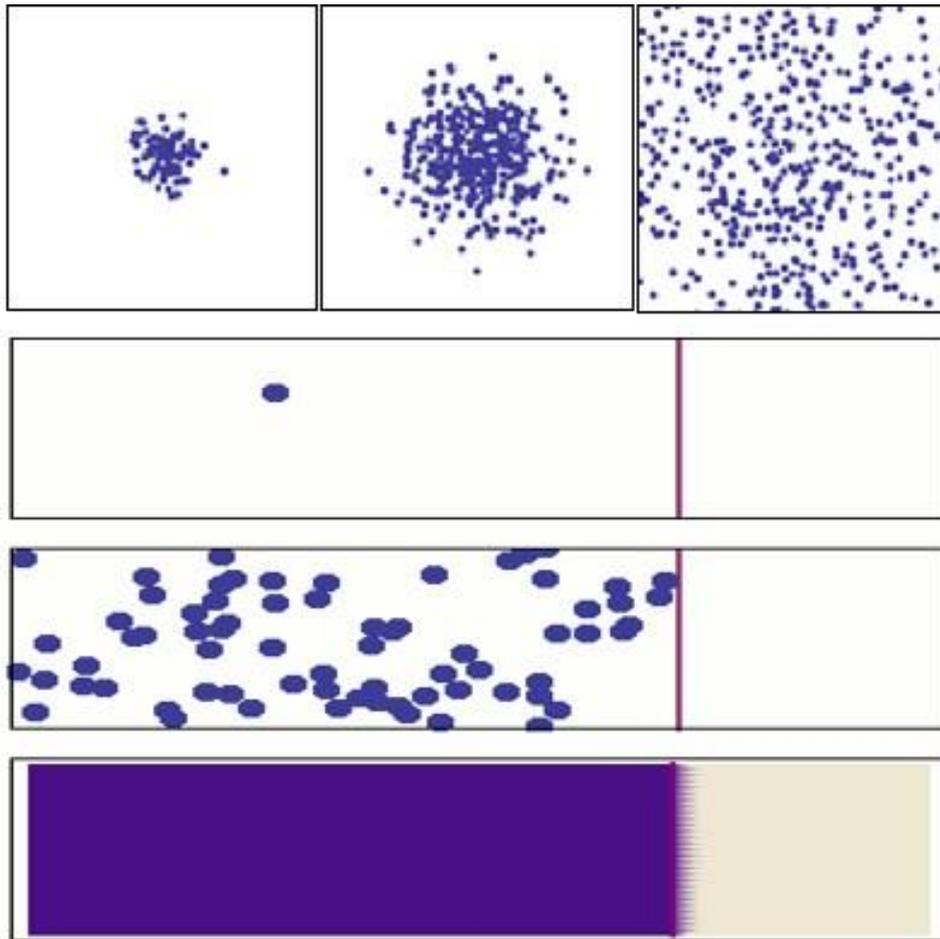
Figura: Impactos Aleatórios

○ A teoria de Langevin para este movimento é obtido ao escrever as equações de Newton para uma partícula massiva

**Figura 16. Slide 6 “Movimento Browniano”**

Fonte: Própria da autora

As partículas podem se mover espontaneamente, difundindo-se de regiões de maior concentração para regiões de menor concentração, como observamos no compilado da figura 17.

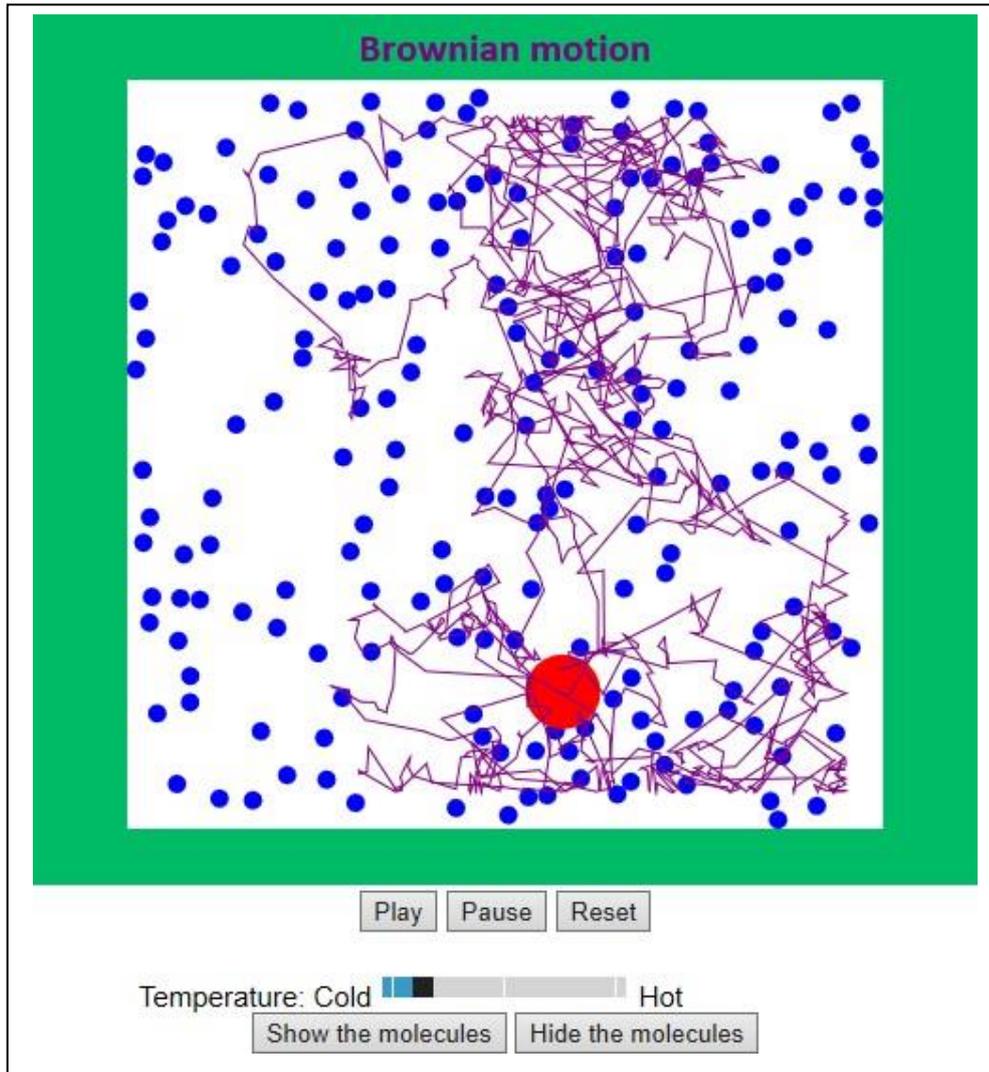


**Figura 17. Ilustração de difusão**

Fonte: Difusão molecular<sup>4</sup>

Foi utilizado também, outro simulador para ilustrar esse fenômeno, conforme a figura 18.

<sup>4</sup> “Difusão molecular”: disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Difus%C3%A3o\\_molecular](https://pt.wikipedia.org/wiki/Difus%C3%A3o_molecular)



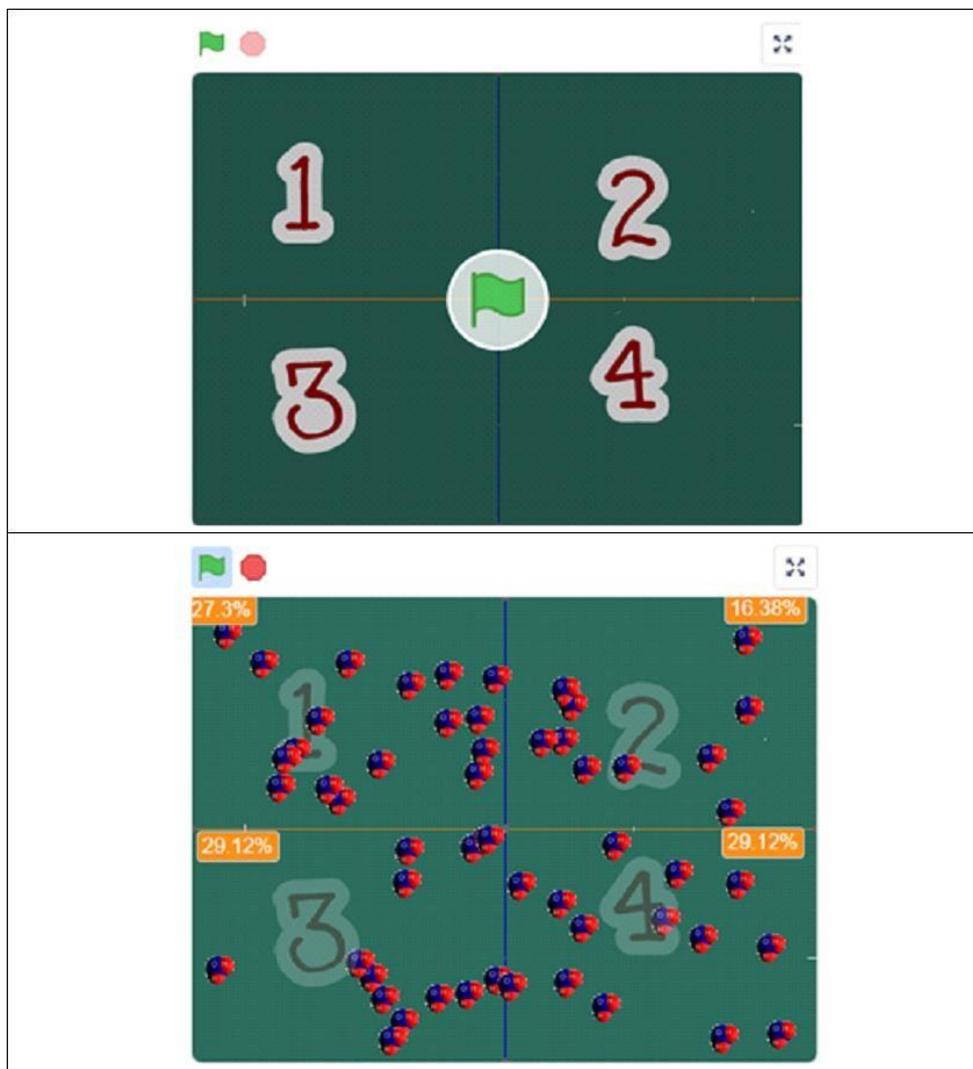
**Figura 18. Simulador "Brownian motion"**

Fonte: BU Physics<sup>5</sup>

<sup>5</sup> "Brownian motion" disponível em: [http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian\\_motion.html](http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian_motion.html)

## 4.7 Sétimo Encontro

Tendo aprendido os conceitos firmados sobre o fenômeno do Movimento Browniano, ministramos mais uma aula, agora no laboratório de informática. Com o auxílio da ferramenta Scratch, usamos uma simulação elaborada pela própria autora, que foram dadas as instruções de uso do programa.



**Figura 19. Simulação no Scratch**

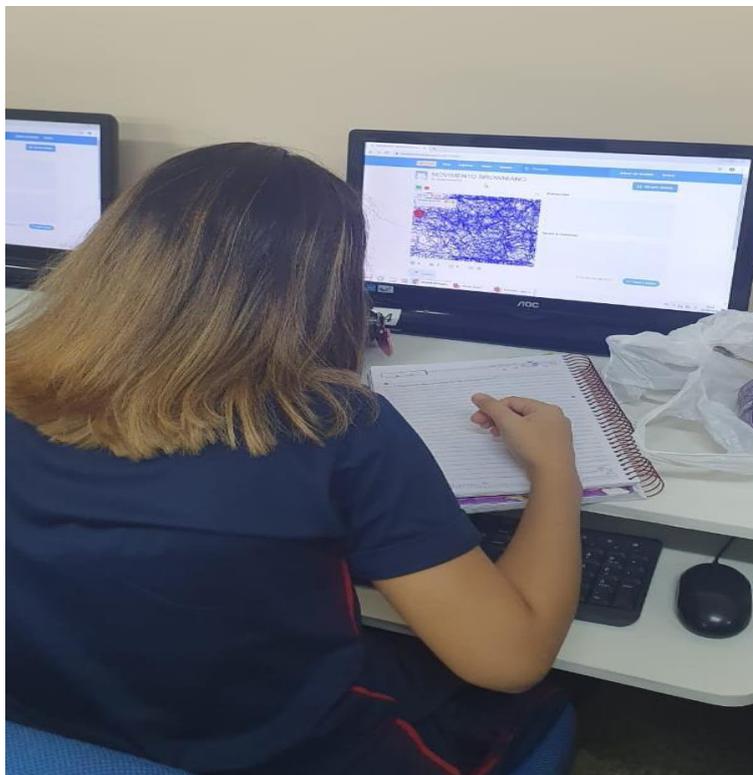
Fonte: Movimento Browniano-2<sup>6</sup>

Nessa simulação ilustrada na figura 19, temos 55 moléculas de água, onde a contagem só inicia a partir de 4 segundos. A quantidade de vezes que as moléculas passam por cada quadrante é contada em porcentagem, assim temos noção de quantas moléculas sofrem impactos aleatórios em cada um dos 4 quadrantes.

Durante essa aula, os alunos distribuídos em computadores diferentes tiveram a oportunidade de utilizar a simulação no Scratch. Mesmo separados, eles tomaram a iniciativa de interagir uns com os outros, foi recorrente a curiosidade

<sup>6</sup> “Movimento Browniano-2” disponível em: <https://scratch.mit.edu/projects/315408625/>

sobre os comportamentos das moléculas do colega, ou seja, perguntavam entre si qual quadrante estava com a porcentagem maior e, assim, perceberam que mesmo sendo o mesmo programa, conseguiam notar a aleatoriedade, base do conteúdo.



**Figura 20. Aluna interagindo com a simulação**  
Fonte: Própria da autora

#### 4.8 Oitavo Encontro

Após os alunos terem passados por todas as aulas, de interagiram com experimentos, passaram por análise, debates, investigações, instigações, manusearem os simuladores etc., chegou a hora de analisar a eficácia da ação. Através do teste final (figura 21), idêntico ao pré-teste, vamos analisar se houve acréscimo em relação às respostas corretas, em outras palavras, vamos analisar se a intervenção do projeto foi eficiente na construção do conhecimento dos discentes.



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

**INSTITUTO FEDERAL  
AMAZONAS**

**UFAM**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
NATUREZA. SCIENTIA. VERITAS.

**SBF**  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

**Pré-Teste e Teste Final**  
**Questionário**

- 1) Defina o que você entende por:
  - a) Temperatura:
  - b) Calor:
  - c) Partícula:
  - d) Molécula:
  - e) Pressão:
  - f) Constante de Avogadro:
  - g) Densidade :
  - h) Força:
  - i) Probabilidade :
  - j) Possibilidade :
- 2) Já ouviu falar sobre o Movimento Browniano? Ou Difusão? Ou algo similar. Se sim relate!
- 3) Imagine uma folha de uma árvore caindo sobre o solo, você conseguiria dizer em que posição ela iria cair ?

**Figura 21. Pré-Teste e Teste Final**

Fonte: Própria da autora

#### 4.9 Síntese das aulas do projeto

De forma resumida, mostramos um quadro com as aulas e suas respectivas ações em sala de aula. É importante para haver clareza na forma como essa pesquisa abordou cada modalidade de aula.

**Quadro 3. Síntese dos encontros**

Nº	Atividades do professor	Atividades dos alunos	Recursos
1	Aplicar o pré-teste sobre conceitos fundamentais da Termodinâmica.	Responder ao pré-teste	Datashow Pré-teste Questionário pré-teste; Quadro branco; Pincel para quadro branco; Computador.
2	Apresentar o vídeo sobre conceitos termodinâmicos.	Assistir ao vídeo Fazer comparação com o ao que foi respondido ao pré-teste	Vídeo Slide em Datashow Notebook Caixas de som
3	Discutir sobre a teoria cinética dos gases com os alunos Equação ideal dos gases.	Responder as questões propostas no próprio slide	Data show Slide
4	Apresentar conceitos de probabilidade Continuação de probabilidade.	Praticar com o dado de 6 faces Praticar com cartas de baralho	Data show Slide 2 dados de 6 faces Cartas de baralho
5	Caminhada aleatória.	Responder a três perguntas sobre o espalhamento do perfume	Data show Slide
6	Movimento Browniano, observar o experimento do corante.	Responder ao questionário do vídeo.	Avaliação oral sobre conceitos Copos Água Corante
7	Apresentar o programa Scratch Orientar sobre o uso de simulações desse programa.	Fazer indagações sobre o programa Manusear a simulação já pronta	Data show Slide Laboratório
8	Entrevistar os alunos sobre todo projeto.	Responder as perguntas	Datashow Teste Final

Fonte: Própria da autora

**Quadro 4. Estrutura das aulas**

<b>Aulas</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Metodologia</b>
Apresentação da proposta de ensino e Pré-teste	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresentar a proposta de ensino.</li> <li>2. Aplicar um pré-teste para avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sequência didática.</li> <li>2. Termodinâmica.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresentação da sequência didática.</li> <li>3. Teste de conhecimento.</li> </ol>
Módulo I – Termodinâmica: conceitos essenciais	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formalizar os conceitos relacionado a termodinâmica.</li> <li>2. Aplicar teste para avaliação do desenvolvimento do conhecimento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calor.</li> <li>2. Temperatura.</li> <li>3. Agitação térmica.</li> <li>4. Energia térmica.</li> <li>5. Pressão</li> <li>6. Densidade</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresentação de slides.</li> <li>2. Debate dos conteúdos.</li> <li>3. Teste de conhecimento.</li> </ol>
Módulo II – Termodinâmica: equação ideal dos gases	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar o conhecimento dos alunos acerca do conteúdo trabalhado nas aulas anteriores em situações do dia a dia.</li> <li>2. Discutir a importância da equação ideal dos gases para a compreensão do comportamento dos mesmos.</li> <li>3. Aplicar teste para avaliação do desenvolvimento do conhecimento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Volume.</li> <li>2. Equação de Clapeyron.</li> <li>3. N° de Avogadro.</li> <li>4. Leis gerais dos gases.</li> <li>5. Equações de estado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aula expositiva sobre Lei Geral dos gases com o auxílio de Datashow.</li> <li>2. Utilização de simuladores para ilustração das interações entre as moléculas de um gás.</li> </ol>
Módulo III – Probabilidade: experimentos com dados e baralhos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formalizar o conceito de probabilidade.</li> <li>2. Discutir a importância da probabilidade para o estudo do movimento browniano.</li> <li>3. Realizar experimentos.</li> <li>4. Debater os resultados encontrados pelas equipes acerca dos problemas propostos no roteiro de investigação.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evento: certo e impossível.</li> <li>2. Espaço amostral.</li> <li>3. Espaços equiprováveis</li> <li>4. Cálculos de probabilidade.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realização de atividades lúdicas com dados e cartas de baralho.</li> <li>2. Instigação da capacidade de investigar e supor soluções em situações problemas.</li> </ol>
Módulo IV – Probabilidade: experimentos com perfume e caminhada aleatória.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar o conhecimento dos alunos acerca do conteúdo trabalhado nas aulas anteriores em situações do dia a dia.</li> <li>2. Investigar como os alunos se comportam diante de experimentações no laboratório.</li> <li>3. Realizar experimentos e simulações.</li> <li>4. Discutir os resultados encontrados pelas equipes acerca dos problemas propostos no roteiro de investigação.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aleatoriedade</li> <li>2. Variáveis</li> <li>3. Movimento Browniano.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilização de softwares e simulações.</li> <li>2. Apresentar a equação de aleatoriedade.</li> </ol>
Módulo V – Movimento Browniano: conceitos essenciais	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar o conhecimento dos alunos acerca do conteúdo trabalhado nas aulas anteriores.</li> <li>2. Formalizar o conceito de Movimento Browniano.</li> <li>3. Discutir a equação da difusão e</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Movimento Browniano</li> <li>2. Scratch</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uso de computadores para a exibição do Scratch.</li> </ol>

	suas variáveis.		
Finalização da SD + Pós-teste	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicar o teste final para comparação do desenvolvimento conceitual dos alunos.</li> <li>2. Socialização dos resultados obtidos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Termodinâmica.</li> <li>2. Movimento Browniano.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicação do questionário e debate sobre as perguntas e respostas sobre os conteúdos abordados.</li> </ol>

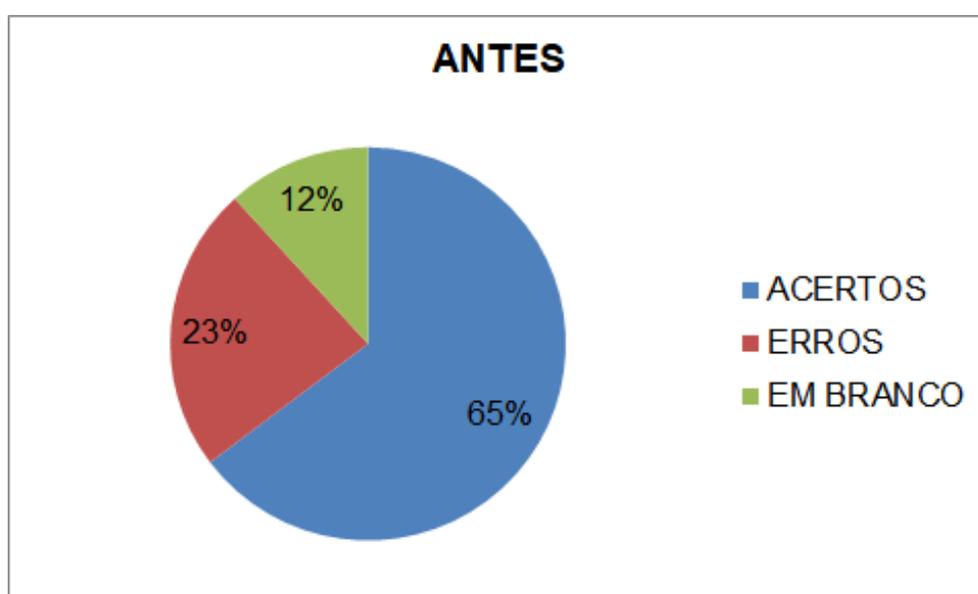
Fonte: Própria da autora

## CAPÍTULO 5

### Discussões de resultados

A partir da correção dos questionários aplicados, tanto no início quanto no final da intervenção, fomos capazes de gerar gráficos que pudessem representar ilustrativamente a evolução dos alunos ao comparar os dois eventos, pré-teste e teste final. Dessa maneira, a sequência da primeira à última questão é mostrada nos gráficos à seguir.

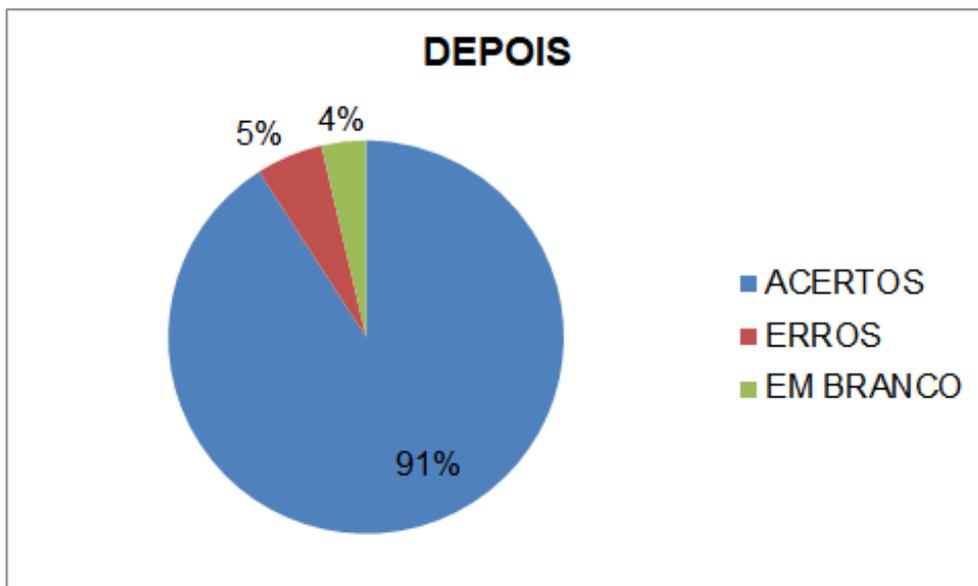
#### Conceito de temperatura.



**Gráfico 1. Questão 1: Temperatura (pré-teste)**

Fonte: Própria da autora

Notamos grande disposição (65%) em respostas corretas referentes ao conceito de temperatura. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de ser um dos primeiros assuntos ministrados no ano escolar para a série em questão. Mesmo assim, não pode ser descartado o fato de que uma parcela considerável (35%) não soube responder, deixando-a em branco (12%) ou errando-a (23%).

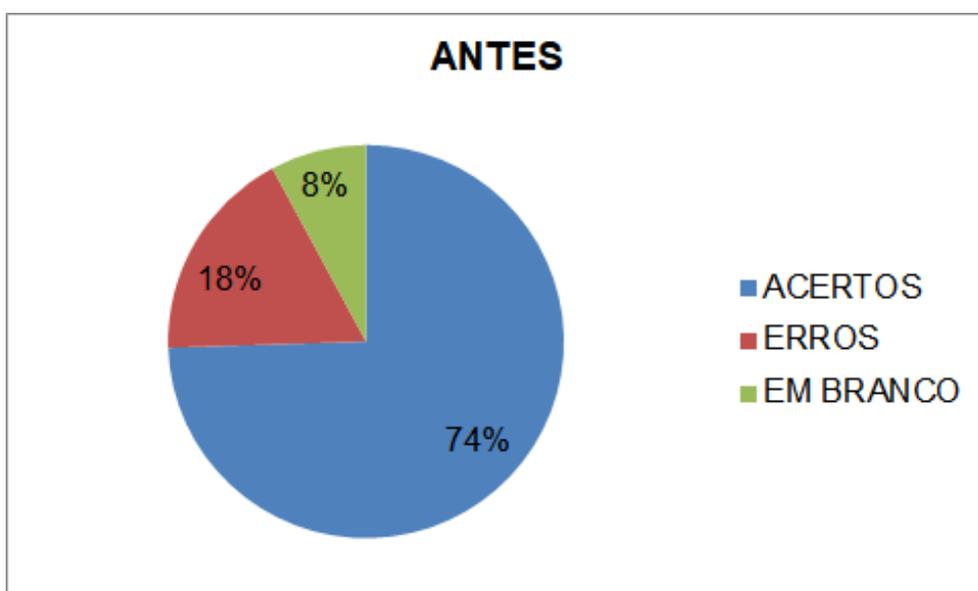


**Gráfico 2. Questão 1: Temperatura (teste final)**

Fonte: Própria da autora

Ao responderem novamente sobre a definição de temperatura, nota-se melhora em relação a quantidade de acertos (91%), comportamento esse devido a revisão dada ao decorrer da intervenção, reduzindo bastante o número de respostas em branco (de 12% para 4%) e erradas (de 23% para 5%).

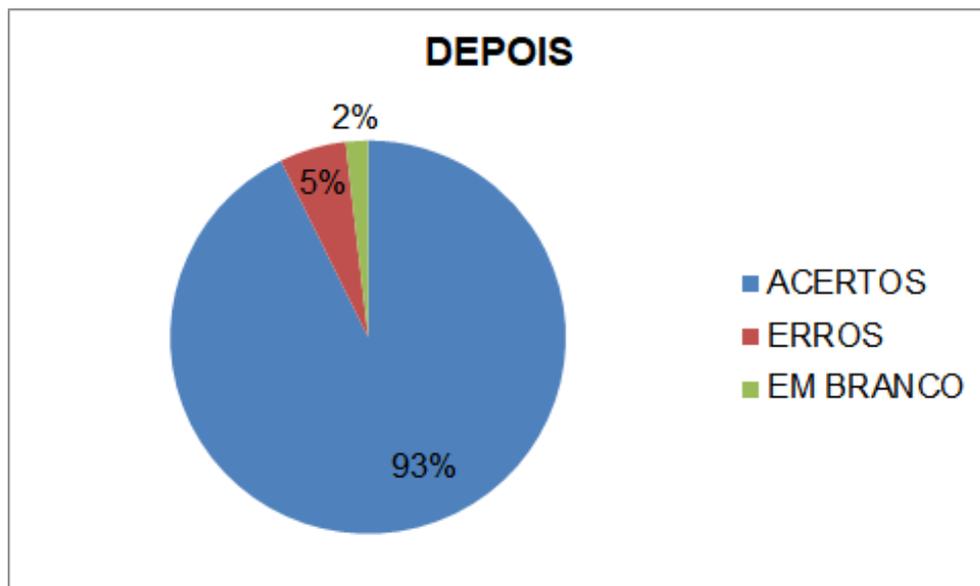
### **Conceito de calor.**



**Gráfico 3. Questão 2: Calor (pré-teste)**

Fonte: Própria da autora

Outro assunto de início do ano letivo é a noção sobre calor, aqui continuamos com alta taxa de acertos (74%), estranhamente foi mais acertado se comparado ao pré-teste sobre temperatura (65%), mesmo sendo um conceito que depende do anterior. Continuando, notamos uma porção que não conseguiu acertar (26%), distribuídos em erros (18%) e respostas em branco (8%).

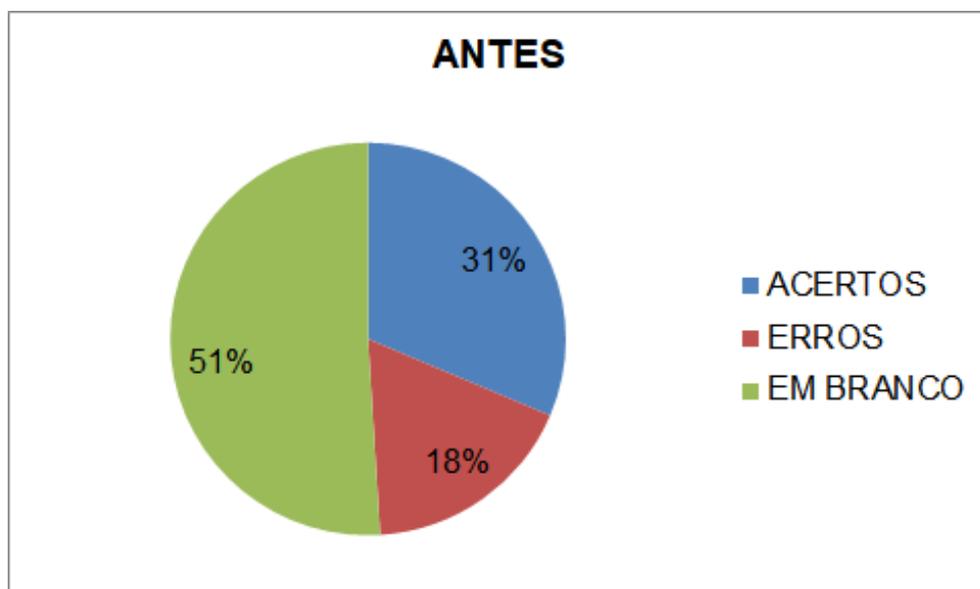


**Gráfico 4. Questão 2: Calor (teste final)**

Fonte: Própria da autora

Na reaplicação do questionário, podemos também ver melhora na taxa de acertos (93%), novamente superam o da temperatura (91%), mantendo a variante da questão anterior. Ainda temos pequena taxa de alunos sem acertar (7%), sendo erros (5%) e em branco (2%).

### **Conceito de partícula**

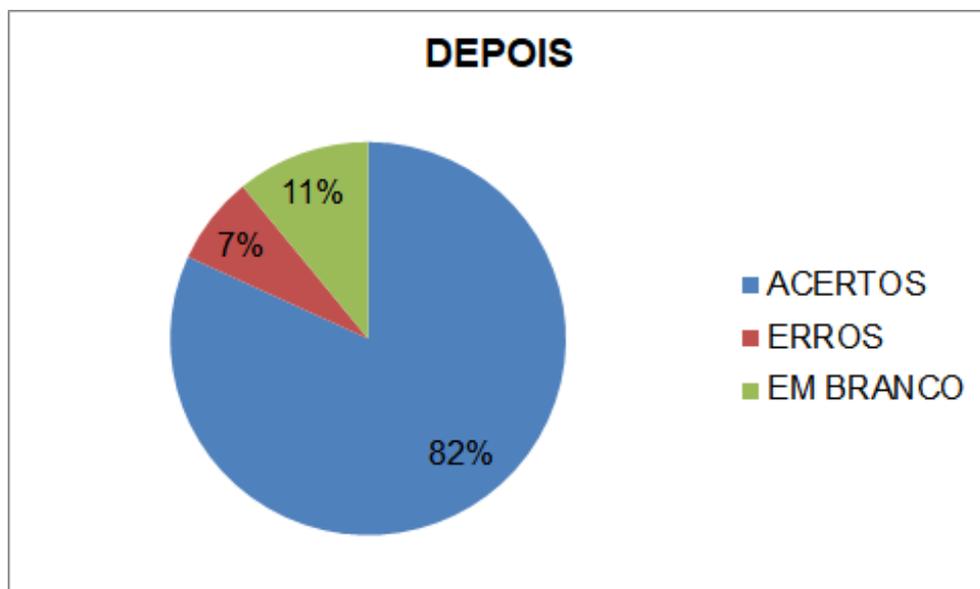


**Gráfico 5. Questão 3: Partícula (pré-teste)**

Fonte: Própria da autora

Quando tratamos da definição sobre partículas, temos baixíssima taxa de acertos (31%), isso é um fator importante para explicar a quantidade de erros daqui para frente no teste inicial, afinal de contas, como o aluno terá noção de pressão, densidade e Movimento Browniano, sem sequer compreender o significado de partícula? Das respostas equivocadas (18%) foi comum responderem que partículas

“são moléculas”, por exemplo. Ainda para completar comprovação da falta de domínio dessa definição, temos mais da metade (51%) das questões deixadas em branco, ilustrando ainda mais a deficiência de conhecimento nesse aspecto por não saberem nem por onde começarem.

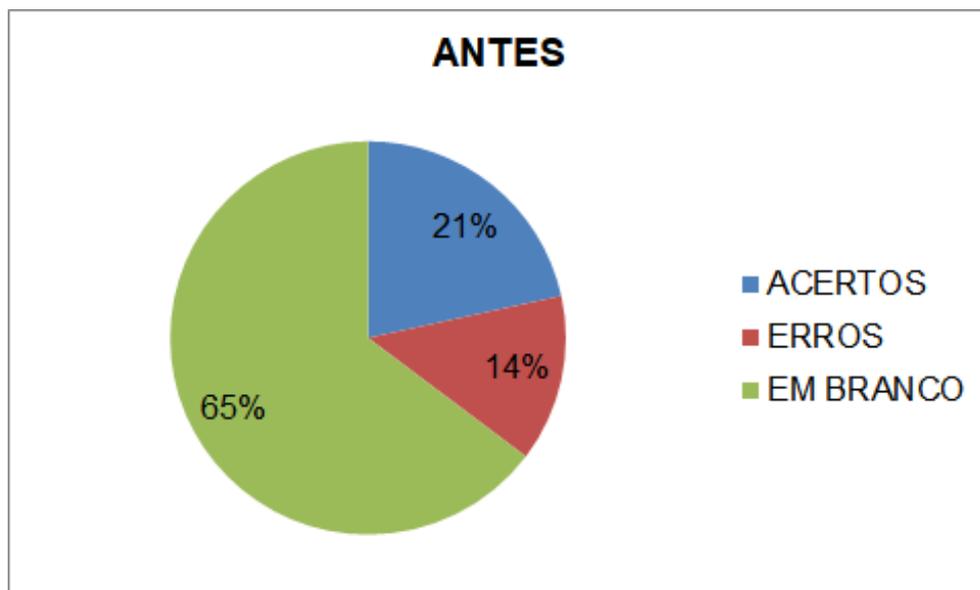


**Gráfico 6. Questão 3: Partícula (teste final)**

Fonte: Própria da autora

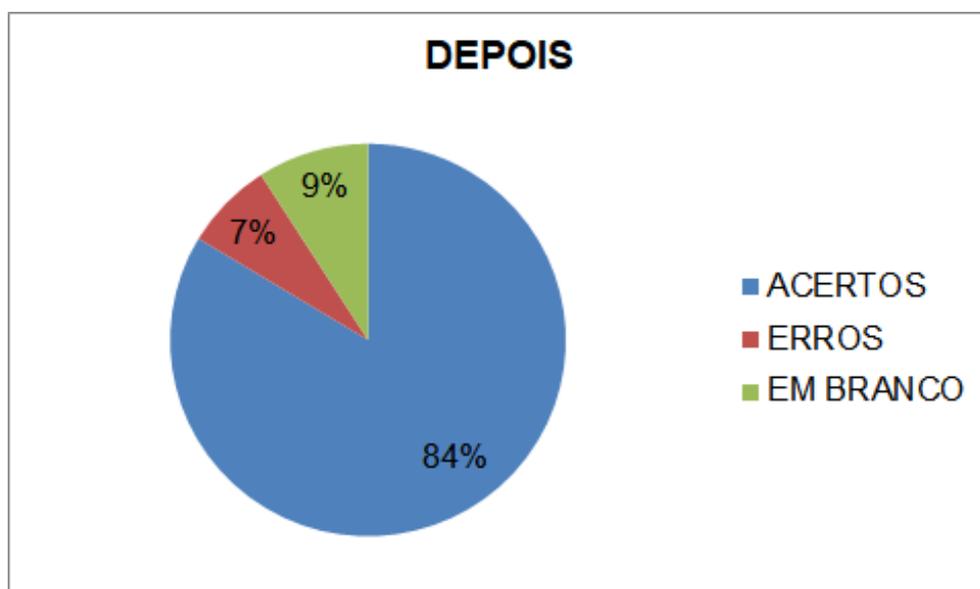
Na oportunidade de responderem novamente sobre o conceito de partículas, os alunos haviam tirado suas dúvidas ao decorrer da aplicação do projeto, e assim, agora conseguiram definir, em grande maioria (82%), corretamente. Foi reduzido drasticamente a parcela que não conseguiram acertar no primeiro momento (de 69% para 18%), sendo agora poucos erros (7%) e alguns alunos com dificuldade em ao menos tentarem, deixando em branco (11%).

## Conceito de molécula



**Gráfico 7. Questão 4: Molécula (pré-teste)**  
Fonte: Própria da autora

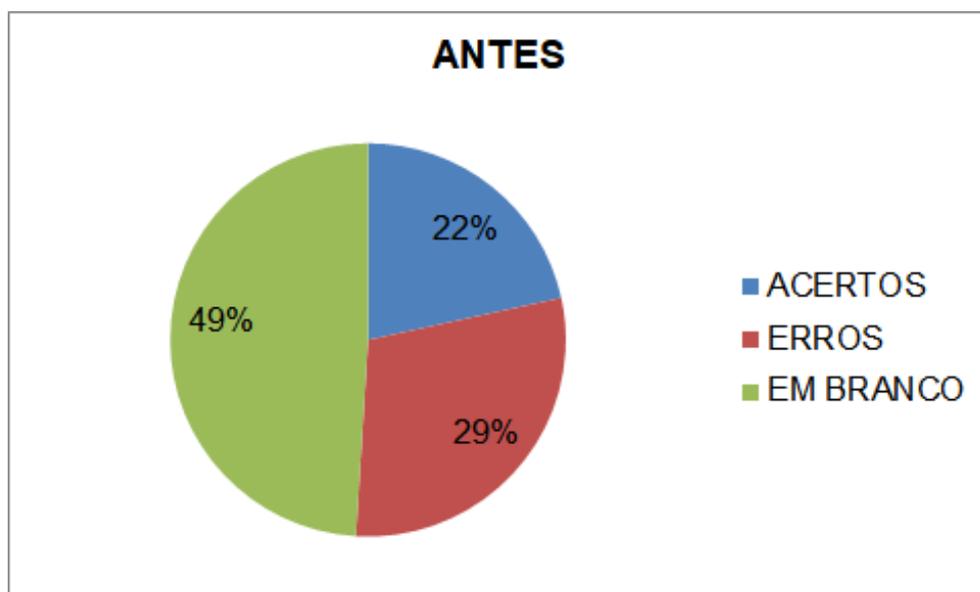
Muito parecido com o item anterior (partículas), sobre moléculas continuamos com poucos acertos (21%), com valor inferior. A maioria (79%) não teve êxito para responder, onde temos alguns erros (14%), e maioria absoluta sem conseguirem ao menos saberem começar a resposta, deixando-a em branco (65%).



**Gráfico 8. Questão 4: Molécula (teste final)**  
Fonte: Própria da autora

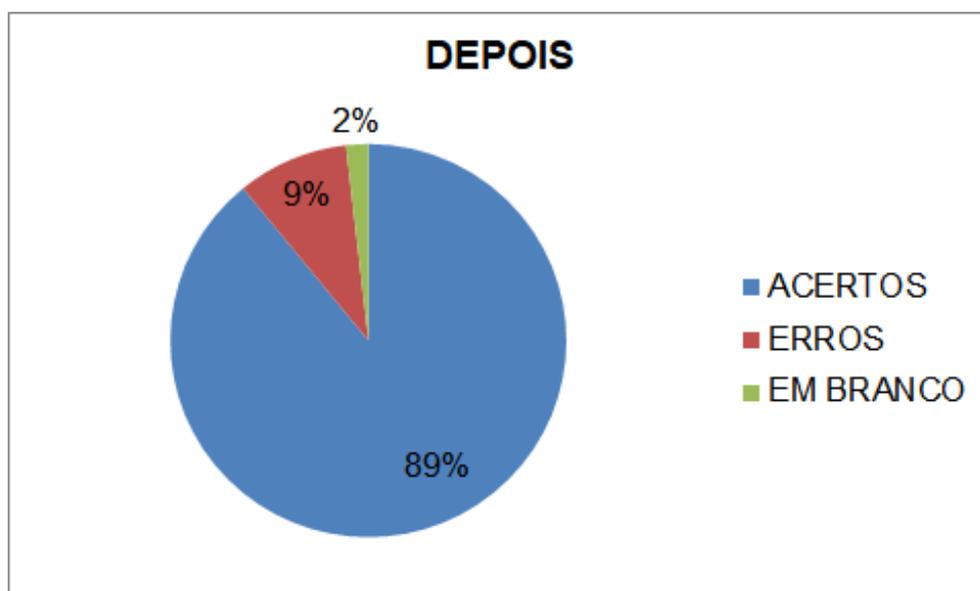
Como mencionado anteriormente, a relação direta entre moléculas e partículas foi grande, e, novamente se mantém. A mudança automática para respostas corretas (de 21% para 84%) aconteceu na mesma proporção em que as respostas deixadas em branco diminuíram (de 65% para 9%), e a contar as erradas que agora foram pequenas (7%).

## Conceito de pressão



**Gráfico 9. Questão 5: Pressão (pré-teste)**  
Fonte: Própria da autora

Novamente para o pré-teste temos baixíssimo percentual de respostas consideradas corretas (22%), significando que grande a maioria (78%) não conseguiu responder de forma satisfatória. Quase metade (49%) deixou em branco, e boa parte (29%) errou ao tentar responder.



**Gráfico 10. Questão 5: Pressão (teste final)**  
Fonte: Própria da autora

Com a reaplicação do questionário, houve aumento significativo na taxa de acertos (89%), resultado da diminuição dos erros (de 29% para 9%) e das respostas deixadas em branco (de 49% para 2%). A noção de pressão melhorou para os alunos, pois eles ampliaram a visão de que apenas força grande exercida reflete numa pressão alta, e passaram a pensar em força de moléculas em pequenas áreas

de um recipiente, ou seja, houve complemento das definições de partículas, moléculas e pressão.

### Conceito de constante de Avogrado

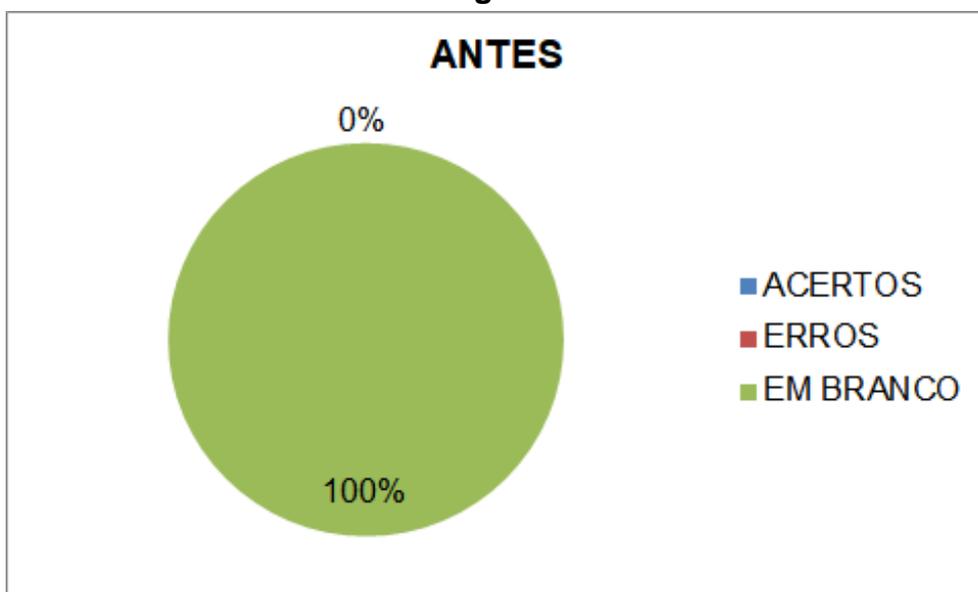


Gráfico 11. Questão 6: Constante de Avogrado (pré-teste)

Fonte: Própria da autora

Referente à constante de Avogrado, tivemos comportamento unânime para respostas deixadas em branco, isso se deu ao fato de que no momento em que o pré-teste foi aplicado, o professor regular da disciplina de Física ainda não havia chegado nesse conteúdo. Os alunos foram coerentes com isso, então responderam “não sei”, ou simplesmente deixaram em branco. Mas esperávamos que o estudante tivesse tido o primeiro contato na disciplina de Química, pois este é um assunto do 1º ano.

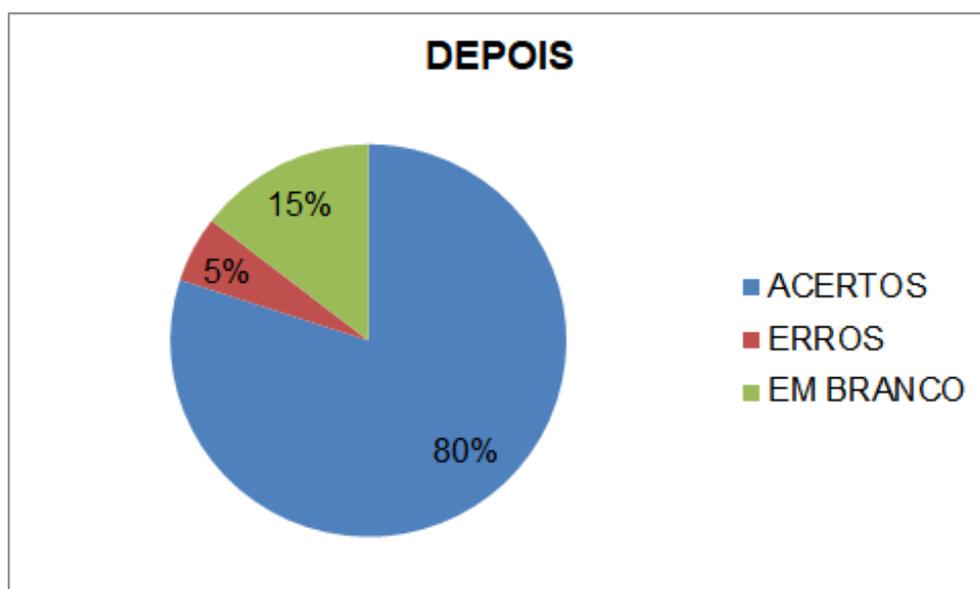
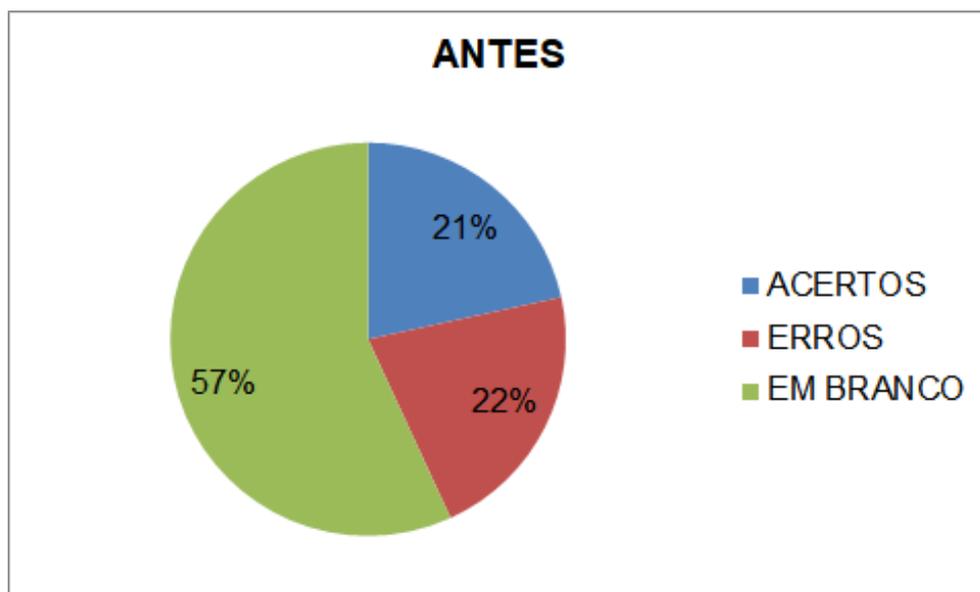


Gráfico 12. Questão 6: Constante de Avogrado (teste final)

Fonte: Própria da autora

Com a implementação do projeto, os alunos tiveram contato com o conteúdo que usa a constante de Avogadro, aí tivemos a transformação nas respostas. Da unanimidade de respostas deixadas em branco, temos agora a grande maioria (80%) de respostas corretas, e o restante (20%) foi dividido em pouca ocorrência de erros (5%) e algumas respostas deixadas em branco (15%).

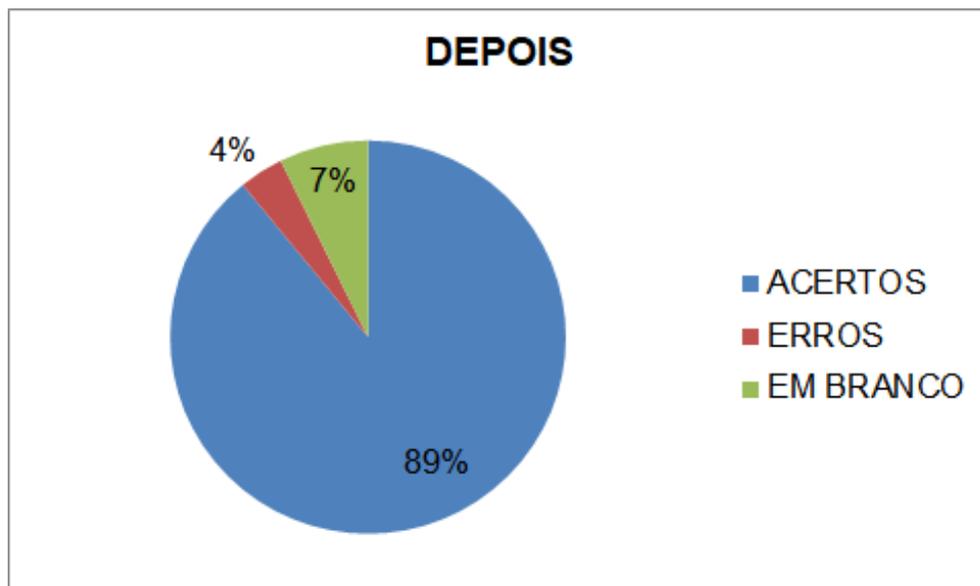
### Conceito de densidade



**Gráfico 13. Questão 7: Densidade (pré-teste)**

Fonte: Própria da autora

Outro tópico que os alunos tiveram dificuldades foi sobre o conceito de densidade. A possibilidade disso é o motivo de ser um conceito que deveria ser abordado no final do conteúdo programático do 1º ano do ensino médio, e em muitos casos não chega a ser abordado antes do final do ano letivo. Dessa forma, apenas uma minoria (21%) lembrou desse conceito, e das respostas que não foram suficientes, tivemos mais da metade (57%) deixadas em branco, e o restante (22%) deixou em branco.

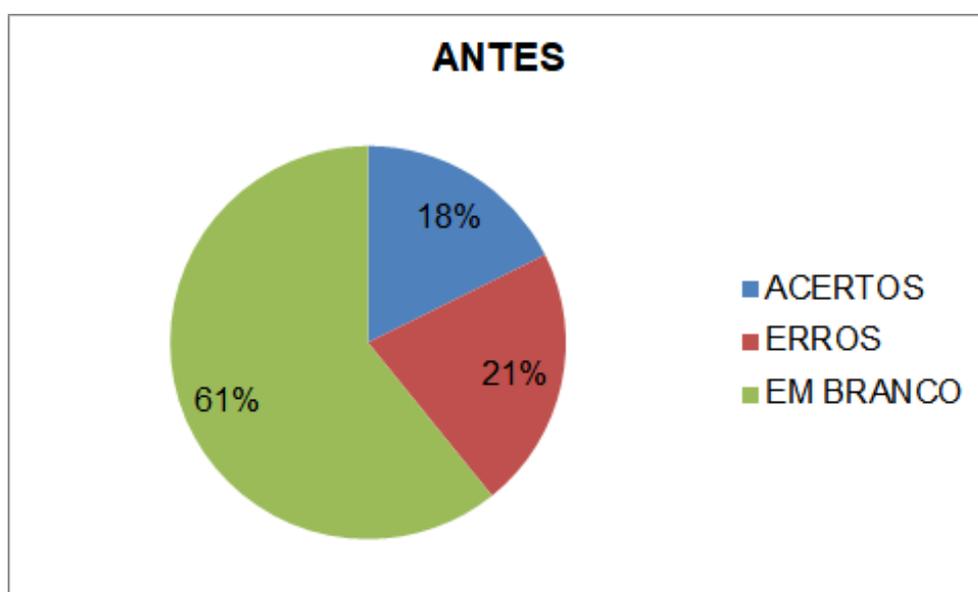


**Gráfico 14. Questão 7: Densidade (teste final)**

Fonte: Própria da autora

Por ser um assunto de 1º ano, houve facilidade em rever, ou ver pela primeira vez, agora no 2º ano do ensino médio. Isso pode justificar a grande alta na parte dos acertos (89%), e pouca proporção para erros (4%) e deixadas em branco (7%). Foi comum os alunos explicarem usando a fórmula da densidade.

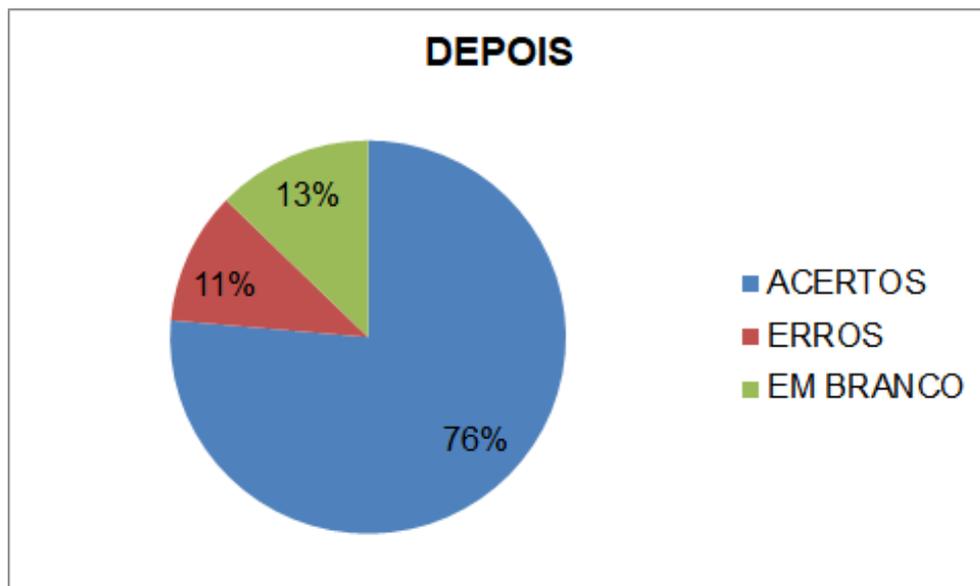
### Conceito de força



**Gráfico 15. Questão 8: Força (pré-teste)**

Fonte: Própria da autora

Quando pensamos em força, lembramos das leis de Newton, um assunto visto também no 1º ano do ensino médio, e é comum haver confusão ao conceituar. Aqui vemos exatamente isso, pois a menor parte dos alunos (18%) acertou, e assim, (82%) não souberam formular a resposta correta, sendo a maioria (61%) deixaram em branco e outra parte (21%) errou ao tentar responder.

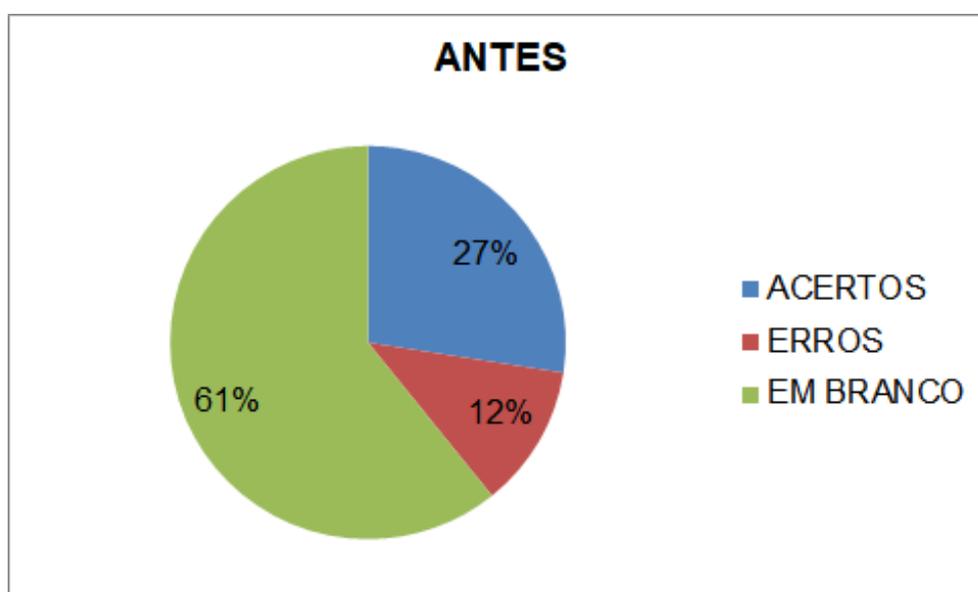


**Gráfico 16. Questão 8: Força (teste final)**

Fonte: Própria da autora

A intervenção fez consolidar o conceito de força, o mesmo que sobre densidade, ambos do 1º ano do ensino médio. Isto é relevante, pois a ela serviu como revisão obtendo aumento de acertos (76%), diminuindo os erros (de 21% pra 11%) e diminuindo as deixadas em branco (de 61% para 13%).

### Conceito de probabilidade

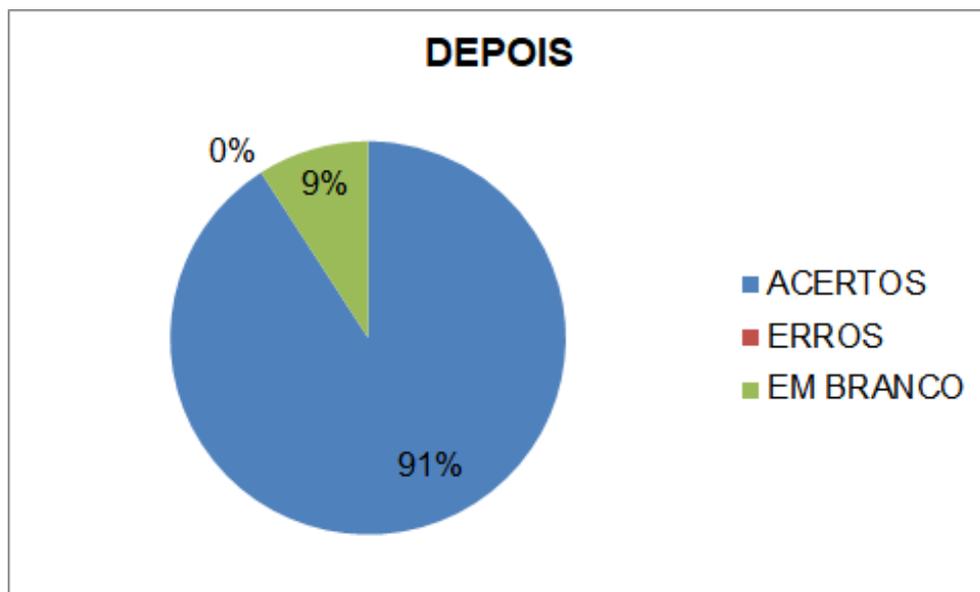


**Gráfico 17. Questão 9: Probabilidade (pré-teste)**

Fonte: Própria da autora

A probabilidade é predominantemente usada na matemática básica, mas como desde o início houve a anunciação de tratarmos um conceito do “nível superior” transposto para o médio, há essa utilização para a física e áreas afins. Aqui, temos no primeiro momento uma parcela mediana que conseguiram responder corretamente (27%), grande maioria (61%) deixou em branco e a menor parte (12%)

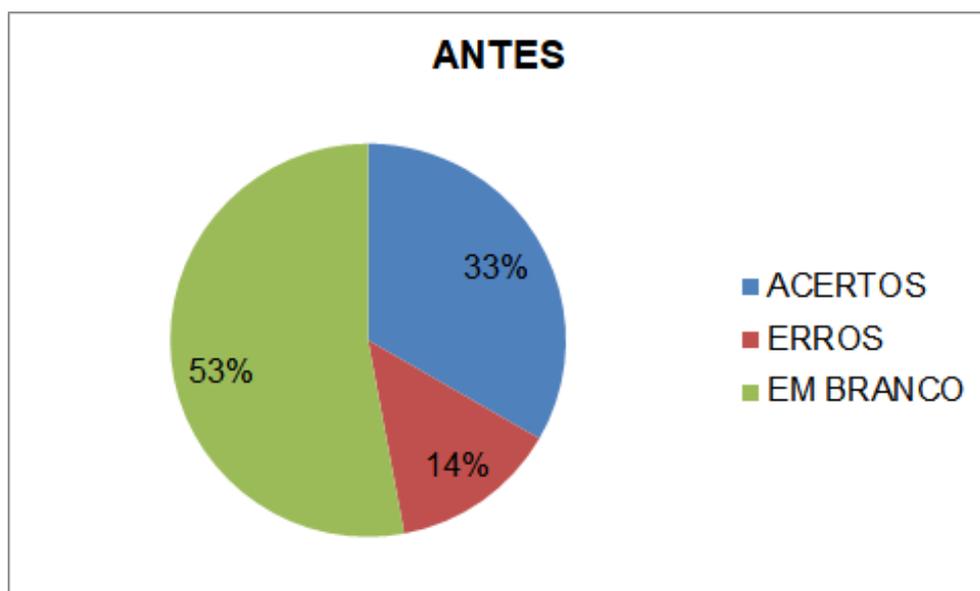
respondeu de forma incorreta.



**Gráfico 18. Questão 9: Probabilidade (teste final)**  
Fonte: Própria da autora

Notamos que após a aplicação do projeto, a eliminação das respostas incorretas decresceu, deixando os resultados divididos em grande maioria para acertos (91%) e minoria deixou em branco (9%). Esse resultado foi importante, pois, se lembrarmos das dinâmicas em sala de aula, foi o conceito abordado no projeto com mais abordagem prática com jogos lúdicos usando dados e cartas de baralho.

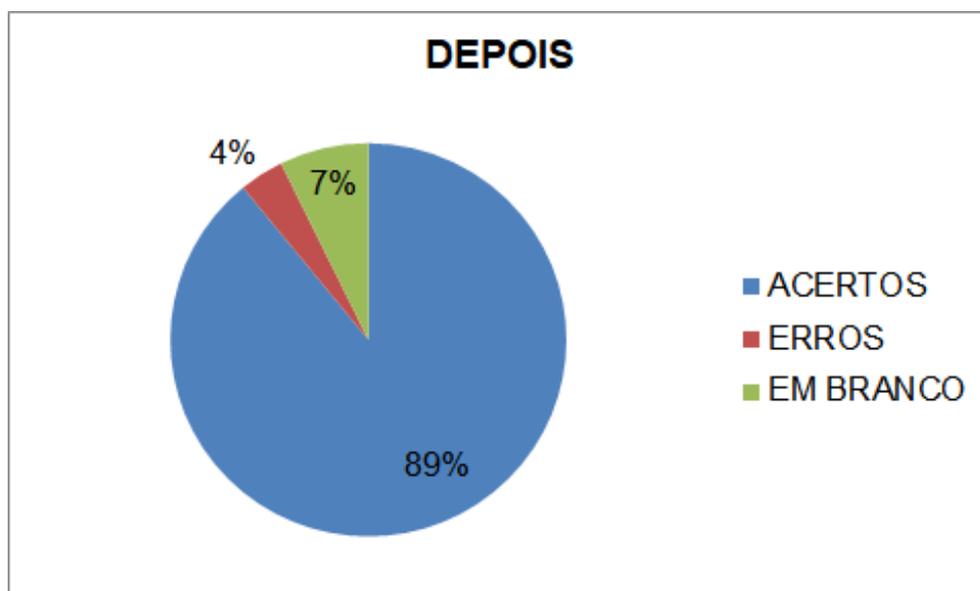
### Conceito de possibilidade



**Gráfico 19. Questão 10: Possibilidade (pré-teste)**  
Fonte: Própria da autora

Ainda referente ao conceito de probabilidade, esse termo gerou confusão no primeiro momento do questionário, com muitas respostas erradas (14%). A grande

maioria deixou em branco (53%), acreditamos que foi pela confusão mencionada, e a outra parte respondeu corretamente (33%).

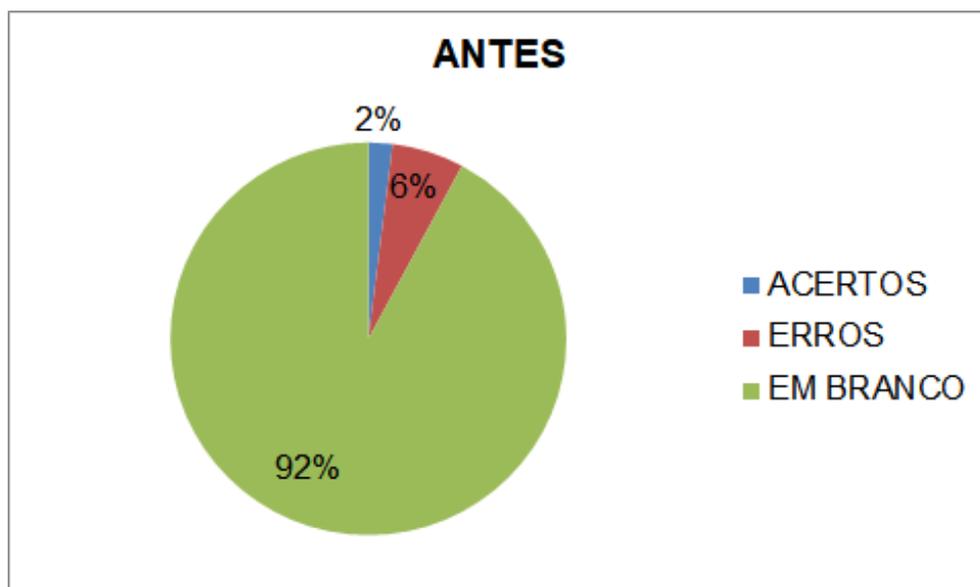


**Gráfico 20. Questão 10: Possibilidade (teste final)**

Fonte: Própria da autora

As aulas sobre esse conceito ajudaram para diferenciar o conceito sobre probabilidade e possibilidade, tendo grande parte de acerto (89%), e minoria que não respondeu corretamente (11%), e parte deixou em branco (7%) ou errou (4%).

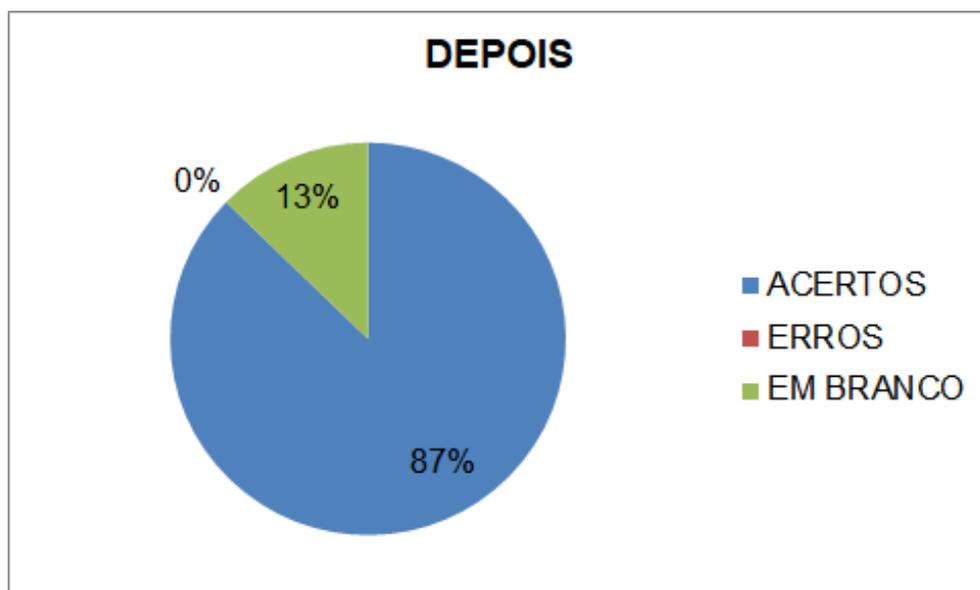
### Conceito de Movimento Browniano



**Gráfico 21. Questão 11: Movimento Browniano (pré-teste)**

Fonte: Própria da autora

Chegamos ao assunto principal da intervenção. Foi normal que as respostas em branco (92%) tenham tomado conta dos resultados, afinal de contas, é um assunto incomum para nível médio. Dessa maneira, a pouca taxa de acerto (2%) provavelmente, foi fruto dos alunos que leram materiais externos à escola. Alguns (6%) tentaram responder sem êxito.

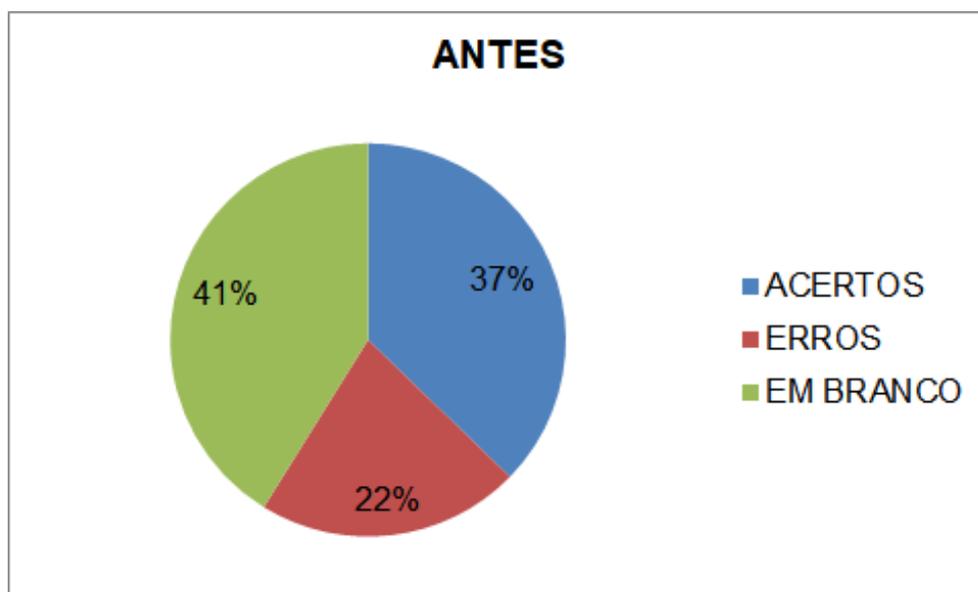


**Gráfico 22. Questão 11: Movimento Browniano (teste final)**

Fonte: Própria da autora

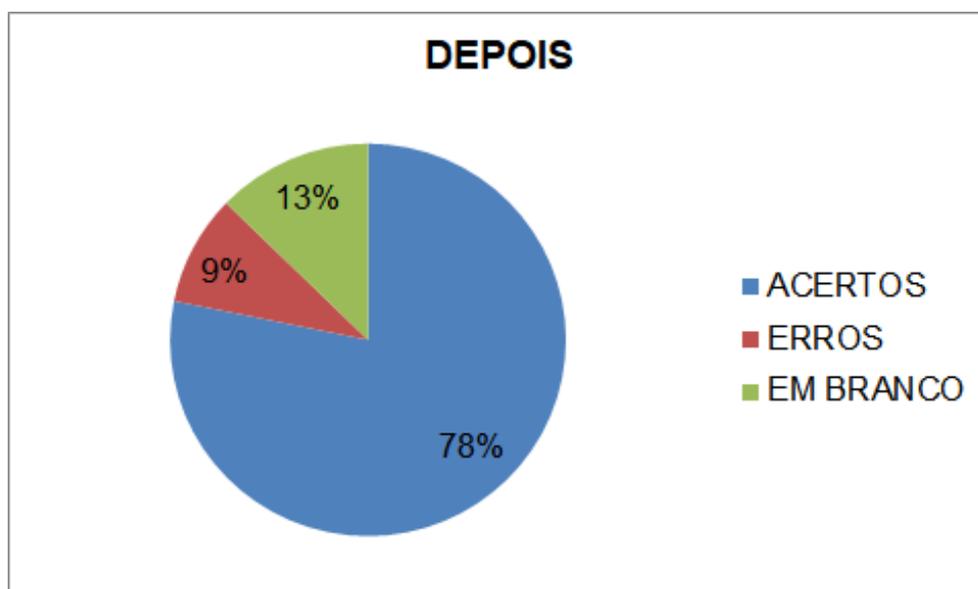
Após todo trabalho com os alunos, dinâmicas, aulas, simulações e ilustrações, o assunto até então desconhecido foi bem recebido e mostrou resultados positivos na assimilação do mesmo. Tendo agora a eliminação dos erros, bom entendimento promovendo acerto de grande maioria (87%) e alguns alunos (13%) que ainda assim não conseguiram construir resposta.

### Discorra sobre a queda de uma folha



**Gráfico 23. Questão 12: Queda da folha (pré-teste)**  
Fonte: Própria da autora

Durante o pré-teste essa pergunta foi a que teve sua resposta mais equilibrada, dividido decrescentemente entre erros (41%), acertos (37%) e em branco (22%). O fator determinante para isso foi, a meu ver, que os alunos confundiram como “iriam cair” com “como iria ficar” fazendo com que o erro principal nas respostas foi “caí vertical e fica deitada”.



**Gráfico 24. Questão 12: Queda da folha (teste final)**  
Fonte: Própria da autora

Foi interessante finalizar com esta pergunta, pois os alunos conseguiram compreender bem a ideia de probabilidade, possibilidades e resultado improvável, requisitos básicos para a compreensão do Movimento Browniano. A folha caindo despertou nos alunos as maiores variedades de respostas, eles conseguiram

implementar conceitos de variáveis, a palavra “depende” apareceu muitas vezes, consideraram o vento, gravidade, massa da folha, etc. Isso fez com que grande parte (78%) dos alunos conseguissem chegar em respostas corretas. Claro que não houve total absorção, ainda dando espaço para erros (9%) e alguns que não conseguiram relacionar o visto nas aulas com o exemplo final (13%).

## CAPÍTULO 6

### Considerações Finais

O desafio de apresentar um assunto comum de nível superior para alunos do ensino médio regular em si já se tornava a grande problemática do projeto. A forma como foi pensada, a forma como foi sofrendo “mutações” ao decorrer do processo pôde dar maior profundidade para os resultados e assim tornar a intervenção metodológica mais relevante a quem a busca.

Conseguir aplicar a sequência didática elaborada, e na própria aplicação, modificar o planejamento já feito é fruto do trabalho eficaz de transposição didática, ou seja, da forma como pudemos transferir uma linguagem mais sofisticada em outra mais acessível ao nosso público.

No momento inicial, após a correção do pré-teste, houve certo susto pelo fato de tantas respostas incorretas e incompatíveis, e isso foi preocupante por se tratar de conceitos básicos, e como poderíamos progredir sem o entendimento deles? Isso nos motivou a trabalhar mais ainda a acessibilidade do conteúdo para obter resultado satisfatório do teste final. Note que os conceitos abordados não só envolviam a disciplina de Física, mas Química, Biologia e Matemática, o que mostra ser este projeto interdisciplinar.

Por mérito na análise inicial e aprimoramento, tivemos êxito em todos os aspectos pesquisados, pudemos ver e ilustrar com os gráficos o sucesso na assimilação de conteúdo, podendo afirmar que houve aprendizagem de fato, e melhor, aprendizagem significativa. Inclusive, após os estudos, durante a mesa redonda os alunos tiveram inúmeras aplicações do conteúdo, elaboraram analogias e se mostraram muito interessados em ler mais sobre o tema, alguns até se comprometeram em utilizar a ferramenta Scratch.

Após estas aulas diferenciadas, com elaboração de debates, experimentos, simulações, especulações e observações, a transformação daqueles alunos em indivíduos ativos na construção de seus próprios conhecimentos mostrou mais uma vez que atividades atrativas podem despertar a curiosidade no conteúdo e, assim, prazer em aprender.

Desta maneira a conclusão das atividades ao longo dos oito encontros, ficamos satisfeitos com os resultados e com os índices alcançados, após intervenção em sala de aula e laboratório. O tema aqui explorado é promissor para ser aprimorado e melhor fazer o processo de interdisciplinaridade, que necessidade de mais colaboração com professores de outras disciplinas no qual tem assunto correlacionado. Não tivemos esta oportunidade direta de interagir com os professores de Matemática, Química e Biologia, mas claramente, o tema aqui explorado tem esta conexão destas disciplinas.

## REFERÊNCIAS

ALURA START. Disponível em: <https://www.alurastart.com.br/> . Acessado em: 10/03/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: informações e documentação - trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro, mar. 2011a.

BROWN, R. EDINB. New Philos. J 5, 358 (1828).

BROWNIAN MOTION. Physics. Disponível em: [http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian\\_motion.html](http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian_motion.html); Acessado em: 10/04/2019.

DE FRANÇA, Rozelma Soares; DO AMARAL, Haroldo José Costa. Proposta metodológica de ensino e avaliação para o desenvolvimento do pensamento computacional com o uso do Scratch. In: Anais do Workshop de Informática na Escola. 2013. p. 179.

Diffusion. Wikipedia. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion#/media/File:Blausen\\_0315\\_Diffusion.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion#/media/File:Blausen_0315_Diffusion.png); Acessado em: 08/04/2019.

DOS SANTOS, R., Transdisciplinaridade, caderno de educação, Lisboa, instituto Piaget, 8,7(1995).

FALENDIA, I.C. A interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa, São Paulo, Papyrus (2003).

FARIAS, F. O. O uso do programa Scratch na abordagem dos conceitos iniciais de cinemática para alunos do 1º ano do ensino médio. 2014. 182p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas/Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2016.

GAS PROPERTIES. Phet Interactive Simulations. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/gas-properties](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gas-properties); Acessado em: 07/04/2019.

GONÇALVES, Leila de Jesus. Uso de animações visando a aprendizagem significativa de física térmica no ensino médio. 2005.

HECKLER, Valmir; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza. Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. 2007.

JAPIASSU, H. Interdisciplinaridade e patologia do saber, Rio de Janeiro, Imago (1976).

LOPEZ, Victor; HERNANDEZ, Maria Isabel. Scratch as a computational modelling tool for teaching physics. Physics Education, v. 50, n. 3, p. 310, 2015.

MACHADO, Kleber Daum. Equações diferenciais aplicadas à Física. Editora UEPG, 2004.

Malan, D. J.; Leitner, H. H. (2007) "Scratch for budding computer scientists".

Proceedings do 38th SIGCSE'07, Kentucky, USA, p. 223–227.

MASSEY, B.S., Mecânica dos Fluidos, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie. Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel. 2 ed. São Paulo: Centauro. 2001.

MOVIMENTO BROWNIANO – 2. Sarah Colares. Disponível em: <https://scratch.mit.edu/projects/315408625/>; Acessado em: 20/04/2019.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. revista PEC, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

POMBO, O. interdisciplinaridade e integração dos saberes, Liime em revista,1,3(2005).

RODRIGUEZ, Carla et al. Pensamento Computacional: transformando ideias em jogos digitais usando o Scratch. In: Anais do Workshop de Informática na Escola. 2015. p. 62.

SALINAS, Silvio R.A. a) Einstein e a Teoria do movimento browniano, Revista Brasileira de Ensino de Física, v.27, nº 2, p.263-269, 2005.

b) Introdução à Física Estatística, Edusp, 2005, 2ª edição.

SILVA, J.M.; Lima, J.A.S., Quatro abordagens para o movimento browniano, Revista Brasileira de Ensino de Física, v.29, nº 1, p. 25-35, 2007.

TAVARES, Romero. Aprendizagem significativa. Revista conceitos, v. 55, n. 10, 2004.

TOMÉ, Tânia; Mario José. Dinâmica Estocástica e Irreversibilidade; Edusp, 2001.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA. Regras básicas para apresentação formal de trabalhos. Londrina: UEL, 2016.

VAINSTEIN, Mendeli Henning. Tese de Doutorado. “Processos Estocásticos Não-Markovianos”, UNB, 2007.

VALENTE, J. A. Computadores e conhecimento: repensando a educação. Campinas: UNICAMP, 1993.

WHAT IS BROWNIAN MOTION? FuseSchool – Global Education. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4m5JnJBq2AU>; Acessado em: 07/04/2019.

## APÊNDICE (A) – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

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



### UMA PROPOSTA BASEADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DO MOVIMENTO BROWNIANO NO ENSINO MÉDIO

SARAH JANE COLARES DA SILVA

MANAUS  
2020

### **APRESENTAÇÃO**

O Produto Educacional disponibilizado aqui tem o intuito de atender um requisito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Constitui-se de uma sequência didática a ser aplicada em uma turma da segunda série do ensino médio e propõe um método de ensino do Movimento Browniano, com o auxílio da ferramenta educacional de programação modulada "Scratch", somada à teoria de aprendizagem significativa de Ausubel e contextualizando com a termodinâmica. É intenção aqui também proporcionar aos estudantes uma maneira diferente de aprender, efetivando, desse modo, a concretização do conhecimento científico.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	04
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	06
2.1 Objetivo geral .....	06
2.2 Objetivos específicos .....	06
<b>3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO</b> .....	07
<b>4 PLANEJAMENTO</b> .....	08
4.1 primeiro encontro .....	09
4.2 SEGUNDO ENCONTRO .....	11
4.3 TERCEIRO ENCONTRO .....	13
4.4 QUARTO ENCONTRO .....	17
4.5 QUINTO ENCONTRO .....	19
4.6 SEXTO ENCONTRO .....	24
4.7 SÉTIMO ENCONTRO .....	28
4.8 OITAVO ENCONTRO .....	30
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi organizado baseado nos conceitos da Aprendizagem significativa apresentada por David Ausubel. Nele, pretende-se explorar os conhecimentos prévios dos alunos, chamados subsunções. E a partir deles alicerçar a aprendizagem de novos conteúdos, assim como definições, de modo a despertar no aluno a aprendizagem por descoberta e não por repetição.

Foram planejados oito encontros onde seria desenvolvido o tema em questão. Cada momento teria a duração de uma a duas horas-aula (45min a 90min). A intenção pedagógica aqui não era a apresentação linear do conteúdo que seria trabalhado, mas sim a apresentação gradual do assunto de forma a ir despertando no discente o gosto pelo tema que seria abordado. Portanto, cada reunião fora elaborada de forma a fazer do aluno o protagonista do seu processo de aquisição e acomodação do conteúdo aprendido. Cada um dos oito encontros tem seus objetivos:

O primeiro tem como missão o despertar para o assunto que seria trabalhado em nossa sequência de trabalho, tendo aplicação do pré-teste.

O segundo é, de todos, aquele em que a física é desnudada mais propriamente. É nesse encontro que é a apresentado ao aluno as noções fundamentais da termodinâmica.

O terceiro momento tem como missão de continuar ensinando as teorias cinéticas dos gases, apresentando seus conceitos envolvidos com auxílio da plataforma Phet o simulador sobre as propriedades dos gases.

Para o quarto haverá necessidade de dois tempos de aulas, na primeira aula foram apresentados determinados conceitos de probabilidade e estatística, já na segunda aula da quarta reunião, houve aula de construção de conhecimento na utilização de dados de 6 faces e baralhos de 51 cartas com suas devidas indagações.

No quinto momento é feita a introdução para abordagem do movimento browniano, sendo as aulas anteriores necessárias para sua compreensão, iniciando com os "processos aleatórios" e em sequência esquematizando matematicamente na lousa sobre o espalhamento do perfume, e suas indagações.

No sexto encontro, é proposto um experimento sobre difusão com corante usando dois copos contendo água. E escritas na lousa perguntas relacionadas ao experimento exposto. Após a finalização das respostas haverá exibição de um vídeo mostrando a história do fenômeno browniano, dando a sequência da aprendizagem com auxílios de gifs e simuladores fortalecendo ainda mais o entendimento sobre o fenômeno.

No sétimo momento é recomendado o uso de laboratório de informática para uso da ferramenta Scratch, já alicerçados com o conhecimento sobre o movimento browniano, puderam manusear essa ferramenta fazendo-os interagir com esse simulador de simples e fácil acesso.

No oitavo e último instante vem a conclusão com a aplicação do mesmo questionário aplicado no início, agora tendo a intenção de avaliar o avanço dos alunos em relação aos conceitos vistos durante toda a intervenção.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral:**

- Desenvolver uma sequência didática para o ensino do movimento browniano, utilizando estratégias alternativas de ensino como o debate e a experimentação, de maneira que ocorra uma aprendizagem significativa por parte dos estudantes.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Elaborar e aplicar uma sequência didática fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel, utilizando estratégias de ensino diversas como experimentação e debates;

- Promover a compreensão de fenômenos e utilizar conceitos importantes tanto no ambiente escolar quanto nos demais, como o doméstico;

- Proporcionar situações-problemas para que os estudantes tenham a possibilidade de discutir suas ideias no momento do estudo dos conteúdos;

- Estimular a participação dos estudantes nas atividades efetivadas por meio das diversas estratégias de ensino.

### **3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO**

Ao total de 8 encontros com a utilização de slides, inicia-se com perguntas referentes ao conteúdo a ser abordado (pré-teste), e finaliza com a realização dessas perguntas no último momento (teste final). Desse modo, haverá a oportunidade de confrontar as respostas e assim concluir a eficácia, ou não, das aulas ao final.

Durante as aulas, serão exploradas as habilidades e competências que podem ser aplicadas às disciplinas além da Física, como: Matemática, Química e Biologia que podem ser relacionadas com esse conteúdo em específico e suas aplicações. Nas aulas, os alunos serão estimulados a pensarem, investigarem, e correlacionarem com suas vivências cotidianas.

As simulações computacionais e experimentos de baixo custo terão papel de demonstrarem como os processos microscópicos que nos rodeiam acontecem e como eles podem ter aplicações nas áreas de conhecimento citadas anteriormente.

Por se tratar de uma atividade interdisciplinar, as atividades desenvolvidas por essa sequência didática deverão ser pontuadas conforme o desempenho global, acarretando a mesma nota nas disciplinas envolvidas. Ou seja, sob os critérios dos professores, os alunos serão avaliados em todas as etapas, desde o pré-teste, perguntas durante as aulas de slide, participação nos experimentos, relatórios após experimentos, participação no laboratório e ao teste final.

#### **4 PLANEJAMENTO**

A Sequência Didática (SD) desenvolvida neste trabalho foi estruturada da seguinte maneira: dois encontros, sendo o primeiro a etapa da aplicação do pré-teste, e o último a do pós-teste; entre esses encontros estão dispostos seis módulos, que tratam de diversos conceitos relacionados ao movimento browniano e à Termodinâmica por meio de diversas estratégias de ensino como debates, experimentações, atividades em grupos dentre outras.

A opção de utilizar a sequência didática de uma forma mais sistematizada, em módulos, é por uma facilidade e flexibilidade de aplicação em sala de aula. Uma vez que, além da qualidade na construção teórico-metodológica, é fundamental que os professores possam ter acesso fácil e que seja de simples aplicação em sala, visto que esse trabalho se destina a professores que desejam diversificar as suas práticas. Por isso ela se mostra uma ferramenta adicional para uma abordagem diferente do ensino de acústica, tanto podendo ser usado em plenitude, para uma utilização mais eficiente, ou fragmentada para uma variação na aula.

#### 4.1 Primeiro encontro: o pré-teste

No primeiro encontro da SD, sugere-se ao professor que faça a apresentação da proposta de ensino que será desenvolvida nas próximas aulas. Essa apresentação deve elucidar aos alunos os objetivos a serem alcançados com esse método de ensino, bem como o tema que será tratado no decorrer dos módulos que compõem a SD. Além disso, deve-se preparar os estudantes para a realização de um pré-teste individual, sendo vetado o acesso a qualquer material para consulta, o teste será composto de dez questões, sendo cinco destas subjetivas e as outras cinco objetivas, no intuito de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema.

A duração de tempo para o desenvolvimento desta aula é de uma hora aula (50min), sendo destinados trinta minutos para a explanação da proposta de ensino e vinte minutos para a aplicação do pré-teste. Abaixo estão descritos os objetivos, os conteúdos, a metodologia e os recursos didáticos necessários para desenvolvimento dessa primeira aula.

**Quadro 1. Síntese do primeiro encontro**

<b>Objetivos</b>
a) Apresentar a proposta de ensino da pesquisa. b) Aplicar um pré-teste para avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos.
<b>Conteúdo</b>
a) Sequência Didática; b) Conceitos básicos de termodinâmica e probabilidade.
<b>Materiais</b>
Questionário pré-teste (figura 1); Quadro branco; Pincel para quadro branco; Datashow; Computador.
<b>Metodologia</b>
O encontro inicia com a aplicação de um questionário com a intenção de avaliar o nível de conhecimento prévio dos alunos sobre temperatura, calor, moléculas, força, probabilidade, etc. A partir dos dados colhidos será possível que o professor saiba exatamente em quais pontos-chaves ele deve tocar bem como insistir, até, quem sabe, instigar os alunos com situações-problemas capazes de estimular o raciocínio lógico para a aplicação de conceitos já existentes na cabeça dos alunos, mas que não tiveram aprofundamento para aperfeiçoarem.

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



INSTITUTO FEDERAL  
AMAZONAS



UFAM



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

### Pré-Teste e Teste Final

#### Questionário

- 1) Defina o que você entende por:
  - a) Temperatura:
  - b) Calor:
  - c) Partícula:
  - d) Molécula:
  - e) Pressão:
  - f) Constante de Avogadro:
  - g) Densidade :
  - h) Força:
  - i) Probabilidade :
  - j) Possibilidade :
- 2) Já ouviu falar sobre o Movimento Browniano? Ou Difusão? Ou algo similar. Se sim relate!
- 3) Imagine uma folha de uma árvore caindo sobre o solo, você conseguiria dizer em que posição ela iria cair ?

**Figura 1. Pré-teste**  
Fonte: Própria da Autora.

#### 4.2 Segundo encontro: Termodinâmica – conceitos iniciais

Para esse módulo, é necessário que se disponha de duas horas aulas (100 min), cruciais para abordar os conteúdos e efetivar as atividades previamente preparadas para esse módulo. Assim, na primeira parte da aula, sugere-se ao professor que apresente aos estudantes, por meio de *slides*, os conceitos de calor, temperatura, agitação térmica, energia térmica, pressão e densidade. No entanto, como o intuito desse trabalho é evitar uma aprendizagem mecânica, buscando desenvolver uma aprendizagem significativa, opta-se por iniciar essa aula propondo problemas aos alunos, a fim de identificar os conhecimentos prévios que esses têm sobre os temas abordados, valorizando o conhecimento que eles já possuem, que deve ser sempre o ponto de partida para um ensino que se pretende duradouro.

Também se recomenda ao professor a utilização de um notebook e um Datashow, para apresentar, em slides, tais problemas. Possibilitando, assim, que se crie um ambiente propício para a discussão dos temas abordados. Essa discussão visa incentivar a participação dos alunos de maneira mais efetiva e social no decorrer das aulas.

Estes são alguns problemas que podem ser propostos aos alunos no decorrer desta aula: Podemos confiar em nosso senso de quente e frio? Se colocarmos o dedo em um recipiente com água morna, e outro em um recipiente com água fria, ambos sentirão a mesma temperatura?

Quadro 2. Síntese do segundo encontro

Objetivos
a) Formalizar os conceitos relacionado a termodinâmica
b) Aplicar teste para avaliação do desenvolvimento do conhecimento
Conteúdo
a) Calor
b) Temperatura
c) Agitação térmica
d) Energia térmica
e) Pressão
f) Densidade
Materiais
Vídeo
Slide em Datashow (figura 2)
Notebook
Caixas de som
Metodologia
Recomendamos ao professor a utilização de um notebook e um Datashow, para apresentar, em slides, tais problemas. Possibilitando, assim, que se crie um ambiente propício para a discussão dos temas abordados. Essa discussão visa incentivar a participação dos alunos de maneira mais efetiva e social no decorrer das

aulas.

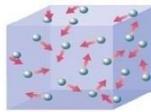
Estes são alguns problemas que podem ser propostos aos alunos no decorrer desta aula: Podemos confiar em nosso senso de quente e frio? Se colocarmos o dedo em um recipiente com água morna, e outro em um recipiente com água fria, ambos sentirão a mesma temperatura?

## ENERGIA TÉRMICA E CALOR

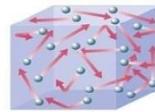
**Agitação térmica:** É o movimento das partículas causado pela temperatura sob a qual elas estão submetidas.

**Calor:** É a mecânismo da transferência da energia térmica

**Energia térmica:** É uma forma de energia associada com as energias cinéticas das partículas.



Menor temperatura



Maior temperatura

Figura: As moléculas do fluido em maior temperatura se agitam mais intensamente.

## NOÇÕES DE TEMPERATURA

**Temperatura:** medida do grau de agitação das moléculas.

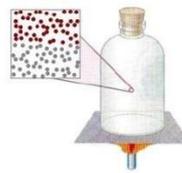
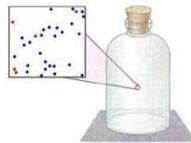


Figura: as moléculas do gás, quando colocado sobre a chama, adquirem mais energia cinética, ou seja, passam a apresentar uma temperatura mais elevada.

Figura 2. Slide sobre conceitos iniciais de Termodinâmica  
Fonte: Própria da Autora.

#### 4.3 Terceiro encontro: Termodinâmica – conceitos específicos

Este módulo tem um tempo de duração previsto para duas horas-aula (100 min). Assim, recomenda-se ao professor que, primeiramente, faça um resgate dos tópicos discutidos na aula anterior, de maneira que seja possível aos alunos observar o desenvolvimento dos conceitos que deverão ser trabalhados nesta etapa da SD, visando relacionar de maneira lógica e explícita este novo conteúdo com o que fora estudado, buscando desenvolver uma aprendizagem significativa.

Quadro 3. Síntese do terceiro encontro

Objetivos
a) Identificar o conhecimento dos alunos sobre os conteúdos trabalhados anteriormente.
b) Estabelecer relação entre os conteúdos novos e os já assimilados.
c) Realizar leitura oral de um texto.
d) Aplicar teste de conhecimento.
Conteúdo
a) átomos
b) gás e gás ideal
c) equação de estado
d) lei de Avogadro
e) equação de Clapeyron
Materiais
Slides em Datashow (figuras 3 e 5)
Notebook
Textos
Simulação sobre propriedades dos gases (figura 4)
Metodologia
Para o desenvolvimento dessa aula é fundamental que o professor estabeleça um diálogo com os alunos, cuja introdução pode se dar através de perguntas como esta: Vocês já ouviram falar de alguém chamado Einstein? O que vocês sabem sobre ele ou sobre a história de vida dele? Já ouviram falar sobre átomos? Sabem qual a relação entre o átomo e Einstein? Vocês já ouviram falar de outras pessoas como Lavoisier, Dalton, Gay-Lussac, Avogadro, Boltzmann, Robert Brown? Perguntas assim serão formas incentivar a participação dos alunos com a temática da aula, criando um ambiente de diálogo no qual se possa identificar, por meio das participações dos estudantes, as ideias já assimiladas por eles. Em seguida, recomenda-se ao professor que convide os alunos a mudarem o layout da sala de aula, dispondo as cadeiras na forma de um círculo, para que se realize a leitura oral de um texto previamente preparado pelo docente, considerado potencialmente significativo por se tratar de um texto de fácil compreensão, mas repleto de informações históricas sobre a evolução dos conceitos tratados nesse módulo. Busca-se nessa primeira parte da aula conduzir um processo de ensino/aprendizagem por meio da recepção, uma vez que lhes é oferecido um material através do qual recebem uma informação já pronta e por meio de suas

próprias ações efetivas sobre esse material ampliam seus conhecimentos. Esse processo é necessário para que se possa preparar um ambiente propício à curiosidade, elemento essencial da Ciência, visando a utilização desse recurso como âncora para a acomodação de novos conceitos, a saber: gás, gás ideal, equação de estado, lei de Avogadro e equação de Clapeyron

Para o segundo momento da aula, que será expositiva, sugere-se ao professor que utilize como recurso a apresentação de slides com os conceitos supracitados.

Outro recurso didático a ser usado para esse momento é a simulação disponibilizada no site PHET, cujo nome é "gas properties". Esse simulador faz o bombeamento de moléculas em uma caixa, que possibilitará o acontecimento de quando se o volume, onde simplesmente venha adicionar ou remover o calor, ou até mesmo a possibilidade de mudar a gravidade, dentre esses botões alternativos muitos outros que ajudam na investigação. Nesse simulador é possível medir temperatura e a pressão, ajudando a descobrir as propriedades do gás quando variam entre si. Essas informações serão reforçadas na explanação da aula sobre a "equação de estado dos gases ideais".

### HIPÓTESES

- 1ª Hipótese: As moléculas se encontram em movimento desordenado, regido pelos princípios fundamentais da Mecânica Newtoniana.
- 2ª Hipótese: As moléculas não exercem força umas sobre as outras, exceto quando colidem.
- 3ª Hipótese: As colisões das moléculas entre si e contra as paredes do recipiente que as contém são perfeitamente elásticas e de duração desprezível.
- 4ª Hipótese: As moléculas têm dimensões desprezíveis em comparação aos espaços vazios entre elas.

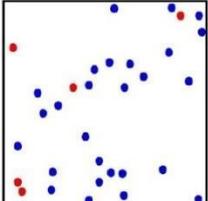


Figura: Movimento desordenado das moléculas de um gás ideal.

### OS GASES REAIS PODEM SE COMPORTAR COMO UM GÁS IDEAL, ATENDENDO A DUAS CONDIÇÕES:

- Baixa pressão**
  - Pressupõe-se um número menor de moléculas por unidade de volume, pois poucas moléculas acarretam poucas colisões nas paredes do recipiente e, conseqüentemente, menor pressão.
- Alta temperatura**
  - Moléculas com elevada velocidade média.

Figura 3. Slide sobre conceitos específicos de Termodinâmica  
Fonte: Própria da Autora.

**Explorar tela**  
 Descubra o que acontece quando um gás é comprimido ou expandido, e identifique quando o trabalho de P-V é feito sobre ou por um gás.

**ABRIR** a

**COMPRESSOS** ou **Amplie** o volume para explorar o

**PAUSE** e **STEP forward** quadro a

Unidades

**ADD** ou **REMOVER** partículas 50 de cada vez ou

**Tela de Energia**  
 Examine a velocidade e a distribuição de energia cinética e compare gases pesados e leves.

**OBSERVAR** a velocidade média de cada espécie

**EXAMINAR** velocidade e distribuição de energia em

**VER** as distribuições de

**EXPLORAR** sistemas com ou sem colisões de partículas

Partículas de **PUMP** em temperaturas

Figura 4. Gás properties  
 Fonte: Phet.

## EQUAÇÃO DE ESTADO DOS GASES IDEAIS

- Lei de Avogadro: volumes iguais de todos os gases nas mesmas condições de temperatura e pressão contém o mesmo número de moléculas.
- Equação de Clapeyron:

$$PV = nRT$$

Número de mols

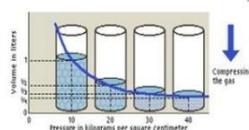
Constante dos gases

8,31 J/mol.K

## LEIS GERAIS DOS GASES

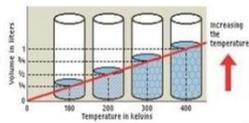
### Boyle's Law

If a gas is held at a constant temperature, the volume is inversely proportional to the pressure. Compressing a gas to half of its initial volume doubles its pressure.



### Charles' Law

If a gas is held at a constant pressure, the volume is directly proportional to the absolute temperature. Heating a gas to double its original temperature doubles its volume.



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

### I. Isotérmica

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

### II. Isobárica

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

### III. Isocórica

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Figura 5. Equação ideal dos Gases  
Fonte: Própria da Autora.

#### 4.4 Quarto encontro – Probabilidade: experimentos com dados e baralho

O terceiro módulo deve ser dividido em duas etapas de uma hora-aula cada (45 min). Na primeira etapa, pode-se iniciar a aula apresentando um dado de seis faces congruentes aos estudantes e um jogo de baralho. Antes de propor aos alunos perguntas, no intuito de identificar os conhecimentos que os estudantes têm sobre a temática deste módulo, recomenda-se ao docente que primeiramente chame a atenção dos alunos para as especificidades dos objetos apresentados nesta aula, de maneira que eles possam se predispor a aprender os novos conceitos selecionados para essa aula, a saber: evento: certo e impossível, espaço amostral, espaços equiprováveis e cálculos de probabilidade.

Quadro 4. Síntese do quarto encontro

Objetivos
a) Formalizar o conceito de probabilidade. b) Discutir a importância da probabilidade para o estudo do movimento browniano. c) Realizar experimentos. d) Debater os resultados encontrados pelas equipes acerca dos problemas propostos no roteiro de investigação.
Conteúdo
a) Evento: certo e impossível. b) Espaço amostral. c) Espaços equiprováveis d) Cálculos de probabilidade.
Materiais
Datashow Notebook Experimento de aleatoriedade com dados (figura 6) Experimento de aleatoriedade com cartas de baralho (figura 7)
Metodologia
Antes de propor aos alunos perguntas, no intuito de identificar os conhecimentos que os estudantes têm sobre a temática deste módulo, recomenda-se ao docente que primeiramente chame a atenção dos alunos para as especificidades dos objetos apresentados nesta aula, de maneira que eles possam se predispor a aprender os novos conceitos selecionados para essa aula, a saber: evento: certo e impossível, espaço amostral, espaços equiprováveis e cálculos de probabilidade. Similarmente às aulas anteriores, sugere-se que o docente faça perguntas abertas, que impulsionem os estudantes a buscarem soluções lógicas. Abaixo, apresenta-se um roteiro investigativo semiestruturado, que serve como recurso para desenvolver os experimentos aleatórios com dados e cartas de baralho.

#### Roteiro investigativo – Experimento aleatório (Dados)

Você está recebendo um dado com seis faces congruentes, para desenvolver um experimento aleatório.

1. Ao jogar esse dado sobre a mesa, qual número irá aparecer?
2. Quais as chances de aparecer um número par?

No próprio experimento continuou-se a jogar mais algumas vezes para cima, e deu o número 1, depois o 3, e depois o 4, só teríamos que jogar infinitamente várias vezes, para apenas perceber pra mostrar que vai dar 1/6, 1/6, 1/6, então não foi necessário jogar o dado tantas vezes assim para notar como funcionava o raciocínio, a ideia de probabilidade mostra que todas as faces são equiprováveis (mesma probabilidade ou seja 1/6) então o dado não viciado, se o espaço amostral como o "tamanho" é 6, então a probabilidade é 1/6.

Foi feito duas perguntas hipotéticas aos alunos, dos quais foram, se pegarmos um dado de 12 faces, qual seria o seu espaço amostral? Qual a probabilidade de dá uma das faces?

Logo após a sequência do experimento com as 52 cartas, vamos aumentar agora o espaço amostral, voltando agora para o experimento do dado porém iremos utilizar 2 dados de 6 faces jogando-os para cima ao mesmo tempo tivemos combinações como: 1,1 1,2, 4,6 e assim foi as combinações, pois nesse exemplo as combinações são independentes, sendo assim foi feita a pergunta qual é o seu espaço amostral? Então temos: 1/36, pois a probabilidade de cada um é elevada ao quadrado ( $1/6^2$ ).

Figura 6. Experimento de aleatoriedade com dados

Fonte: Própria da Autora.

#### Roteiro investigativo – Experimento aleatório (Baralho)

Você está recebendo um baralho com 52 cartas, sendo essas divididas em quatro naipes: espadas, ouro, paus e copas. Assim sendo, cada naipe é representado por treze cartas.

Diante dessas informações acima, indique a probabilidade de serem escolhidas ao acaso e seguidamente três cartas de um mesmo naipe sem reposição.

Indique a probabilidade de serem retiradas ao acaso e seguidamente quatro cartas, considerando uma de cada naipe e sem reposição, ou seja, uma carta de ouro, uma de copas, uma de paus e uma de espadas.

O segundo experimento foi usar um baralho de 52 cartões foram embaralhadas por um aluno voluntário que escolheu uma carta seguindo a mesma ideia para saber se depois de embaralhada viria a mesma carta selecionada anteriormente. Pegando-as embaralhem mais uma vez no próprio baralho, foi feita qual a probabilidade de retornar o mesmo jogo das 6 cartas? Ao calcular, supomos que quando se seleccione uma carta a probabilidade de dar A de espada é 1/52, escolhendo mais uma carta para encontrá-la sobrando então 1/51, e depois mais uma vez sobrando 1/50, e assim sucessivamente... 1/49, 1/48, e 1/47, com o uso da calculadora obtivemos no produto desses denominadores de  $52 \times 51 \times 50 \times 49 \times 48 \times 47 = 1,46581344 \times 10^{10}$ , ou seja a probabilidade é o inverso disso, sendo então a ordem de  $10^{-10}$ .

Figura 7. Experimento de aleatoriedade com cartas de baralho

Fonte: Própria da Autora.

#### 4.5 Quinto encontro – Processos aleatórios

Com os fundamentos adquiridos através das aulas anteriores, iniciamos a introdução para o devido conteúdo, Movimento Browniano, uma vez alicerçadas as ideias de probabilidade. Sendo possível agora a compreensão do comportamento do movimento probabilístico das moléculas em sua descrição e entendimento do comportamento.

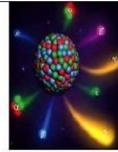
Quadro 5. Síntese do quinto encontro

Objetivos
a) Ter a noção de como são os processos de probabilidades em várias áreas do cotidiano, dando o conceito o que é o espaço amostral e casos probabilísticos, o conceito de probabilidade, caso determinístico e não determinístico, e, teorias de jogos de azar.
Conteúdo
a) Aplicação de probabilidade e aleatoriedade.
Materiais
Slide em Datashow Notebook Perfume Cronômetro Quadro branco Pincel
Metodologia
Após as atividades lúdicas realizadas no encontro anterior, vamos agora efetivar esse conhecimento com a aula sobre noções de probabilidade (figura 8). Com essa aula, os alunos terão noção de eventos e possibilidades. Em seguida, propomos a ideia de "caminhada aleatória" (figura 9), mostrando como podemos modelar situações aleatórias, e a partir disso, exemplificar a aleatoriedade com a atividade "espalhamento do perfume" (figura 10). Após a atividade usando o perfume, faz-se os alunos pensarem e investigarem, despertando o senso científico deles com uma situação-problema envolvendo duas perguntas.

## NOÇÕES DE PROBABILIDADE

Os conceitos de probabilidade são indispensáveis em várias áreas:

- Negócios de seguros;
- Jogos de azar;
- Em biologia são de profunda importância na área de Genética;
- Em Física para o estudo da desintegração radioativa e etc.



## EVENTO CERTO, EVENTO IMPOSSÍVEL

- **Evento certo:** Ocorre quando um evento coincide com o espaço amostral.
- **Evento impossível:** Ocorre quando um evento é vazio.

## PROBABILIDADE DE OCORRER UM EVENTO

$$P(A) = \frac{\text{número de elementos de } A}{\text{número de elementos de } \Omega} \Rightarrow P(A) = \frac{n(A)}{n(\Omega)}$$

Figura 8. Aula sobre noções de probabilidade  
Fonte: Própria da Autora.

### Modelagem do Random Walk 1D

- Consideremos um indivíduo (um bêbado) podendo se deslocar sobre uma linha reta (problema em uma dimensão), sendo  $x=0$  seu marco inicial.
- O problema do random walk consiste em encontrar a probabilidade  $P_N(m)$  de que o bêbado se encontre na posição  $x = m$ , após ter dado  $N_1$  passos para direita e  $N_2$  passos para esquerda, sendo  $m = N_1 - N_2$  ( $-N \leq m \leq N$ ) e  $N = N_1 + N_2$ .

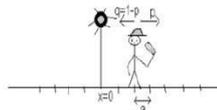


Figura - Esquema do bêbado na caminhada aleatória (random walk)

Generalização do random walk

Podemos escrever esta equação

$$P_N(N_1) = \frac{N!}{N_1! \cdot N_2!} \cdot p^{N_1} \cdot q^{N_2}$$

Em termos de termos da variável aleatória  $m = N_1 - N_2$ , posição do bêbado  $x = m$  após ter dado  $N$  passos aleatoriamente. Substituindo  $N_1 = (N + m)/2$  e  $N_2 = (N - m)/2$  teremos :

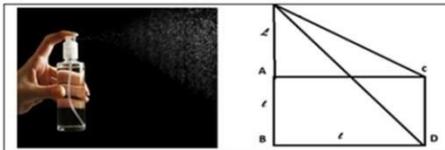
Onde essa equação lado, Satisfaz a relação de recorrência

$$P_N(m) = \frac{N!}{\left(\frac{N+m}{2}\right)! \left(\frac{N-m}{2}\right)!} p^{\frac{N+m}{2}} \cdot q^{\frac{N-m}{2}}$$

$$|P_{N+1}(m) = pP_N(m-1) + qP_N(m+1).$$

Figura 9. Caminhada aleatória  
Fonte: Própria da Autora.

Os alunos foram indagados sobre abrir um frasco de perfume em sala de aula, sendo exposto no quadro a questão hipotética de observarmos a ordem em que cada aluno irá sentir a fragrância do perfume, então fomos para o quadro. Os alunos que estão posicionados em sequência de 1 a 4 assumiram suas respectivas respostas como aluno 1=A, aluno 2=C, aluno 3=B e aluno 4=D, se  $L > 1$  sendo  $L = 2$  e  $l = 1$ . Ainda indagando sobre as moléculas do perfume em termos de mais aprofundamento e curiosidades em relação a tempo, possibilidade e probabilidade.



Podemos matematizar essas informações com:

$$A = 2$$

$$c = \sqrt{L^2 + l^2}$$

$$B = L + 1$$

$$D = \sqrt{(L + 1)^2 + l^2}$$

Figura 10. Atividade sobre o espalhamento de perfume  
Fonte: Própria da Autora.

### Situação-problema

- 1) O que é mais possível de acontecer entre ao esborrifar a fragrância do perfume e morremos asfixiados pelas próprias moléculas ou ganharmos na Mega-sena?

**(Explicação):** Mostrando-se determinados eventos com características probabilistas, que estão a nossa volta, e não nos damos algumas vezes conta. Para responder essa pergunta, vamos calcular a probabilidade para ganhar na Mega-sena. Podemos calcular com uma com uma combinação simples de sessenta elementos formados seis a seis,  $C_{60,6}$ , sendo assim os possíveis números de combinações são calculados abaixo com cálculo simples de probabilidade

$$C_{n,p} = \frac{N!}{p!(n-p)!}$$

$$C_{60,6} = \frac{60!}{6!(60-6)!}$$

$$C_{60,6} \approx 50 \text{ milhões}$$

Logo, existem 50 milhões de modos de se escolher os seis números de 1 a 60, então a chance é de 1 em 50 milhões correspondendo a ordem de  $10^{-8}$  sendo 0,0000002% .

Obs.: O jogo do baralho e as moléculas do perfume podem ser tratados de maneira similar, sabendo que as ordens são diferentes, porém a ideia é a mesma em questão de quanto tempo poderão voltar para suas condições iniciais referentes ao tempo de recorrência de Poincaré.

Comparação baralho & perfume X Mega-sena para melhor entendimento, entre ganhar na Mega-sena e conseguir no próprio jogo de baralho as mesmas cartas selecionadas inicialmente, o jogo do baralho é 100 vezes mais difícil de acontecer comparado ao ganhar na Mega-sena, agora sobre as moléculas do perfume voltarem para as narinas é possível, entretanto segundo a termodinâmica é impossível, pois é um processo irreversível. Porém, segundo a probabilidade, é possível, ou seja, não provável, justamente porque a probabilidade é muito pequena. Isso se chama tempo de recorrência de Poincaré, onde todo o sistema dinâmico ela sempre volta para o seu estado inicial ou próxima dessa região, mas qual seria o tempo para as moléculas voltarem para as narinas? Então seguindo comparação com o jogo do baralho vejamos o cálculo abaixo:

$$t_p = N\Delta T = 10^{10} \times 6s \cong 10^{11}s$$

$$1h = 3600 \cong 10^3$$

$$1 dia = 24h = 10^4s$$

$$1ano = 365 dias \cong 10^6s$$

$$10^5 \text{ anos sendo então } 100000 \text{ anos}$$

Então precisaria de 100000 anos para as 6 cartas selecionadas voltarem para suas condições iniciais, então é mais "fácil" ganhar na Mega-sena do que morremos asfixiados.

Ainda não convencidos? A ordem de tempo recorrência das moléculas de perfume é de  $10^{-10^{23}}$ , já dá megasena é de  $10^{-8}$  então é mais fácil alguém ganhar 20 vezes consecutivos na Mega-sena, do que as moléculas do perfume voltarem para nossas narinas e, assim, morremos por asfixia por elas.

#### 4.6 Sexto encontro – Movimento Browniano

Primeiramente há a abordagem com experimento: em dois recipientes, sem dar detalhes aos alunos sobre a explicação. É jogado um pingo de corante em cada copo e observa-se o que irá acontecer com as misturas, use um cronômetro durante os eventos. No segundo momento, há a utilização de representações gráficas através de mídias em laboratório de informática.

Quadro 6. Síntese do sexto encontro

Objetivos
a) Representar através de experimento simples a difusão da água; b) Ilustrar com simulação o movimento das partículas durante uma difusão. c) Identificar o conhecimento dos alunos acerca do conteúdo trabalhado nas aulas anteriores em situações do dia a dia. d) Discutir os resultados encontrados pelas equipes acerca dos problemas propostos no roteiro de investigação.
Conteúdo
a) Difusão da água b) Movimento Browniano
Materiais
Datashow Notebook Recipientes de vidro Corante Água Micro-ondas Garrafa térmica
Metodologia
O experimento de difusão de corante em água (figura 11) consiste em dois copos de vidro com água no qual o 1º copo está com água aquecida e o 2º copo com água fria. Em resumo o corante vermelho se espalha rapidamente por todo o líquido que está quente, mas faz isso de forma um pouco mais lenta no líquido frio. O movimento das partículas em um líquido é um caminho irregular e imprevisível, pois as moléculas da água estão em constante movimento e colisão, continuamente, e foi isto que Brown observou, em seu caso, ao misturar água e pólen. Enquanto ocorre o experimento, os alunos devem responder algumas perguntas (figura 12) sobre o experimento. Após a experiência e as respostas, é momento de debate em "mesa redonda" para a efetivação do conhecimento. Para finalizar, inicia-se um vídeo sobre a História do Movimento Browniano (figura 13). O vídeo é em inglês, mas pode ser traduzido de forma oral simultaneamente com a reprodução. E completa-se com Gifs (figura 14) animados e simulação (figura 15) para melhor entendimento do fenômeno. Como uma partícula de poeira no ar, sendo ela impulsionada por colisões com moléculas de ar. Nessa simulação permite mostrar ou ocultar as moléculas e rastreia o caminho da partícula dando essas linhas indicando sua trajetória.

Nesse simulador mostra a existência de alguma dependência da temperatura podemos controlar a temperatura com o controle deslizante.



Figura 11. Difusão de corante em copos d'água  
Fonte: Experimento sobre difusão, por Luiz Gustavo<sup>1</sup>.

#### Questionário investigativo proposto

- 1) Em suas palavras o que você observa nos dois frascos de vidro?
- 2) O que entende por fluido?
- 3) Por que na água quente o corante se difunde mais rápido?
- 4) Por que na água fria o corante se difunde lentamente?
- 5) Você teria alguma ideia de experimento que poderia representar este mesmo fenômeno visto?

Figura 12. Questionário para o experimento de difusão  
Fonte: Própria da Autora.

<sup>1</sup> "Experimento sobre difusão". Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=Yf51A\\_QF2sQ](https://www.youtube.com/watch?v=Yf51A_QF2sQ)

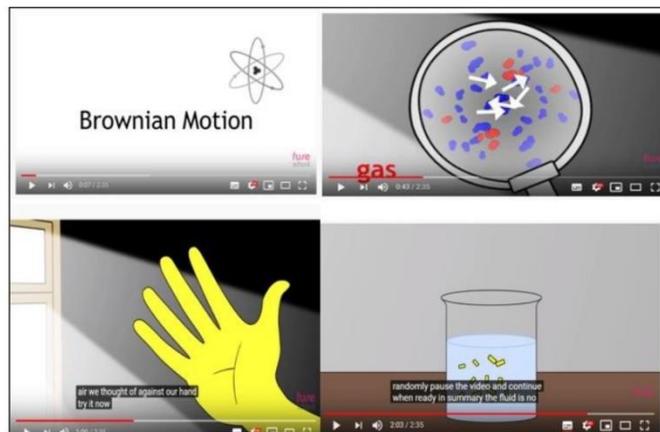


Figura 13. Prints do vídeo sobre a história do Movimento Browniano  
 Fonte: FuseSchool - Global Education



Figura 14. Gifs sobre difusão  
 Fonte: Diffusion

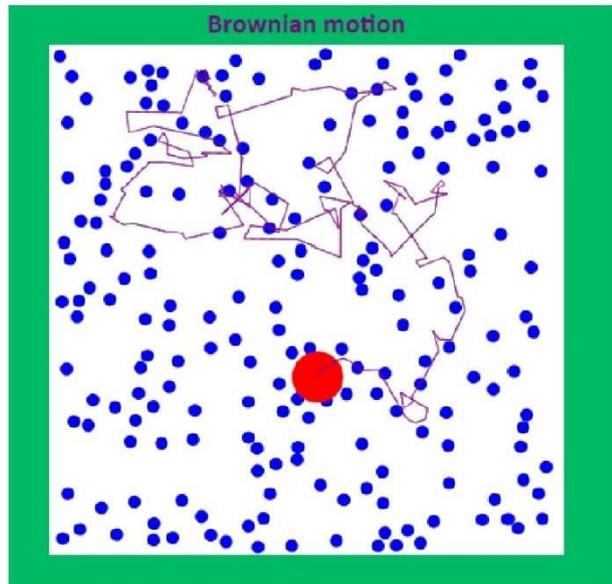


Figura 15. Simulação sobre Movimento Browniano  
Fonte: Physics

#### 4.7 Sétimo encontro – Movimento Browniano no Scratch

Tendo os conceitos firmados sobre o fenômeno do movimento browniano, vamos para mais aula em laboratório com o Scratch. Já tendo simulação pronta (link nas referências), será ensinado como manusear, nele há um problema físico do Movimento Browniano.

Quadro 7. Síntese do sétimo encontro

Objetivos
a) Explorar o Movimento Browniano de forma interativa e lúdica através do Scratch.
Conteúdo
a) Movimento Browniano.
Materiais
Datashow
Notebook
Computadores
Simulação no site do Scratch
Metodologia
Nessa simulação (figura 16) temos 55 moléculas de água, onde a contagem só inicia a partir de 4 segundos mostradas em porcentagem para facilitar a ideia de quantas moléculas através dos impactos aleatórios de H <sub>2</sub> O que passam por cada espaço dividido nos 4 quadrantes.
Apertando o botão verde para começar a reprodução, veremos quatro quadrantes, onde no interior do quarto quadrante sairão 55 a porcentagem de moléculas por espaço, quando rodamos nosso simulador, podemos ver que a distribuição parece ser organizada, mesmo sendo aleatória. Para verificarmos melhor essa distribuição, vamos ao invés de exibir quantos movimentos acontecem em cada espaço, vamos exibir a porcentagem de moléculas no interior colocamos 55 moléculas, que representam 100% da quantidade de moléculas, dividindo as 55 moléculas por 100, encontramos o valor da porcentagem de uma molécula e é isso que está sendo representado nesse simulador, tendo então uma contagem em porcentagem de quantas estarão em cada quadrante, fazendo suas possíveis anotações dando stop, fazendo isso, os alunos terão que fazer comparações entre si, para ver se houve semelhanças. É observado como o movimento aleatório está distribuindo a movimentação das nossas moléculas.

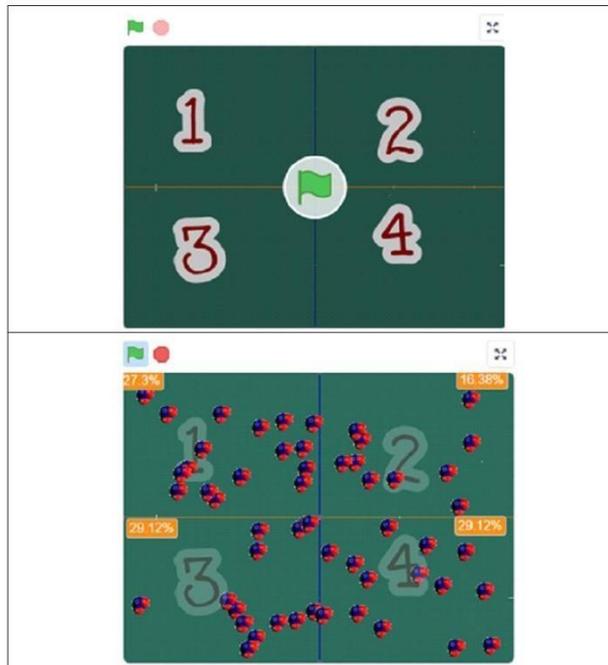


Figura 16. Movimento Browniano no Scratch  
Fonte: Própria da Autora.

#### 4.8 Oitavo encontro: o teste final

Com o passar das aulas, chegaremos ao final da sequência didática, agora é preciso investigar a eficácia da intervenção estipulada.

**Quadro 8. Síntese do oitavo encontro**

<b>Objetivos</b>
a) Aplicar o teste final para comprovar eficácia dos conhecimentos.
<b>Conteúdo</b>
a) Conceitos básicos de termologia, probabilidade e Movimento Browniano.
<b>Materiais</b>
Questionário teste-final (figura 17)
Quadro branco
Pincel para quadro branco
Datashow
Computador
<b>Metodologia</b>
Acontece a conclusão com a aplicação do mesmo questionário do início, agora com a intenção de avaliar o avanço dos alunos em relação aos conceitos de temperatura, calor, moléculas, força, probabilidade, e Movimento Browniano.



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

**INSTITUTO FEDERAL  
DE FÍSICA**

**UFAM**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
AMAPÁ

**SBF**  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

**Pré-Teste e Teste Final**  
**Questionário**

1) Defina o que você entende por:

- a) Temperatura:
- b) Calor:
- c) Partícula:
- d) Molécula:
- e) Pressão:
- f) Constante de Avogadro:
- g) Densidade:
- h) Força:
- i) Probabilidade:
- j) Possibilidade:

2) Já ouviu falar sobre o Movimento Browniano? Ou Difusão? Ou algo similar. Se sim relate!

3) Imagine uma folha de uma árvore caindo sobre o solo, você conseguiria dizer em que posição ela iria cair?

**Figura 17. Teste-final**  
Fonte: Própria da Autora.

Ao professor que deseja se aprofundar no estudo do Scratch, e assim desenvolver suas próprias simulações condizentes com suas respectivas realidades, pode obter informações com os responsáveis pelo do curso Alura Start (através do link nas referências), onde é possível ter apoio através de suas ferramentas com adaptações para melhor compreensão.

## 5 REFERÊNCIAS

- ALURA START. Disponível em: <https://www.alurastart.com.br/> . Acessado em: 10/03/2019.
- BROWNIAN MOTION. Physics. Disponível em: [http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian\\_motion.html](http://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/brownian_motion.html); Acessado em: 10/04/2019.
- Diffusion. Wikipedia. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion#/media/File:Blausen\\_0315\\_Diffusion.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion#/media/File:Blausen_0315_Diffusion.png); Acessado em: 8/04/2019.
- GAS PROPERTIES. Phet Interactive Simulations. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/gas-properties](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gas-properties); Acessado em: 07/04/2019.
- MOVIMENTO BROWNIANO – 2. Sarah Colares. Disponível em: <https://scratch.mit.edu/projects/315408625>; Acessado em: 20/04/2019.
- WHAT IS BROWNIAN MOTION? FuseSchool – Global Education. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4m5JnJBq2AU>; Acessado em: 07/04/2019.