



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPOS BLUMENAU  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)

Vanderlei Fernandes

COOLER EVAPORATIVO: CONCEITOS DE TERMODINÂMICA ASSOCIADOS A  
TRANSIÇÕES DE FASE

Blumenau  
2022

Vanderlei Fernandes

COOLER EVAPORATIVO: CONCEITOS DE TERMODINÂMICA ASSOCIADOS A  
TRANSIÇÕES DE FASE

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (nome dado na instituição) 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(es): Prof. Dr. Fernando Fuzinatto Dall'Agnol

Blumenau  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fernandes, Vanderlei  
COOLER EVAPORATIVO: CONCEITOS DE TERMODINÂMICA  
ASSOCIADOS A TRANSIÇÕES DE FASE / Vanderlei Fernandes ;  
orientador, Fernando Fuzinatto Dall'Agnol, 2022.  
67 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós  
Graduação em Ensino de Física, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Mudança de Fase. 3. Vaporização.  
4. Calor. 5. Energia Interna.. I. Dall'Agnol, Fernando  
Fuzinatto . II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Vanderlei Fernandes

COOLER EVAPORATIVO: CONCEITOS DE TERMODINÂMICA ASSOCIADOS A  
TRANSIÇÕES DE FASE

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado, em 13/12/2022 por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Fernando Fuzinatto Dall’Agnol, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Dallagnol Alloy, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Felipe Vieira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado  
adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física pelo Programa Nacional de  
Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Fernando Fuzinatto Dall’Agnol, Dr.  
Orientador

Blumenau, 2022

Dedico esta dissertação a minha querida esposa que sempre me apoia nos meus trabalhos acadêmicos, a minha mãe, aos demais familiares e a todos que colaboraram de vários modos.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a minha querida esposa que sempre me apoia nos meus trabalhos acadêmicos, a minha mãe e aos demais familiares que colaboraram de vários modos. Agradeço também o orientador Fernando Fuzinato Dall’Agnol que foi quem deu a ideia deste projeto do Cooler Evaporativo; também os professores e coordenadores do MNPEF que me ajudaram muito para conseguir concluir este curso de mestrado na UFSC. Quero agradecer também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que apoia e possibilita que seja realizado o curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – UFSC Blumenau, SC. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

Esta dissertação de mestrado apresenta a utilização de um Cooler Evaporativo (CE) como produto didático, para facilitar no entendimento da transformação de energia em um processo de vaporização e consequente resfriamento no sistema considerado que é o produto educacional. O CE força um processo de evaporação e consequente resfriamento como uma demonstração prática do processo em que calor é absorvido do ambiente para evaporação da água, diminuindo assim a temperatura do ar na saída do dispositivo. Apresenta-se aqui, não apenas conhecimento teórico sobre calor e energia interna, mas também explicações sobre transição de fase, pressão parcial de vapores, saturação da umidade e temperatura, umidade relativa, e como ocorre a vaporização da água. O produto didático explora as energias de ligação intermoleculares que precisam absorver calor a fim de promover uma transição de fase na água. O que esfria o sistema. Este equipamento, o CE, demonstra que o sistema pode receber calor e nesse caso causar a modificação da temperatura na saída do dispositivo. Propomos com este produto didático uma melhor aprendizagem, que ajuda ainda mais os alunos compreender os vários fenômenos da Física relacionados com o conhecimento teórico sobre Calorimetria, Termodinâmica e as Forças Intermoleculares que atuam no processo da transformação de energia para a vaporização. O CE foi utilizado como produto didático na sala de aula, com 7 turmas do 2º ano do EM durante três aulas com cada turma.

Palavras-chave: ensino de física; mudança de fase; vaporização; calor; energia interna.

## **ABSTRACT**

This master's dissertation presents the use of an Evaporative Cooler (EC) as a didactic product, to facilitate the understanding of energy transformation in a vaporization process and consequent cooling in the system considered. The CE will force a process of evaporation and consequent cooling as a practical demonstration of the process in which heat is absorbed from the environment to evaporate the water, thus decreasing the temperature of the air at the exit of the device. Here is presented, not only theoretical knowledge about heat and internal energy, but also explanations about phase transition, partial pressure of vapors, saturation of humidity and temperature, relative humidity, and how vaporization of water occurs. The educational product explores the intermolecular binding energies that need to absorb heat in order to promote a phase transition in water. What cools the system. This equipment, the CE, demonstrates that the system can receive heat and, in this case, cause the temperature at the device outlet to change. We propose with this didactic product a more meaningful learning, which helps students understand the various phenomena of Physics related to theoretical knowledge about Calorimetry, Thermodynamics and Intermolecular Forces that act in the process of transforming energy into vaporization. The CE was used as a didactic product in the classroom, with 7 classes of the 2<sup>o</sup> year of fundamental school, along three lessons with each class.

Keywords: teaching physics; phase change; vaporization; heat; internal energy.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 - Ilustração mostrando as 5 diferentes fases do gelo.....                                                            | 4  |
| Figura 2.2 - Ligação de hidrogênio na molécula de água.....                                                                     | 13 |
| Figura 2.3 - Ilustração mostrando a força dipolo induzido-dipolo induzido na molécula de água.....                              | 14 |
| Figura 2.4 - Ilustração mostrando a molécula de água polar.....                                                                 | 15 |
| Figura 2.5 - Ilustração mostrando a força dipolo permanente ou dipolo-dipolo.....                                               | 15 |
| Figura 2.6 - Ilustração mostrando a força intermolecular da ligação de hidrogênio na molécula de água.....                      | 16 |
| Figura 2.7 - Ilustração mostrando o arranjo e disposição das moléculas da água no estado líquido.....                           | 16 |
| Figura 3.8 - Parte frontal, por onde sai ar mais fresco sem a tampa e com a tampa e termômetro.....                             | 20 |
| Figura 3.9 - Parte de trás do CE, por onde entra o ar quente e seco.....                                                        | 20 |
| Figura 3.10 - Parte de cima do CE, por onde desce a água que vaporizará.....                                                    | 21 |
| Figura 3.11 - Parte frontal do CE demonstrando o encaixe da peça com as colmeias e o suporte para a garrafa.....                | 21 |
| Figura 3.12 - Caixa das colmeias de pano que é encaixada no CE.....                                                             | 22 |
| Figura 3.13 - Diagrama esquemático demonstrando as colmeias por dentro, com as principais estruturas.....                       | 22 |
| Figura 3.14 - Diagrama esquemático demonstrando o recipiente acima.....                                                         | 23 |
| Figura 3.15 - O CE montado.....                                                                                                 | 24 |
| Figura 3.16 - Peças do CE.....                                                                                                  | 25 |
| Figura 4.17 - Colocando a garrafa com água no CE.....                                                                           | 27 |
| Figura 4.18 - Colocando a água com a medida na garrafa.....                                                                     | 28 |
| Figura 4.19 - Colocando calor na entrada do CE com o secador.....                                                               | 29 |
| Figura 4.20 - Pesquisa com os alunos do 2º ano do EM com os dados gerais sobre o que sabiam sobre a vaporização.....            | 32 |
| Figura 4.21 - Pesquisa com os alunos do 2º ano do EM com os dados gerais sobre o que descobriram de novo com o experimento..... | 33 |
| Figura A.22 - Folha dos exercícios de cálculos sobre o calor transformado no CE.....                                            | 50 |
| Figura A.23 - Folha da pesquisa com os alunos sobre a aula com o CE.....                                                        | 52 |
| Figura A.24 - O produto educacional, parte frontal.....                                                                         | 54 |
| Figura A.25 - O produto educacional de lado.....                                                                                | 54 |
| Figura A.26 - Foto do CE montado.....                                                                                           | 55 |
| Figura A.27 - Foto da parte de trás do CE, por onde entra o ar quente e seco.....                                               | 55 |
| Figura A.28 - Foto da parte de cima do CE, por onde entra a água que vaporizará.....                                            | 56 |
| Figura A.29 - Foto da parte frontal do CE, por onde sai ar mais fresco.....                                                     | 56 |
| Figura A.30 - Foto da parte frontal, por onde sai ar mais fresco com a tampa e termômetro. .                                    | 56 |
| Figura A.31 - Foto das colmeias de pano que é encaixada no CE.....                                                              | 57 |
| Figura A.32 - Foto das peças do CE.....                                                                                         | 57 |
| Figura A.33 - Tabelas de Calor Latente de Vaporização de algumas substâncias (Cal/g).....                                       | 58 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Turma do 2º ano do EM.....     | 31 |
| Tabela 2 - Turma do 2º ano do EM.....     | 31 |
| Tabela 3 - Turma do 2º ano 01 do EM.....  | 39 |
| Tabela 4 - Turma do 2º ano 01 do EM.....  | 39 |
| Tabela 5 - Turma do 2º ano 04 do EM.....  | 40 |
| Tabela 6 - Turma do 2º ano 04 do EM.....  | 40 |
| Tabela 7 - Turma do 2º ano 03 do EM.....  | 41 |
| Tabela 8 - Turma do 2º ano 03 do EM.....  | 42 |
| Tabela 9 - Turma do 2º ano 05 do EM.....  | 42 |
| Tabela 10 - Turma do 2º ano 05 do EM..... | 43 |
| Tabela 11 - Turma do 2º ano 06 do EM..... | 43 |
| Tabela 12 - Turma do 2º ano 06 do EM..... | 44 |
| Tabela 13 - Turma do 2º ano 08 do EM..... | 44 |
| Tabela 14 - Turma do 2º ano 08 do EM..... | 45 |
| Tabela 15 - Turma do 2º ano 07 do EM..... | 45 |
| Tabela 16 - Turma do 2º ano 07 do EM..... | 46 |

# SUMÁRIO

|          |                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução.....</b>                                                 | <b>1</b>  |
| 1.1      | O Ensino sobre Mudança de fases e o Cooler Evaporativo.....            | 3         |
| <b>2</b> | <b>Desenvolvimento Teórico.....</b>                                    | <b>7</b>  |
| 2.1      | Calor e energia interna.....                                           | 7         |
| 2.2      | Calorimetria.....                                                      | 8         |
| 2.2.1    | Transição de fase.....                                                 | 9         |
| 2.2.2    | Pressão parcial de vapores.....                                        | 10        |
| 2.2.3    | Saturação da umidade e temperatura.....                                | 11        |
| 2.2.4    | Umidade Relativa.....                                                  | 12        |
| 2.3      | As três forças intermoleculares.....                                   | 12        |
| 2.3.1    | Força dipolo induzido-dipolo induzido.....                             | 13        |
| 2.3.2    | Força dipolo permanente ou dipolo-dipolo.....                          | 14        |
| 2.3.3    | Força da ligação de hidrogênio ou pontes de hidrogênio.....            | 15        |
| <b>3</b> | <b>O Cooler Evaporativo.....</b>                                       | <b>19</b> |
| 3.1      | Montagem do Cooler Evaporativo.....                                    | 19        |
| 3.1.1    | Diagrama esquemático do Cooler Evaporativo.....                        | 22        |
| 3.1.2    | Funcionamento do Cooler Evaporativo.....                               | 23        |
| 3.2      | Cooler Evaporativo montado e com as peças.....                         | 23        |
| <b>4</b> | <b>Aplicação e análise do produto educacional.....</b>                 | <b>26</b> |
| 4.1      | Metodologia da aplicação.....                                          | 26        |
| 4.2      | Aula com aplicação do produto educacional, o Cooler Evaporativo.....   | 27        |
| 4.2.1    | Aula com turmas sobre a vaporização no sobre o Cooler Evaporativo..... | 30        |
| 4.2.2    | Dados obtidos com o experimento em aula.....                           | 30        |
| 4.3      | Análise dos resultados da aplicação do produto educacional.....        | 32        |
| 4.4      | Pesquisa com os alunos sobre a aula com o Cooler Evaporativo.....      | 32        |
| <b>5</b> | <b>Conclusão.....</b>                                                  | <b>34</b> |
|          | <b>Referências Bibliográficas.....</b>                                 | <b>35</b> |
|          | <b>Bibliografia recomendada.....</b>                                   | <b>38</b> |

## APÊNDICES

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Apêndice A</b> - Aulas com as turmas sobre o Cooler Evaporativo.....                              | 39 |
| <b>Apêndice B</b> - Comentários dos alunos sobre a aula com o Cooler Evaporativo.....                | 47 |
| <b>Apêndice C</b> - Folha dos exercícios de cálculo do calor transformado no Cooler Evaporativo..... | 50 |
| <b>Apêndice D</b> - Folha da pesquisa com os alunos sobre a aula com o Cooler Evaporativo.....       | 52 |
| <b>Apêndice E</b> - Produto didático.....                                                            | 54 |
| <b>Apêndice F</b> – Fotos do Cooler Evaporativo.....                                                 | 55 |
| <b>Anexo A</b> - Calor latente de vaporização de algumas substâncias (cal/g) .....                   | 58 |

## 1. Introdução

Os assuntos da Calorimetria e Termodinâmica são temas abordados com os alunos do 2º ano do Ensino Médio (EM). No estudo da Termodinâmica procura-se compreender as relações entre energia, e o trabalho realizado em um sistema qualquer que esteja sendo considerado, bem como as mudanças de fase que ocorrem devido a entrada ou saída de calor no sistema. Os alunos aprendem que, a nível do mar e com a pressão de 1 atmosfera, a água entra em ebulição a 100 °C, mas não enfatizam que mesmo que a água não esteja em ebulição, ela, mesmo assim, evapora. No entanto Silveira (2016, p. 27) levanta a seguinte pergunta: “Então por que a água da superfície de um lago vaporiza se está à temperatura ambiente?” Ele diz ainda que (2016, p. 27),

...a vaporização da água (e de outras substâncias) é tratada de maneira inadequada em livros texto de física, sejam de Ensino Médio, sejam de ensino superior, quando reduzem a passagem do estado líquido para o estado gasoso exclusivamente ao particular processo de ebulição (SILVEIRA, 2010, p. 27).

Esta dissertação de mestrado com a utilização do Cooler Evaporativo (CE) tem como objetivo enfatizar o entendimento de que a água evapora em qualquer temperatura, e tal como na ebulição, a evaporação requer energia do meio. O CE ajuda nesse entendimento porque ele força um processo de evaporação e consequente resfriamento como uma demonstração prática do processo que pode ser medido e observado pelos alunos. Nele, calor é absorvido do ambiente para evaporação da água, diminuindo a temperatura do ar na saída do dispositivo. Se a umidade relativa do ar estiver baixa e a temperatura ambiente em torno de 20°C à 30°C, a expectativa é reduzir a temperatura do ar em aproximadamente 4°C na saída onde está o suporte para o termômetro do CE. Pode-se intensificar o processo forçando-se a entrada de calor no CE com um secador de cabelo. Direciona-se a ventilação mais quente para a entrada do CE com o termômetro colocado na entrada até que a temperatura fique estabilizada mais quente (aproximadamente em torno de 40°C). Pode-se assim conseguir uma variação mais acentuada na temperatura de saída no CE. Depois, o termômetro é colocado na saída para medir quanta energia interna foi absorvida no processo de vaporização.

O CE, está sendo utilizado neste trabalho como uma ferramenta didática para definir a vaporização. Pretende-se, com o CE, levar os alunos a um aprendizado prático de acordo com as teorias de ensino construtivista. Essa teoria didática tem por características motivar a

pesquisa, aprendizado com práticas, interação e discussões intergrupos. A física é uma ciência de caráter experimental, por isso, é importante incluir atividades experimentais no seu ensino. Como diz Pomer (2013, p. 15),

Na situação didática proposta por Brousseau (1996<sup>a</sup>, apud POMER, 2013, p. 15), o aluno se defronta com situações intencionalmente elaboradas pelo professor, situadas em um ambiente propício de jogos e problemas, contexto este que deve propiciar o estímulo necessário e convidar os alunos a tomar a iniciativa para a busca de conhecimento (POMER, 2013, p. 15).

O CE traz o conhecimento científico prático para a sala de aula porque utiliza-se o CE portátil como produto didático que facilita no entendimento da transformação de energia em um processo de vaporização e conseqüente resfriamento no sistema considerado. Por fim, apoiamos as ideias de Moreria (2011, p.25) quando afirma que,

Atualmente as palavras de ordem são aprendizagem significativa, mudança conceitual, ensino centrado no aluno e construtivismo(...)Um bom ensino deve ser construtivista, estar centrado no estudante, promover a mudança conceitual e facilitar a aprendizagem significativa. Aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula (MOREIRA, 2011, p.25).

Consegue-se assim instigar a curiosidade dos alunos e aproximá-los do aprendizado prático com a captação do significado do que está acontecendo para que a temperatura diminua. Isso melhora a qualidade do ensino porque torna o assunto interessante para eles. Brousseau (2013, p. 15) coloca como ideia básica, “Aproximar o trabalho do aluno num viés similar ao modo como é produzida a atividade científica verdadeira, valorizando-se a proposição de situações-problema desafiadoras” (BROUSSEAU, 1996a, apud POMER, 2013, p. 15). Baseando-se nestas concepções será utilizado o dispositivo como demonstração para comprovar que o Calor utilizado para a vaporização vem da Energia Interna, resultando na diminuição da temperatura do Sistema considerado. Ele absorve o calor do ambiente, diminuindo assim a temperatura, quando a água ao passar do estado líquido para o gasoso retira calor do sistema. O processo envolve a mudança de fase da água do estado líquido para gasoso.

Com este trabalho pretende-se instigar a curiosidade dos alunos do 2º ano do EM para este fenômeno da termodinâmica. Queremos conseguir experimentação com observação prática, pois como diz Carvalho (2014, p.48): “A experimentação através da observação de fenômenos em um curso de ciências, pode ainda ser um instrumento de criação de conflitos” (Carvalho, 2014, apud CARVALHO 1992). define o conflito cognitivo como uma estratégia:

...segundo o qual o aluno aprende se suas ideias espontâneas sobre determinado fenômeno são colocadas em conflito com os observáveis, ou seja, se suas previsões ou antecipações elaboradas dentro de um esquema conceitual espontâneo são contrariados por resultados experimentais (CARVALHO, 2014, apud CARVALHO 1992).

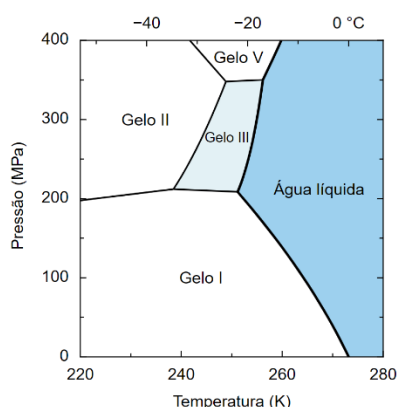
Esses conflitos só podem ser gerados, através da observação e da ação, que são pressupostos básicos para uma atividade de demonstração investigativa. Os alunos podem observar o funcionamento do CE, ver o seu funcionamento interno e ter a comprovação da teoria. Se desejarem eles podem montar seus próprios CEs. O CE é fácil de ser construído e montado em sala de aula e consome pouca energia elétrica porque utiliza apenas uma ventoinha de computador com um transformador conectado a tomada para manter o fluxo de ar no seu interior.

Na aplicação deste produto didático (PD) os alunos podem responder a um questionário relatando seus entendimentos e que coisas novas consideram ter aprendido com o experimento.

### **1.1. O Ensino sobre Mudança de fases e o Cooler Evaporativo**

Há uma extensa teoria envolvendo a termodinâmica que está relacionada com transporte de energia, massa, e mudanças de fase em diferentes materiais, principalmente a água. Muitas vezes, porém, não se menciona para os alunos, outras situações em que não só a água mas também outras substâncias em estado líquido, ou mesmo sólido por sublimação, evaporam. Todas as mudanças de fase requerem troca de calor para ocorrer. As substâncias na natureza mudam constantemente de fase, inclusive mudanças de fase entre mesmo estado, por exemplo o gelo (sólido) tem mais de 5 diferentes fases dependendo da pressão e temperatura como mostrado na figura 1.1.

**Figura 1.1** - Ilustração mostrando as 5 diferentes fases do gelo.



Fonte: Ficheiro: Gelo III diagrama de fases.

O trabalho com o CE tem como objetivo que os alunos do 2º ano do EM entendam os vários fenômenos da Física relacionados com as Forças intermoleculares, Calor e energia interna, Transição de fase, Pressão parcial de vapores, Saturação da umidade e temperatura, e a Entalpia de vaporização da água. Os alunos podem observar o funcionamento do CE, relacionar com a parte teórica, resolver exercícios, e depois disso responder a um questionário relatando os resultados deste aprendizado e que coisas novas conseguiram aprender com o experimento. Pode-se fazer uma análise a priori da parte teórica, e das variáveis que serão utilizados nas fórmulas para os cálculos da transformação de energia, pois como diz Coutinho (2008, p. 67):

O objetivo de uma *análise a priori* é determinar como as escolhas efetuadas... permitem controlar os comportamentos dos alunos e explicar seu sentido. Dessa forma, em uma análise a priori devemos:

- Descrever as escolhas das variáveis locais e as características da situação didática desenvolvida.
- Analisar a importância dessa situação para o aluno e, em particular, em função das possibilidades de ações e escolhas para construção de estratégias, tomadas de decisões, controle e validação que o aluno terá. As ações do aluno são vistas no funcionamento quase isolado do professor, que, sendo o mediador no processo, organiza a situação de aprendizagem de forma a tornar o aluno responsável por sua aprendizagem;
- Prever comportamentos possíveis e tentar mostrar como a análise feita permite controlar seu sentido, assegurando que os comportamentos esperados, se e quando eles intervêm, resultam do desenvolvimento do conhecimento visado pela aprendizagem (COUTINHO 2008, p. 67).

A análise a priori ajuda a criar expectativa pelas aulas didáticas seguintes que serão desenvolvidas com o experimento, onde serão realizados exercícios relacionados com a vaporização. O professor se torna o mediador de um aprendizado em que o aluno participa, resultando no bom desenvolvimento do conhecimento do assunto. Depois da análise a priori



com diálogo sobre a parte teórica, a demonstração com o experimento vai comprovar o que foi dito trazendo para a prática os conteúdos aprendidos. Com isso saímos da teoria para a prática, pois o aprendizado atual exige mais do que apenas conhecimento de conteúdos didáticos, e principalmente nas aulas de Física; “o objetivo é relacionar as observações com os objetivos definidos a priori e estimar a reprodutibilidade e a regularidade dos fenômenos didáticos identificados” (COUTINHO 2008, p. 67). Coutinho diz ainda que,

A fase da experimentação é clássica: é o momento de se colocar em funcionamento todo o dispositivo construído, corrigindo-o se necessário, quando as análises locais do desenvolvimento experimental identificam essa necessidade, o que implica em um retorno à análise a priori, em um processo de complementação. Ela é seguida de uma fase de análise a posteriori que se apóia no conjunto de dados recolhidos durante a experimentação: observações realizadas sobre as sessões de ensino e as produções dos alunos em sala de aula ou fora dela. Esses dados são, às vezes, completados por dados obtidos pela utilização de metodologias externas: questionários, entrevistas individuais ou em pequenos grupos, realizadas em diversos momentos do ensino. A análise a posteriori de uma sessão é o conjunto de resultados que se pode tirar da exploração dos dados recolhidos e que contribuem para melhoria dos conhecimentos didáticos que se têm sobre as condições da transmissão do saber em jogo (COUTINHO 2008, p. 68).

O experimento com o CE faz isso porque é um “incentivo do raciocínio do aluno e de sua capacidade em aprender a aprender.” Com isso os alunos têm “espaço para o desenvolvimento de capacidade de pesquisar, buscando, selecionando e analisando informações, de modo a criar e formular hipóteses” (COUTINHO 2008, p. 29). Como diz Moreira (2011, p.2),

Na escola, seja ela fundamental, média ou superior, os professores apresentam aos alunos conhecimentos que eles supostamente devem saber. Os alunos copiam tais conhecimentos como se fossem informações a serem memorizadas, reproduzidas nas avaliações e esquecidas logo após. Esta é a forma clássica de ensinar e aprender, baseada na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica do aluno. As teorias de aprendizagem sugerem outras abordagens(...)aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula (MOREIRA, 2011, p.2).

O professor para realizar um trabalho de qualidade com os alunos, precisa superar esses desafios, precisa se atualizar permanentemente com novos conhecimentos e estratégias de ensino; aplicar, como diz Pomer, “sequências de ensino, de modo que o próprio aluno se insira numa dinâmica interativa e autônoma para conquistar e promover a própria aprendizagem” Pomer (2013, p. 7). Ou como ele diz ainda (2013, p. 15),

favorecer a autonomia do aluno sobre o saber, que pode se transformar em conhecimento. Deste modo, as situações didáticas abrem a possibilidade do aluno vivenciar uma mudança do ponto de vista didático, o que favorece a construção de uma nova relação deste com o saber, relação que coloca o aluno numa postura construtiva: o autor do próprio conhecimento. Em suma, este modo de concepção proposto por Brousseau (1996a) instala no aluno a capacidade de ‘aprender a aprender’, ao invés de postura passiva e especialista na rotina da memorização e utilização de algoritmos específicos, algo extremamente desejável na nova sociedade do conhecimento do século XXI (POMER, 2013, p. 15).

Conseguimos isso na aula com a utilização do CE. O experimento prático superou a expectativa porque, conforme as expressões deles na pesquisa que pode ser vista no Apêndice D, obtiveram um bom aprendizado sobre o assunto com uma boa compreensão da parte teórica, agregando a parte técnica com a parte de ensino. O funcionamento do CE foi além do esperado porque a expectativa era reduzir a temperatura do ar que sai em aproximadamente 4°C e conseguimos baixar até 14°C, com o uso de um secador de cabelo.

A utilização do CE contribui muito para o aprendizado dos alunos pois desperta neles a curiosidade científica. E, usar a água no experimento com o CE é muito pertinente pois a água possui alto calor latente de vaporização, suas moléculas estão fortemente ligadas por causa das Pontes de Hidrogênio. Para que haja mudança de estado, essas Pontes de Hidrogênio precisam ser rompidas, e muita energia é necessário para isso. Chamamos essa energia de calor latente de vaporização que para a água é, de modo mais exato: 539,6 cal/g. Com o CE conseguimos comprovar que houve transformação de calor em energia para vaporização, pois a energia se conserva, então se a temperatura de saída foi menor que a de entrada, com certeza, houve transformação de energia.

Espera-se que, com a construção do CE, o experimento realizado em sala de aula, as pesquisas feitas, e as observações dos estudantes no experimento, contribua para um melhor aprendizado dos alunos e que consigam assim perceber que a energia pode ser dissipada ou transformada por ceder calor para a evaporação da água, retirando calor do sistema considerado e em temperaturas inferiores a 100°C. Que entendam também os vários fenômenos da Física relacionados com as três forças intermoleculares, bem como os relacionados com Calorimetria e Termodinâmica.

## 2. Desenvolvimento Teórico

Nesse capítulo, descreveremos os conceitos que são estritamente necessários para a aula didática com o CE, a relação do teórico com a prática e o funcionamento do CE. Pode-se começar abordando os assuntos da Calorimetria, e na Termodinâmica: Calor e energia interna.

### 2.1 Calor e energia interna

O calor, é uma forma de Energia Térmica que é transferida entre sistemas termodinâmicos devido à diferença de temperatura entre eles; portanto, podemos dizer que, quanto mais calor é transferido para um corpo, mais energia ficará armazenada nesse corpo. Embora a energia interna permaneça constante o sistema realiza trabalho e a energia cinética das moléculas no CE aumenta. Todos os corpos possuem Energia Interna que é a soma de todas as energias no seu interior. Esta energia interna é composta pela energia cinética dos átomos e moléculas, suas vibrações, e pela energia potencial existente devido às forças que atuam no sistema.

Quando um corpo cede ou recebe calor, significa que sua energia interna está diminuindo ou aumentando. Por isso, pode-se dizer corretamente que calor é energia em trânsito. Esta energia interna do sistema pode ser aumentada ou diminuída pela introdução ou retirada de calor. Se as paredes do sistema forem de isolantes térmicos, não saindo nem entrando calor, podemos considerar como um sistema é fechado. A mesma energia que entra, ou seja, a soma algébrica de todo o calor adicionado, será também a energia que sai e o trabalho realizado no sistema. Essa energia pode ser utilizada para aumentar a Energia Potencial das moléculas. As moléculas podem absorver a energia que entra na forma de calor para romper as ligações de hidrogênio. Parte da energia cinética das moléculas é convertida no processo, sem variação de energia interna. Assim, com menor energia cinética, a temperatura diminui, e é isso o que acontece no CE.

### 2.2 Calorimetria

Calorimetria é a área da física que estuda a energia térmica, quando há trocas de calor entre dois ou mais corpos em um sistema e suas vizinhanças. Ou seja, o Calor é a Energia Térmica em trânsito, quando os corpos transferem energia térmica de um para outro até

atingirem a mesma temperatura, ocorrendo o equilíbrio térmico. Existem várias formas de Energia como: Energia Térmica, Cinética, Potencial, Elástica, etc. A quantidade total de calor em um sistema  $Q$ , é descrita pela equação:

$$Q = mc\Delta\theta \quad (1)$$

onde  $m$  é a capacidade térmica por unidade de massa,  $c$  é o calor específico, e  $\Delta\theta$  é a variação de temperatura. Se alguma outra forma de energia atuar no sistema a sua Energia Interna pode aumentar ou diminuir, sem que ele perca ou receba calor. Energia Interna é a soma de toda a energia cinética e potencial de um sistema e é medida em Joule (J).

Energia é a capacidade de executar um trabalho e não pode ser criada nem destruída, portanto não se perde, é conservada; mas pode ser transformada em outro tipo, e, pode também ser armazenada tornando-se Energia Potencial. A energia no CE não está sendo criada ou destruída, está sendo transformada, e a diminuição de temperatura comprova isso. Entra calor no CE que é usada para a vaporização da água.

A demonstração com o CE nos mostra que há uma Energia Interna que pode ser absorvida para o processo de vaporização, e por isso a temperatura no CE, que é o sistema considerado, diminui. Esta Energia Interna presente no CE, é transferida para as moléculas de água vaporizarem. Isto acontece porque calor está sendo transformado; e a Energia Interna que está sendo transformada refere-se à energia total presente em todos os átomos e moléculas dentro do CE, que é o nosso sistema. Sobre a conservação da energia Kreith (2016, p.41) diz que,

Para aplicar a Lei da Conservação de Energia, é necessário identificar um volume de controle, que é uma região fixa no espaço limitado por uma superfície de controle na qual calor, trabalho e massa podem passar (KREITH, 2016, p.41).

Podemos concluir que, se o sistema está termicamente isolado do ambiente, então o calor liberado no CE, que sai do sistema na forma de vapor de água, é igual ao calor absorvido, calor que entrou no CE, e que foi usado no processo de vaporização. Ou seja:

$$Q_{abs} = -Q_{sai} + \tau \quad (2)$$

onde  $Q_{abs}$  é a Quantidade de Calor absorvido,  $Q_{sai}$  é a Quantidade de Calor que sai e  $\tau$  o trabalho realizado. O trabalho realizado aumenta a energia cinética das moléculas. Haverá, portanto, um aumento de temperatura, endotérmica porque está entrando calor no sistema. O

Calor foi transformado no ambiente e usado para dar energia cinética às moléculas e com isso evaporarem.

### 2.2.1 Transição de fase

Toda matéria, encontra-se em um dos três estados básicos: sólidos, líquidos ou gasosos. A rigor, há ainda outros dois estados, o plasma e o condensado de Bose-Einstein, que são formas mais exóticas da matéria que estão fora do nosso escopo. Quando aumenta a energia de agitação das moléculas de água no CE, por causa do aumento de temperatura, a força de ligação entre eles será alterada. Isso pode causar modificações na organização das moléculas e conseqüentemente na separação das partículas, provocando a mudança de fase. Ao passar por essas transformações o corpo recebe trabalho e absorve energia na forma de calor, pois os processos de mudança de estado exigem que calor seja absorvido ou liberado com realização de trabalho. Para ocorrer a mudança de fase na água, ela precisará ceder ou absorver calor. A 100°C e 1 atm a água entra em ebulição, mas na evaporação, a transição de estado pode ocorrer em qualquer temperatura. Silveira (2010, p. 1) explica este fenômeno do seguinte modo:

...a água (assim como outras substâncias) pode vaporizar abaixo da temperatura de EBULIÇÃO. Neste caso está ocorrendo a EVAPORAÇÃO e ela se caracteriza pela passagem para o estado de vapor na superfície de interface do líquido com o meio externo. A EVAPORAÇÃO pode se dar a qualquer temperatura inferior à temperatura de EBULIÇÃO. No caso da água ela acontece inclusive com o gelo (chama-se então de SUBLIMAÇÃO), ... (SILVEIRA, 2010, p. 1).

Quando a água está passando de líquido para gás há uma fase de Calor Latente em que a temperatura permanece a mesma. Silveira (2012, p. 1) diz ainda que: “A condição para que ocorra a evaporação é que a pressão de vapor saturado da substância seja maior do que a pressão parcial de vapor da substância já presente no ambiente gasoso em contato com o líquido.” (Silveira 2012, p. 1) Para o cálculo da Mudança de Fase, podemos fazer:

$$Q_v = mL_v \quad (3)$$

onde,  $Q_v$  é o calor de vaporização,  $m$  a capacidade térmica por unidade de massa,  $L_v$  é o calor latente de vaporização da substância.

A água que evapora no CE, levando em torno de 30 min (1.800 s.), com umidade relativa do ar em torno de 50% e a temperatura ambiente em torno de 20°C a 30°C é de aproximadamente 200 gramas, ou 200 ml (Um kg de água pura a 4°C equivale a um litro);

com diminuição de temperatura aproximada de 4°C. Então, as quantidades totais de calorias transformadas são de 540 cal, teremos: 540 cal x 200 g = 108.000 cal. A Potência das transformações em cal/s são: 108.000 cal / 1.800 s. = 60 cal/s; ou em Joule por segundo: 60 cal x 4,18 J = 250,8 J/s. O experimento é feito na cidade de Blumenau-SC onde a pressão pode ser considerada de aproximadamente 1 atm.

### 2.2.2 Pressão parcial de vapores

Os Gases se dissolvem, reagem e se difundem de acordo com as suas pressões parciais. Essa lei estabelecida por John Dalton (1766-1844) diz que, “se tipos diferentes de gases forem misturados, a pressão total da mistura de gás será igual à soma das pressões parciais de cada tipo de gás”. Ou seja, a pressão total da mistura gasosa é igual à soma da pressão parcial de cada um dos gases que compõem essa mistura:

$$P_{total} = P_1 + P_2 + \dots + P_n ; \text{ ou } P_{total} = \Sigma P_n \quad (4)$$

onde,  $P_{total}$  é a pressão total dos gases,  $P_1 + P_2 + \dots + P_n$  são as somas das pressões, e  $\Sigma P$  simboliza a soma das pressões. Em condições ideais, pode-se considerar que as moléculas de água não interagirão umas com as outras. Sobre a  $P_{total}$  Silveira (2018, p. 1) diz que, “É importante notar que a  $P_{total}$  em pontos próximos da superfície livre do líquido é muito aproximadamente a pressão atmosférica se o recipiente com líquido estiver aberto.”

No CE fatores como temperatura, pressão de vapor, área de contato da água com a superfície e a circulação de ar que entra no sistema considerado, (a água e os gases no CE) determinam a taxa de evaporação em kg/s. As colmeias servem para dispersar as moléculas de água e aumentar a área de contato com o calor que entra no CE para facilitar a evaporação. Como diz Silva (2004, p. 16), “A evaporação do líquido acontece quando suas moléculas próximas a superfície recebem energia, do interior do líquido, em quantidade superior à necessária para manter as ligações moleculares da fase líquida” (SILVA, 2004, p. 16).

A molécula de água na superfície precisará ganhar Energia Cinética suficiente para romper a força de coesão existente devido a tensão causada pela interação molecular, e passar para o estado gasoso. Quando isso acontece ela deixa o líquido e ocorre a evaporação. O movimento térmico das moléculas do líquido deve ser suficiente para vencer a força de ligação entre elas e romper as chamadas Pontes de Hidrogênio. Desse modo as moléculas com mais energia, conseguem escapar dos líquidos e formar os gases. Haverá transformação de

calor no sistema para a vaporização, resultando na diminuição de temperatura. A diminuição de temperatura no CE comprova isso.

### 2.2.3 Saturação da umidade e temperatura

Saturação é a quantidade máxima de moléculas de água que pode haver no sistema a uma dada temperatura. Na saturação, a pressão parcial atinge a pressão de vapor saturado (PVS). Qualquer tentativa de aumentar a pressão parcial, ou a densidade de moléculas, causará a condensação nessa temperatura, mantendo o equilíbrio entre as fases líquido e vapor. Silveira (2018, p. 1) diz que,

A PVS é a pressão em que se estabelece o equilíbrio entre a fase gasosa (vapor) e a fase líquida (ou sólida) da substância. Ou seja, a PVS é igual a (PPV) na situação de equilíbrio entre as duas fases. Desta forma a condição de coexistência em equilíbrio das duas fases é expressa como  $PPV=PVS$  e quando tal condição é atingida o ar está saturado de vapor e a umidade relativa do ar é 100%.

A razão da PPV pela PVS é a umidade relativa (UR). Ou seja, por definição  $UR=PPV/PVS$  (SILVEIRA, 2018, p. 1).

A (PVS) é uma característica da substância. Ela depende da temperatura e é dada pela Lei de Clausius-Clapeyron em um gás ideal, a equação que relaciona as três variáveis de estado termodinâmico no estudo dos gases (pressão, volume e temperatura) e o número de mols; ou seja,

$$Pv = nRT \quad (5)$$

onde,  $P$  é a pressão do gás;  $V$  o volume do gás;  $R$  a constante universal dos gases, cujo valor é:  $R = 8,31 \text{ Joule}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ , ou pela medida da pressão:  $R = 0,082 \text{ atm.l}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ,  $n$  é o número de mol do gás, (seu valor pode ser determinado pela razão entre a massa do gás e a massa molar:  $n = m/M$ ),  $T$  é a temperatura do gás, que deve ser medida em uma escala termométrica absoluta K (Kelvin). E a lei dos gases ideais é a chamada equação de estado do gás ideal, ou gás perfeito.

Silveira (2018, p. 1) diz sobre a pressão parcial do vapor que, “a PPV d’água no ar é a pressão que o vapor se encontraria nas mesmas condições de temperatura e volume caso não existisse os demais gases que compõem o ar.” Se a umidade relativa do ar estiver a 100% então o ar, na temperatura em que se encontra, estará saturado, não sendo mais capaz de absorver umidade. Acima do ponto de saturação a água começa a formar gotas e ocorre a precipitação. Para o experimento com o CE, o ideal seria umidade relativa do ar em 0 % mas

na região onde é feito o experimento isso não é possível, por isso, esperamos que no dia de se realizar o experimento, esteja pelo menos entre 30% e 60%, acima disso pode ser difícil perceber a variação da temperatura no CE.

#### 2.2.4 Umidade Relativa

A Umidade Relativa ( $w$ ) é a relação entre a quantidade de água no ar da atmosfera, massa de vapor ( $M_v$ ), a uma dada temperatura, e a massa de ar seco ( $M_d$ ), ou seja,  $w=M_v/M_d$ . Portanto, quanto menos umidade no ar mais calor pode ser transformado no CE. No CE, há aumento na umidade relativa do ar, e com isso diminuição de temperatura. Isto porque é necessário energia para quebrar a atração intermolecular, as ligações de Pontes de Hidrogênio, ligação química covalente entre o hidrogênio e o oxigênio, para que as moléculas se separem e passem para o estado gasoso. No CE com umidade relativa em torno de 50% e temperatura externa em torno de 30°C, a saída fica em torno de 26°C, baixando, portanto, 4°C.

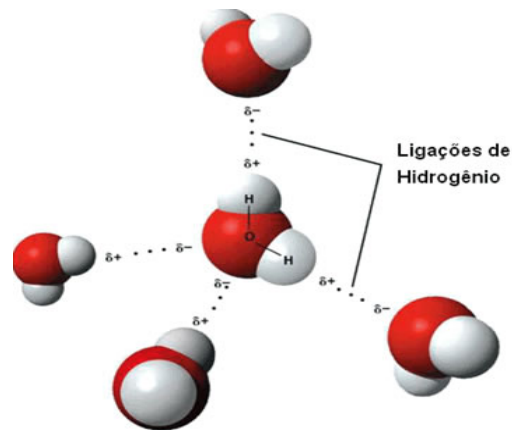
### 2.3 As três forças intermoleculares

Na vaporização da água ocorre transformação de energia com mudança de estado físico, passando do estado líquido para o estado gasoso. A matéria continua a mesma, porém há a desagregação molecular; as moléculas se rompem das interações intermoleculares. No experimento que estamos analisando é semelhante, a quantidade de calor fornecida ao líquido aumenta a agitação das moléculas causando o rompimento das forças intermoleculares que as mantêm agregadas. Quer as moléculas das substâncias estejam no estado sólido, líquido ou gasoso, elas se atraem por meio de cada uma dessas forças intermoleculares. Essas são as chamadas Forças de Van der Waals. Essas forças são: Dipolo induzido – dipolo induzido, Dipolo permanente – dipolo permanente e Ligação de Hidrogênio ou Pontes de Hidrogênio.

Moléculas de compostos, sejam polares ou apolares, interagem entre si e isso resulta nas chamadas forças intermoleculares. Em 1873 o químico e físico holandês Diderik Van der Waals propôs a existência dessas forças que passaram a ser chamadas de Forças de Van der Waals. Devido a essas forças, as moléculas podem interagir de forma diferente umas com as outras. Essas interações diferentes influenciam no ponto de fusão e ebulição de uma substância conforme a variação da quantidade de Energia Interna no sistema. Na água esta força existe principalmente por causa das ligações de hidrogênio. Então dentre as forças intermoleculares, são principalmente as pontes de hidrogênio que devem ser rompidas com o calor que entra no CE.



**Figura 2.2** - Ligação de hidrogênio na molécula de água.



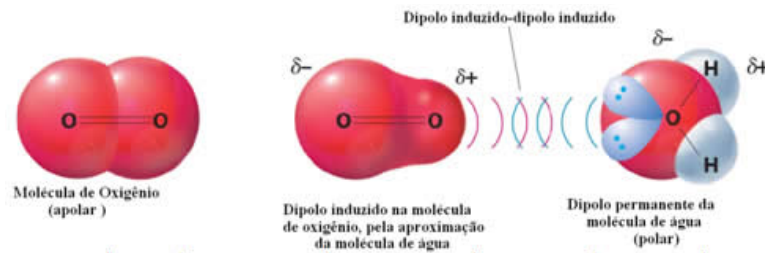
Fonte: Fogaça, J.

Para romper esta força, é retirada energia do calor que está entrando dentro das colmeias do CE.

### 2.3.1 Força dipolo induzido-dipolo induzido

A força dipolo induzido-dipolo induzido, ou dipolo instantâneo-dipolo induzido, é outra força que atua nas moléculas. Esta força foi descoberta pelo físico alemão Fritz Wolfgang London, por isso são chamadas de forças de London ou também forças de dispersão de London. Esta é a força que ocorre entre as moléculas apolares, em ligações covalentes, ou seja, as que não apresentam polos nem positivo nem negativo, os elétrons ficam distribuídos de forma uniforme na eletrosfera. “Os elétrons se acumulam em determinado lado, que fica polarizado negativamente e o lado oposto positivamente, porque tem pouca carga negativa.” (FOGAÇA, 2021, p.1) Como as moléculas estão próximas, esse dipolo temporário acaba induzindo os elétrons de outra molécula a também se agruparem em uma extremidade, assim as que eram apolares passam a ter um dipolo que foi induzido até que várias outras moléculas fiquem polarizadas (FOGAÇA, 2021, p.1).

**Figura 2.3** - Ilustração mostrando a força dipolo induzido-dipolo induzido na molécula de água



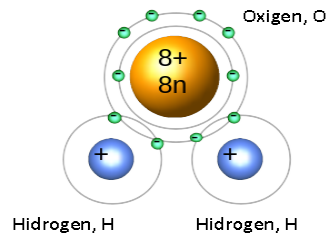
Fonte: Fogaça, J.

As moléculas apolares podem passar do estado gasoso, fase em que estão mais distanciadadas e não há polos nem interação entre elas, para o estado líquido e sólido. Nesses estados de agregação, pode ocorrer, polos positivos e negativos temporários porque as moléculas estão mais próximas e as atrações ou repulsões eletrônicas entre seus elétrons e núcleos podem levar a uma deformação de suas nuvens eletrônicas. Os dipolos instantâneos podem induzir a polarização de moléculas vizinhas, resultando em forças atrativas. Isso acontece com o oxigênio que é apolar e a água que é polar. Quando a extremidade negativa da água se aproxima do gás oxigênio ( $O_2$ ), ela se afasta da nuvem eletrônica da molécula apolar e se repele. Como diz Fogaça (2021, p.1): “O oxigênio fica, momentaneamente, polarizado, passa a interagir com a água e se solubiliza nela” (FOGAÇA, 2021, p.1). Essas forças são fracas, mas podemos considerar como uma força presente no nosso experimento e que precisa ser rompida para que haja a vaporização. Esta é uma das causas da transformação de energia no sistema o CE.

### 2.3.2 Força dipolo permanente ou dipolo-dipolo

Esta força é intermolecular, é uma força de interação intermediária. Ocorre nas moléculas dos compostos polares, que não tem distribuição de carga uniforme na sua superfície e os elétrons estão distribuídos de forma assimétrica. As moléculas polares interagem umas com as outras de um modo que os polos opostos são mantidos, e esses polos de carga oposta se atraem, o polo negativo de uma se une ao polo positivo de outra e assim sucessivamente. Na região ao redor do átomo de hidrogênio forma-se um polo positivo, simbolizado pela letra grega delta ( $+\delta$ ).

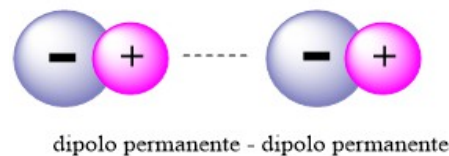
**Figura 2.4** - Ilustração mostrando a molécula de água polar



Fonte: James N. Spencer, George M. Bodner, Lyman H.

Este tem baixa densidade eletrônica, e, esta força de atração, que se estabelece entre a extremidade negativa do dipolo de uma molécula com a extremidade positiva do dipolo de outra molécula, constitui a força dipolo-dipolo, ou a força de dipolos permanentes.

**Figura 2.5** - Ilustração mostrando a força dipolo permanente ou dipolo-dipolo



Fonte: Viana, A.

É uma força presente em compostos polares, e quanto maior a polaridade de uma molécula, mais intensas serão as interações dipolo-dipolo na substância. Sobre essa força Fogaça (2021, p.1) diz:

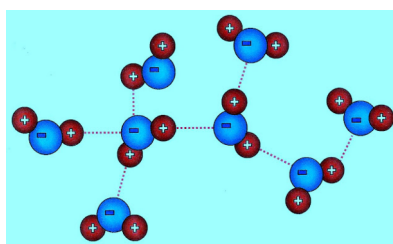
Essa força intermolecular é de intensidade média, pois se apresenta mais forte que a força de atração dipolo induzido-dipolo induzido, porém menos intensa que a ligação de hidrogênio. É por isso que seus pontos de fusão e ebulição são maiores que os das substâncias que possuem força de dipolo induzido. Como a força dipolo permanente é mais forte, é necessário o fornecimento de mais energia para que as interações de suas moléculas se rompam (FOGAÇA 2021, p.1).

Essas forças são um pouco mais intensas que a mencionada anteriormente, dipolo induzido-dipolo induzido. Então podemos considerar como uma força bem mais presente no nosso experimento com o CE, que também precisam ser rompidas para que haja vaporização, e, conseqüentemente, transformação de energia pelo trabalho realizado no sistema.

### 2.3.3 Força da ligação de hidrogênio ou pontes de hidrogênio

Outra força que precisa de muita energia para ser rompida no experimento da vaporização com o CE é a força intermolecular da ligação de hidrogênio ou também chamada de pontes de hidrogênio. Este é um tipo de interação que ocorre quando as moléculas possuem hidrogênio ligados ao flúor, nitrogênio ou com o oxigênio. Na molécula da água podemos encontrar até quatro ligações de pontes de hidrogênio. Isto acontece por causa das atrações eletropositivas e eletronegativas com as outras moléculas iguais.

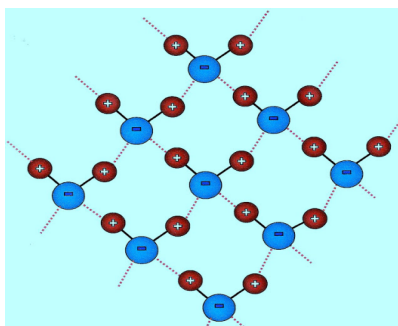
**Figura 2.6** - Ilustração mostrando a força intermolecular da ligação de hidrogênio na molécula de água



Fonte: Aprendendo química on-line.

As pontes de hidrogênio são as responsáveis pela tensão superficial da água. A tensão superficial acontece porque as moléculas de água se atraem e se juntam pelas ligações eletrostáticas provocando uma contração do líquido e as moléculas de água que estão abaixo da superfície, cercadas uma pelas outras pela atração das suas cargas positivas e negativas, se ligam por pontes de hidrogênio. As moléculas da superfície, são unidas apenas pelas partes direcionadas para o interior do líquido, resultando num contato da molécula pelos lados e pelo seu interior. Como isso não ocorre na superfície, elas se ligam e se unem de modo muito mais forte, formando a tensão superficial.

**Figura 2.7** - Ilustração mostrando o arranjo e disposição das moléculas da água no estado líquido



Fonte: Aprendendo química on-line.

Sobre a ligação de pontes de hidrogênio, presentes na água, e a evaporação Silva (2010, p. 1) diz:

Para evaporar a água, primeiro deve-se romper as pontes de hidrogênio e, posteriormente, dotar as moléculas de água de suficiente energia cinética para se passar para a fase gasosa. Para evaporar 1 grama de água precisa-se de 540 calorias a uma temperatura de 20°C (Silva, 2010, p. 1).

Visto que os átomos nesta ligação são fortemente eletronegativos, formam fortes ligações moleculares. Das três ligações mencionadas anteriormente, esta é a mais forte. Sobre esta forte ligação Fogaça (2021, p.1) diz o seguinte:

...o hidrogênio de uma molécula constitui um polo positivo, que se liga a um desses átomos de flúor, oxigênio ou nitrogênio de outra molécula, que constituem o polo negativo delas. Normalmente, as ligações intermoleculares ocorrem com as substâncias nos estados líquido e sólido. Além disso, visto que é uma força de atração muito intensa, é necessária uma energia bem alta para rompê-la. Uma substância que apresenta essa força intermolecular é a própria água (FOGAÇA, 2021, p. 1).

Devido a esta ligação do hidrogênio com o oxigênio que forma a água ( $H_2O$ ), pois as ligações do hidrogênio ocorrem entre o hidrogênio de uma molécula de polo positivo com o oxigênio de outra de polo negativo, cada molécula de água se liga tridimensionalmente a outras quatro moléculas formando um hexágono fortemente ligados. Fogaça (2021, p.1) diz ainda que,

As moléculas de água também realizam esse tipo de interação intermolecular com suas próprias moléculas e com moléculas de outras substâncias que se dissolvem nela. As moléculas de  $H_2O$  são polares, pois os hidrogênios possuem carga parcial positiva ( $\delta^+$ ), e o oxigênio possui carga parcial negativa ( $\delta^-$ ). Assim, o hidrogênio de uma molécula é atraído pelo oxigênio de outra molécula. No estado líquido, esse tipo de interação ocorre em todos os sentidos (com moléculas ao lado, acima e abaixo) (FOGAÇA 2021, p.1).

Todas essas forças em conjunto estão atuando na água líquida, e pode-se perceber que há uma forte interação com o hidrogênio. Sobre essas ligações Fogaça diz:

As ligações de hidrogênio são o tipo de força intermolecular mais intenso, que ocorre entre dipolos permanentes das moléculas, em que o polo positivo é sempre o hidrogê-

nio, e o polo negativo pode ser o flúor, o oxigênio ou o nitrogênio, pois esses elementos são bastante eletronegativos, ou seja, atraem mais fortemente os elétrons da ligação dupla e ficam com carga parcial negativa (FOGAÇA 2021, p.1).

Como estamos utilizando a água no nosso experimento, temos uma forte ligação do hidrogênio de polo positivo com o oxigênio de polo negativo. É necessária muita energia para romper essas ligações pois é uma força intermolecular de alta intensidade. Esta energia é retirada do calor que está no CE. O que acontece no CE é a quebra dessas ligações com a utilização do calor que entra e consequente diminuição de temperatura.

### 3. O Cooler Evaporativo

O CE é um produto didático. Ele é utilizado em um experimento que tem como objetivo facilitar no entendimento da transformação de energia no processo de vaporização e consequente resfriamento do sistema considerado, dentro do CE.

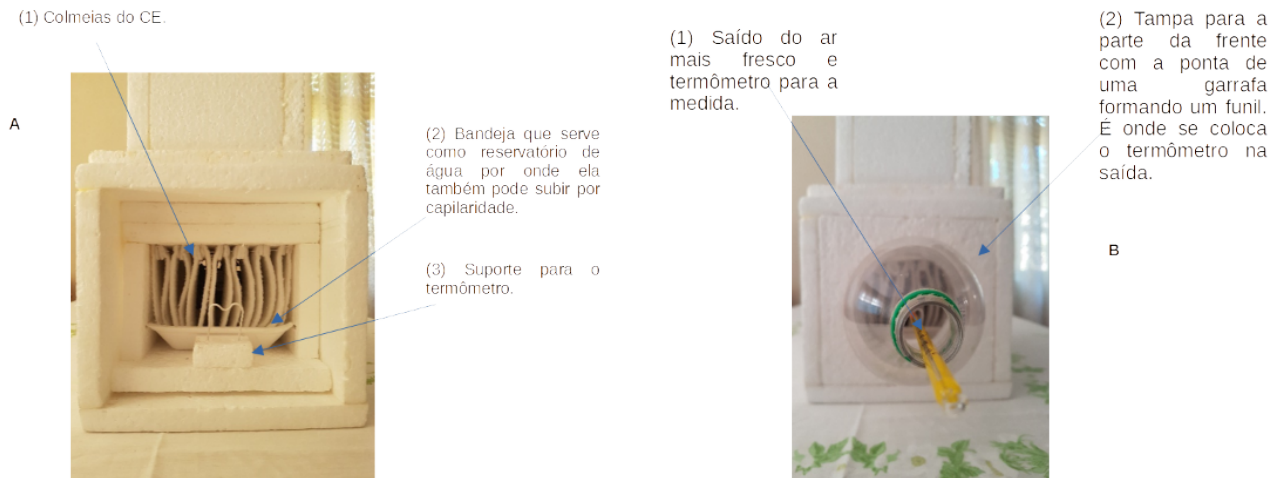
#### 3.1 Montagem do Cooler Evaporativo

O CE é feito de isopor com células de panos umedecidos por um reservatório de água e que possui uma ventoinha que extrai o ar quente e seco do ambiente, e o conduz pelas células de pano para dentro da caixa de isopor com uma abertura do lado oposto ao da ventoinha, expelindo assim, um ar mais fresco e úmido devido a perda de calor das moléculas de água no processo de vaporização. No CE ocorre a vaporização com o rompimento de todas as forças de ligação da água. As células de pano servem para dispersar a água na superfície para facilitar a vaporização. A água evapora com uma temperatura um pouco menor que a do ambiente externo devido ao rompimento dessas forças.

Para construir o CE é utilizado isopor de 2 cm de espessura, cola para isopor, duas garrafas de plástico, panos de algodão ou outro material que absorva bem a água, uma ventoinha, um pequeno recipiente para se colocar a água ou uma bandeja que também pode ser de isopor ou de plástico, um pequeno transformador para reduzir a tensão ao se conectar a ventoinha, um adaptador para conectar a saída para a tomada e estilete para cortar o isopor. O isopor é um material barato, prático, de fácil utilização e bom isolante térmico, sendo, portanto, conveniente para simular um sistema isolado. Para montar todas as peças pode-se utilizar a cola de isopor.

Para construí-lo primeiramente cortam-se dois pedaços do isopor, um de 20 cm x 30 cm, que será a parte de baixo, o outro de 20 cm x 20 cm a parte de cima. Depois dois pedaços de 15 cm x 30 cm cada que ficarão nos dois lados e outro de 16 cm x 20 cm que ficará no que será a parte de trás do CE, formando uma caixa aberta em um dos lados. A parte aberta será a parte da frente onde depois serão encaixadas as colmeias e a tampa, feita na medida da abertura, com um funil feito de garrafa plástica onde será colocado o termômetro, como mostrado na **Figura 3.8.**

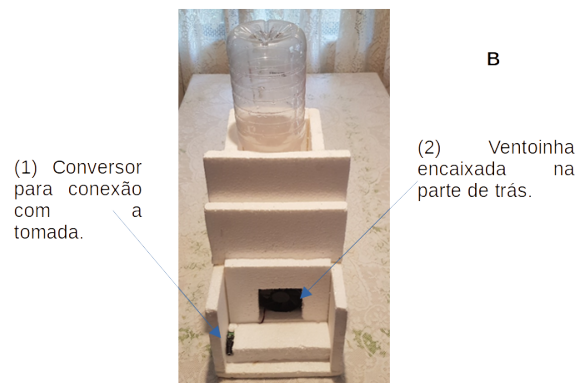
**Figura 3.8 - Parte frontal, por onde sai ar mais fresco sem a tampa e com a tampa e termômetro**



Fonte: Autor.

Na parte de trás fazer uma abertura para encaixar a ventoinha no centro, como pode ser visto na **Figura 3.9** (Obs.: há pedaços de isopor a mais na parte de trás, opcional).

**Figura 3.9 - Parte de trás do CE, por onde entra o ar quente e seco**



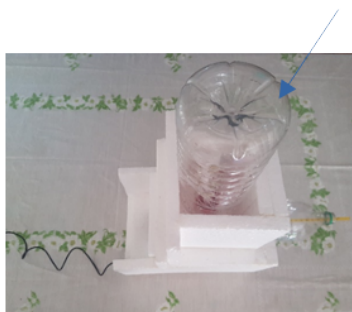
Fonte: Autor.

Na parte de cima fazer um suporte para colocar a garrafa com água, que pode ser da largura da garrafa que será utilizada, e com cuidado um furo, tanto no suporte como na caixa que será o CE, é por onde desce a água. Para que a água desça da garrafa fazer um pequeno furo na tampa e colocar um pedaço de pano formando um tipo de pavio para impedir que se forme vácuo na garrafa. A água desce pela ação da gravidade.



**Figura 3.10** - Parte de cima do CE, por onde desce a água que vaporizará

(1) A água desce pela ação da gravidade.



Fonte: Autor.

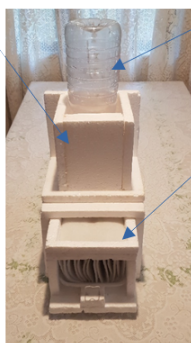
Depois de pronta pode-se fazer as colmeias que serão encaixadas dentro desta caixa como pode ser visto nas **Figuras 3.11 e 3.12**.

**Figura 3.11** - Parte frontal do CE demonstrando o encaixe da peça com as colmeias e o suporte para a garrafa

(1) Suporte para a garrafa plástica. Abaixo há um furo por onde desce a água.

(2) Garrafa plástica

(3) As colmeias são encaixadas dentro da caixa de isopor.



Fonte: Autor.

Para as colmeias fazer uma caixa com abertura em dois lados e que se encaixe de forma bem ajustada na outra caixa. Para isso corta-se quatro pedaços de isopor que são colados formando a caixa aberta na parte de trás e da frente que devem ser do tamanho exato para o encaixe na caixa maior que será o CE. O comprimento é de 15 cm, com um pequeno espaço para o suporte do termômetro e para a tampa. Na parte que ficará acima cortar com cuidado várias tiras de isopor, retirá-las com cuidado, até ficarem como “varais de isopor”, é onde os panos cortados na medida ficam pendurados formando as colmeias. Um último pano cobre todos eles permitindo assim uma melhor distribuição da água nas colmeias. Depois recortar um quadrado do mesmo tamanho formando uma cinta que será colada acima como mostrado na

**Figura 3.12.** A altura com a cinta deve ser de 15 cm para encaixar de modo bem ajustado na caixa maior que é o CE como mostrado na **Figura 3.11**. Há um suporte para o termômetro que pode ser colocado na frente.

**Figura 3.12 - Caixa das colmeias de pano que é encaixada no CE**



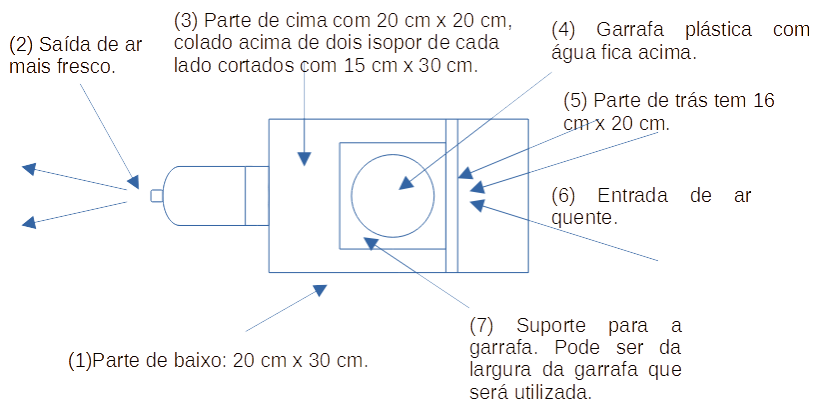
Fonte: Autor.

Depois de montar e encaixar todas as peças coloca-se uma certa medida de água na garrafa que fica acima do CE, dentro do suporte para a garrafa, com a abertura virada para baixo e liga-se a ventoinha. A água, pela ação da gravidade, desce para as colmeias onde vaporiza e com isso diminui a temperatura do ar na saída. Uma parte da água desce para a bandeja onde fica retida e também pode subir por capilaridade.

### 3.1.1 Diagrama esquemático do CE

Aqui temos um diagrama esquemático com as medidas e as especificações necessárias para ajudar no processo de construção do CE.

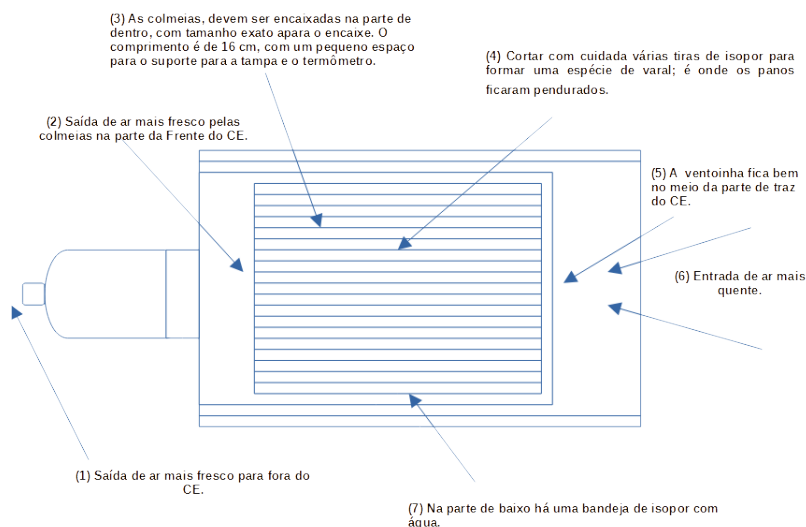
**Figura 3.13 - Diagrama esquemático demonstrando as colmeias por dentro, com as principais estruturas**



Fonte: Autor.

Em cima da caixa **fazer** um suporte para a garrafa plástica e um furo por onde descerá a água sobre as colmeias, com um pavio de pano, por onde descerá a água. **Fazer** uma tampa para a parte da frente e encaixar uma garrafa recortada com uma abertura e

**Figura 3.14** - Diagrama esquemático demonstrando o recipiente acima



Fonte: Autor.

com um suporte para colocar o termômetro por onde sairá o vapor com menos calor que na entrada.

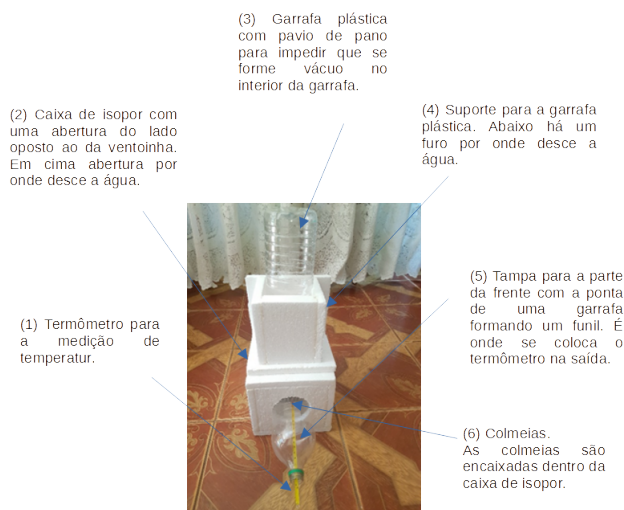
### 3.1.2 Funcionamento do Cooler Evaporativo

O CE funciona do seguinte modo: A água contida na garrafa plástica, a princípio, desce lentamente por um pavio de pano que permite a entrada de ar a medida que sai água em uma abertura acima das colmeias do CE, se espalha pelas colmeias, umedecendo cada uma delas, ficando parte retida em uma bandeja de isopor na parte de abaixo por onde a água também sobe por capilaridade, e que com a ventilação fornecida pela ventoinha, evapora pela abertura na parte da frente onde há um suporte para colocar o termômetro. Ao fazer isso sai, por entre as colmeias na parte frontal do CE, um ar mais fresco e úmido devido a perda de calor das moléculas de água no processo de vaporização. As colmeias servem para facilitar a vaporização.

## 3.2 O Cooler Evaporativo montado e com as peças

Preliminarmente montamos um protótipo do produto didático, mostrado nas **Figuras 3.15 e 3.16** para demonstrar a viabilidade do projeto e para que testes possam ser realizados

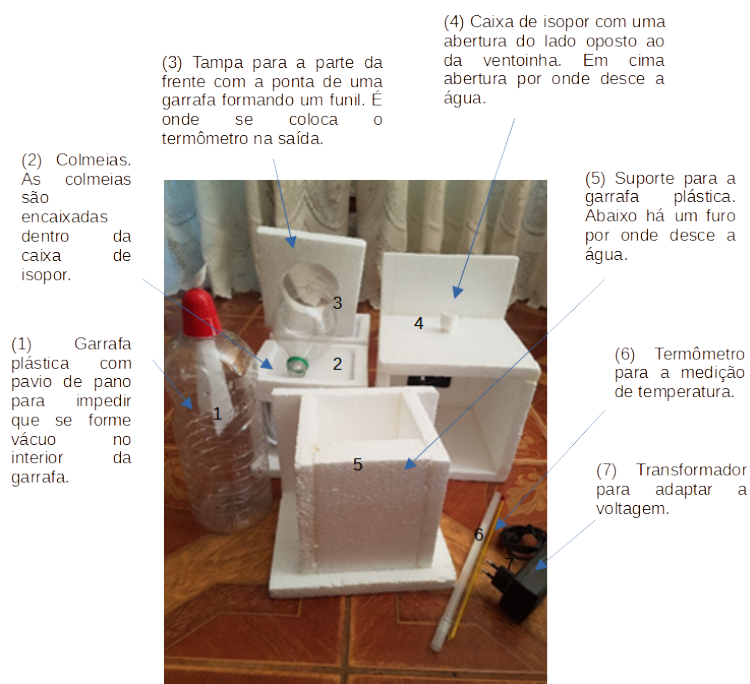
**Figura 3.15 - O CE montado**



Fonte: Autor.

As peças do CE que podem ser vistas na **Figura 3.16** são: (1) Caixa de isopor com uma abertura do lado oposto ao da ventoinha, em cima abertura por onde desce a água; (2) Suporte para a garrafa plástica; (3) Colmeias, as colmeias são encaixadas dentro da caixa de isopor;

**Figura 3.16 - Peças do CE**



Fonte: Autor

(4) Tampa para a parte da frente com a ponta de uma garrafa formando um funil, é onde se coloca o termômetro na saída; (5) Garrafa plástica com pavo de pano para impedir que se forme vácuo no interior da garrafa; (6) Termômetro para a medição de temperatura; (7) Transformador para adaptar a voltagem. Abaixo das colmeias há uma bandeja que serve como reservatório de água por onde ela pode subir por capilaridade, pode ser vista na **Figura 3.12**.

## 4. Aplicação e análise do produto educacional

O CE é um produto didático. Ele é utilizado em um experimento que tem como objetivo facilitar no entendimento da transformação de energia em um processo de vaporização e consequente resfriamento do sistema considerado. O calor que entra no CE é transferido para as moléculas de água vaporizarem, sendo transformado no processo de vaporização da água. Depois de montado coloca-se uma certa medida de água na garrafa que fica acima do CE com a abertura para baixo dentro do local preparado para isso.

### 4.1 Metodologia da aplicação

Propomos com este produto didático uma aprendizagem mais significativa, relacionando o conhecimento teórico, considerado difícil por muitos alunos do EM, com o prático.

Depois de montado coloca-se uma certa medida de água na garrafa que fica acima do CE com a abertura para baixo dentro do local preparado para isso. Para saber essa medida viramos a garrafa com a abertura para baixo, fizemos uma marca onde ficou a altura da água e depois acrescentamos a medida de água que queremos, depois viramos novamente a garrafa com a abertura para baixo, esperamos um certo tempo que será cronometrado, liga-se a ventoinha, verificamos e marcamos a temperatura com um termômetro. Depois colocamos o termômetro na saída do ar na parte frontal do CE para analisar o quanto baixa a temperatura, e medimos quanto calor foi transformado no processo de vaporização; cronometramos também o tempo em que a medida de água colocada vaporiza para analisar e calcular a Potência da transformação em cal/s e em J/s. Então retiramos a água até a medida que fizemos anteriormente e colocamos no recipiente com as medidas; o que faltou de água da medida anterior é o que certamente vaporizou.

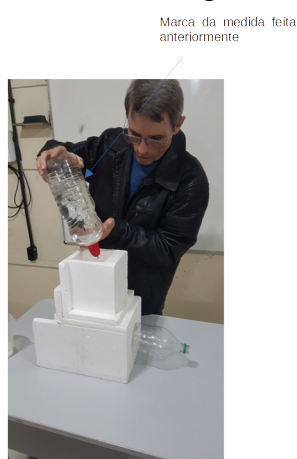
Durante esse tempo os alunos são incentivados a formarem equipes de 3 ou 4, recebem a folha com os dados a serem calculados no experimento, (Apêndice D. Figura 38. Folha dos exercícios de cálculos sobre o calor transformado no Cooler Evaporativo) para depois resolvermos juntos cálculos matemáticos relacionados com o quanto de água foi vaporizada durante certo intervalo de tempo e a energia transformada à medida que ocorrem as transformações de calor em energia para vaporização no CE.

Para uma verificação melhor pode-se intensificar o processo forçando a entrada de calor no CE com o secador de cabelo. Direciona-se a ventilação mais quente para a entrada do CE com o termômetro para verificação, colocado na entrada, até que a temperatura fique estabilizada mais quente (talvez em torno de 40°C), depois, o mesmo termômetro pode ser colocado na saída para analisar quanto baixou a temperatura. Com isso os alunos conseguem obter um conhecimento melhor que relaciona a teoria de tudo o que está envolvido na transformação de energia para a vaporização com e observação prática. São três aulas didáticas para isso, uma última para diálogo e pesquisa a respeito do que acharam da aula, do experimento e o que aprenderam.

## 4.2 Aula com aplicação do produto educacional, o Cooler Evaporativo

Na primeira aula pode-se mostrar o CE, falar da parte teórica relacionada com as transformações de energia, o que acontece na vaporização, porque ela ocorre e colocar o CE para funcionar. É bom escolher dias conforme a temperatura e umidade relativa do ar, pois se tiver pouco calor e muita umidade relativa a temperatura baixa pouco no CE. Enquanto ouvem a explicação teórica sobre a vaporização os alunos podem ir observando o quanto baixa a temperatura no CE. Primeiro verificamos com um termômetro, ou com o celular, a temperatura ambiente, depois montamos o CE com as peças de encaixe,

**Figura 4.17** - Colocando a garrafa com água no CE



Fonte: Autor.

colocamos água na garrafa, ligamos a ventoinha colocamos o termômetro na saída para ser observado pela turma o quanto baixa a temperatura.

Perto do final da aula, pedir para os alunos formarem equipes, e entregar para eles a cópia dos exercícios sobre as transformações de energia no processo de vaporização e dizer que na próxima aula colocaremos as mesmas medidas no CE e conferir os resultados juntos.

Na segunda aula colocamos a medida de 200 g na garrafa que fica acima do CE e depois fazemos os cálculos conforme a folha dos exercícios do Apêndice D. Para colocar a medida de 200 g, marcamos com um risco a medida da água na garrafa virada para baixo, depois colocamos a medida de 200 g que ficará acima da medida feita, viramos novamente a garrafa com a abertura para baixo dentro do local preparado para isso no CE, depois ligamos a ventoinha e colocamos o termômetro na saída do ar na parte frontal e cronometramos o tempo em que essas 200 g serão vaporizadas. Medimos também o tempo para analisar e calcular a Potência da transformação em cal/s e em J/s.

**Figura 4.18** - Colocando a água com a medida na garrafa



Fonte: Autor.

Primeiro analisamos o tempo para vaporizar as 200 g, depois medimos 15 min e vimos quanto vaporizou para comparar com o quanto evaporou nesse intervalo de tempo e também calculamos a potência em cal/s e J/s. Para saber essa medida também viramos a garrafa com a abertura para baixo, fizemos uma marca onde ficou a altura da água e depois acrescentamos 200 g de água; depois viramos novamente a garrafa com a abertura para baixo esperamos 15 min, depois retiramos água até a medida que fizemos anteriormente e colocamos no recipiente com as medidas; o que faltou de água para a medida das 200 g é o que certamente vaporizou. Durante esse tempo é feita a resolução dos exercícios. À medida que é feito o experimento calculamos a quantidade de calor utilizadas na vaporização e a potência das transformações. Se cada grama de água precisa de 540 cal para vaporizar, independente de estar em ebulição ou não porque as mesmas forças precisam ser rompidas, então a quantidade



total de caloria transformada será a multiplicação da quantidade de água que diminuiu na garrafa medida em gramas multiplicada pelas 540 cal. Temos então que:

$$Q_{cal.transformada} = 540 \text{ cal} \cdot Xg \quad (6)$$

onde  $Xg$  é a quantidade de água que vaporizou no CE, assim, como a potência da transformação é a quantidade total de caloria transformada pelo intervalo de tempo teremos:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \quad (7)$$

onde  $P$  é a potência das transformações,  $Q$  quantidade total de caloria transformada e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo. No final da aula dizer para a turma que na próxima aula para uma verificação melhor intensificaremos o processo forçando a entrada de calor no CE com o secador de cabelo para veremos o quanto vai baixar a temperatura no CE e será feito também uma pesquisa sobre o aprendizado da turma.

Na terceira aula como combinado intensifica-se o processo com um secador de cabelo. Direciona-se a ventilação mais quente para a entrada do CE com o termômetro para verificação, colocado na entrada, até que a temperatura fique estabilizada mais quente (talvez em torno de  $40^{\circ}\text{C}$ ), depois, o termômetro é colocado na saída para medir quanto calor foi transformado no processo de vaporização.

**Figura 4.19** - Colocando calor na entrada do CE com o secador



Fonte: Autor.

Com o secador de cabelo pode-se conseguir uma variação de temperatura de entrada e saída bem mais acentuada no CE. Depois os alunos respondem as pesquisas e dialogamos sobre os resultados obtidos no aprendizado.

#### *4.2.1 Aula com turmas sobre a vaporização no Cooler Evaporativo*

O CE foi utilizado como produto didático em sala de aula, com turmas do 2º ano do EM em Blumenau – SC. Foram em três aulas com cada turma sobre o processo de vaporização no CE.

Na primeira aula, a priori, vimos a amostra das peças do CE, as instruções para montá-lo, e, dialogamos sobre o que está envolvido na transformação de calor para vaporização e diminuição de temperatura no CE. Depois, na aula prática, colocamos as medidas pré determinadas de água no recipiente, ligamos a ventoinha, colocamos o termômetro e medimos o tempo para saber o quanto seria transformado no CE e a potência da transformação.

Na segunda resolvemos cálculos matemáticos relacionados com o quanto foi vaporizado e a energia transformada à medida que acompanhávamos as transformações no CE. Os alunos foram incentivados a formarem equipes de 3 ou 4, para depois resolvermos juntos os cálculos relacionados com as transformações de calor em energia para vaporização.

Na terceira aula como combinado intensificamos o processo com um secador de cabelo. Direcionamos a ventilação mais quente para a entrada do CE com o termômetro para verificação colocado na entrada, até que a temperatura ficou estabilizada mais quente (em torno de 40°C), depois, o termômetro foi colocado na saída para medir quanto calor foi transformado no processo de vaporização. E houve um diálogo final sobre tudo que está envolvido na transformação da energia no CE e uma pesquisa a respeito do que acharam da aula e o que aprenderam de novo. No apêndice temos os dados do experimento com cada turma.

#### *4.2.2 Dados obtidos com o experimento em aula*

Temos aqui uma tabela que mostra o resultado da aplicação do experimento em sala de aula, em que o CE foi utilizado como produto didático, com uma das turmas do EM, em um colégio de Blumenau – SC, nos dias 12 e 20 de maio de 2022.

Os dados com a turma foram:

**Tabela 1** - Turma do 2º ano do EM

| Turma do 2º ano 03 do EM da manhã, nos dias 12 e 20 de maio de 2022 |                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 47%                                                                                                                                                                            |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | 25°C                                                                                                                                                                           |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | 21°C                                                                                                                                                                           |
| Diminuição da temperatura:                                          | 4°C                                                                                                                                                                            |
| Quantidade de água vaporizada:                                      | 200 g                                                                                                                                                                          |
| Quantidade total de caloria transformada:                           | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200 \text{ g} = 108.000 \text{ cal}$                                                                                    |
| Tempo da transformação:                                             | 32 min (32 min x 60 s = 1920 s)                                                                                                                                                |
| Potência da transformação:                                          | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1920 \text{ s} = 56,25 \text{ cal/s}$ ; ou em Joule/segundo: $56,25 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 235,125 \text{ J/s}$ |

Também cronometramos 15 min, e nesse tempo foram vaporizadas 90 g. Os dados com a turma foram:

**Tabela 2** - Turma do 2º ano do EM

| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade de água vaporizada:                          | 90 g                                                                                                                                                                  |
| Quantidade total de caloria transformada:               | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 90 \text{ g} = 48.600 \text{ cal}$                                                                             |
| Potência da transformação:                              | $P_{\text{transformação}} = 48.600 \text{ cal} / 900 \text{ s} = 54 \text{ cal/s}$ ; ou em Joule/segundo: $54 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 225,72 \text{ J/s}$ |

Depois utilizamos o secador de cabelo para intensificar a transformação. Colocamos com o secador uma temperatura de entrada de 45°C e a saída baixou para 32°C; diminuiu, portanto 13°C.

Neste dia tivemos melhores resultados porque embora a temperatura estivesse baixa (25°C) a umidade relativa do ar no dia estava em 47%, o que foi bom para a realização do experimento. Os dados com as demais turmas estão no apêndice B.

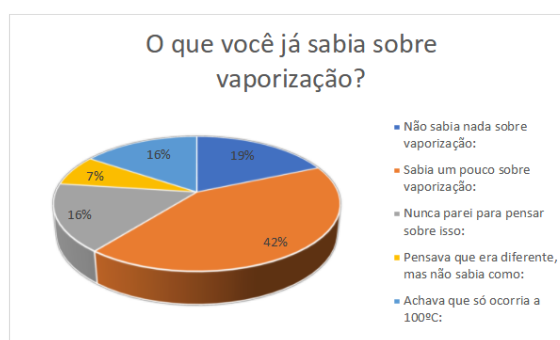
### 4.3 Análise dos resultados da aplicação do produto educacional

A aula com o CE foi aplicada em sala de aula e ao realizar o experimento os alunos foram motivados a pesquisar, e trazer para a prática o conteúdo aprendido. Foi explicado aos alunos das classes do 2º ano do EM o que acontece no processo de vaporização e porquê. Depois dialogamos sobre como esse processo acontece no CE. Todos foram convidados a observar de perto o funcionamento do CE e participar colocando a água na garrafa e observando a temperatura no termômetro e resolvendo os exercícios propostos. Eles formaram equipes, observaram a montagem das peças do CE, resolveram os exercícios sobre os fenômenos observados e participaram no experimento com empolgação.

### 4.4 Pesquisa com os alunos sobre a aula com o Cooler Evaporativo

Depois da aula prática e teórica foi feita uma pesquisa com os alunos para saber o que acharam da aula, o que já sabiam sobre o assunto, o que aprenderam de novo, e, em que acham que este conhecimento pode ajudá-los. Na pesquisa os alunos responderam às perguntas: O que você já sabia sobre vaporização? E os alunos podiam escolher cinco opções: não sabia nada sobre vaporização, sabia um pouco sobre vaporização, nunca parei para pensar sobre isso, pensava que era diferente, mas não sabia como, achava que só ocorria a 100°C. O gráfico a seguir apresenta os dados gerais da pesquisa com os alunos do 2º ano do EM sobre a aula com o CE. Sobre o que você já sabia sobre vaporização os dados foram:

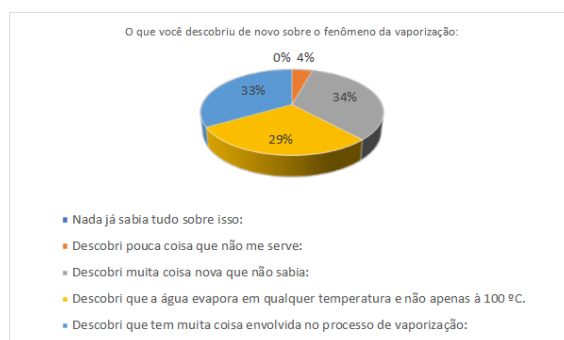
**Figura 4.20** - Pesquisa com os alunos do 2º ano do EM com os dados gerais sobre o que sabiam sobre a vaporização



Fonte: Autor.

A outra pergunta foi sobre o que descobriram de novo sobre o fenômeno da vaporização, (eles podiam marcar mais de uma opção); e as opções de respostas eram: nada, já sabia tudo sobre isso, descobri pouca coisa que não me serve, descobri muita coisa nova que não sabia, descobri que a água não evapora somente a 100°C, mas pode ocorrer vaporização em qualquer temperatura e não apenas à 100°C, descobri que tem muita coisa envolvida no processo de vaporização. Sobre o que você descobriu de novo sobre o fenômeno da vaporização os dados foram:

**Figura 4.21** - Pesquisa com os alunos do 2º ano do EM com os dados gerais sobre o que descobriram de novo com o experimento



Fonte: Autor.

Os alunos também podiam fazer comentários adicionais respondendo às perguntas: em que o CE o ajudou no entendimento do processo de vaporização? Em que você acha que o conhecimento deste fenômeno pode ser útil? O que mais você gostou de saber sobre o fenômeno da vaporização? Foram selecionados apenas alguns dos muitos comentários com algumas pequenas revisões conforme a necessidade. Esses comentários estão no Apêndice E deste trabalho. O apêndice D contém os dados da pesquisa com cada turma.

## 5. Conclusão

Relacionar os conhecimentos dos fenômenos da física com a prática não é uma tarefa fácil. Requer bastante criatividade da parte do educador. Mas, como é bom quando os alunos entendem o que está acontecendo e consegue relacionar isso com o conhecimento teórico. O experimento com o CE faz isso, porque traz para a prática o conhecimento teórico sobre o processo de vaporização. O experimento com o CE comprovou que houve transformação do calor na energia necessária para evaporação da água. O trabalho foi um incentivo ao raciocínio dos alunos e da capacidade deles de compreender essa relação, da teoria com a prática. Os alunos responderam um questionário relatando os resultados deste aprendizado e que coisas novas conseguiram aprender com o experimento. O resultado da pesquisa demonstrou que houve um bom aprendizado. Com o experimento os alunos foram motivados à curiosidade científica, e participaram no experimento. Eles foram convidados a observar de perto o funcionamento do CE, formaram equipes, observaram a montagem das peças do CE, resolveram exercícios sobre os fenômenos observados e participaram no experimento com empolgação.

O experimento com o CE é só mais um de muitos outros experimentos que podem ser realizados com alunos da educação básica para uma educação de boa qualidade que relaciona o conhecimento teórico com a prática.

## Referências Bibliográficas

APRENDENDO QUÍMICA ON-LINE. **Ligações Intermoleculares**. Osasco SP, Brasil, 2011. Disponível em: <<https://aprendendoquimicaonline.blogspot.com/search?q=pontes+de+hidrog%C3%AAnio>>. Acesso em: 11 de jul. de 2022.

AROEIRA, G. J. R. **Evaporação**. InfoEscola. [entre 2006 e 2022]. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisico-quimica/evaporacao/>>. Acesso em: 21 de dez. De 2020.

BIBLIOTECA. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. **Ficheiro. Gelo III diagrama de fases.svg**. [S. l.], 2022. Disponível em: <[https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Gelo\\_III\\_diagrama\\_de\\_fases.svg](https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Gelo_III_diagrama_de_fases.svg)>. Acesso em: 12 de ag. de 2022.

BIBLIOTECA. In: WIKIWAND: a enciclopédia livre. **Força Intermolecular**. [201?]. Disponível em: <[https://www.wikiwand.com/pt/For%C3%A7a\\_intermolecular](https://www.wikiwand.com/pt/For%C3%A7a_intermolecular)>. Acesso em: 10 de jul. de 2022.

BATISTA, C. **Forças intermoleculares**. Toda Matéria. [entre 2011 e 2022]. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/forcas-intermoleculares/>>. Acesso em: 14 de jan. de 2021.

CARDOSO, M. **Pontes de Hidrogênio**. InfoEscola. [entre 2006 e 2022]. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/pontes-de-hidrogenio/>>. Acesso em: 21 de abril de 2022.

COUTINHO, C. Q. S. **Engenharia Didática: características e seus usos em trabalhos apresentados no GT-19 / ANPEd**. Programa de Estudos Pós-graduados em Educação Matemática – PUC/SP. REVEMAT - Revista Eletrônica de Educação Matemática. UFSC: 2008. V3.6, p.62-77.

CUNHA, F. G. C. de. **Calor e energia interna**. Física Básica, Aula17, c2012. Disponível em: <[https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/11441404052012Fisica\\_Basica\\_Aula\\_17.pdf](https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/11441404052012Fisica_Basica_Aula_17.pdf)>. Acesso em: 11 de nov. de 2019.

DIAS, D. L. **O que são forças intermoleculares?** Brasil Escola. [201?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-sao-forcas-intermoleculares.htm>>. Acesso em: 14 de jan. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Moléculas apolares**. Mundo Educação. [201?]. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/moleculas-apolares.htm>>. Acesso em: 11 de jun. de 2022.

\_\_\_\_\_. **O que é vaporização?** Brasil Escola. [201?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-vaporizacao.htm>>. Acesso em: 14 de jan. de 2021.

FOGAÇA, J. R. V. **Forças dipolo induzido-dipolo induzido ou dispersão de London**. Brasil Escola. [201?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/forcas-dipolo-induzido-dipolo-induzido-ou-dispersao-london.htm>>. Acesso em: 15 de jan. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Ligações de Hidrogênio**. Manual Química. [201?]. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/ligacoes-hidrogenio.htm>> Acesso em: 15 de jan. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Ligações de Hidrogênio**; Brasil Escola. [201?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/ligacoes-hidrogenio.htm>>. Acesso em: 15 de jan. de 2021.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2**, 8<sup>o</sup>ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Rio de Janeiro, 2008.

HELERBROCK, R. **Calorimetria**. Brasil Escola. [201?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/calorimetria-i.htm>>. Acesso em: 21 de dez. De 2020.

KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. **Princípios de Transferência de Calor**. Editora Viviane Akemi Uemura. São Paulo, 2016. 7<sup>a</sup> ed. Cap. 1.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa em Revista**. Meaningful Learning Review – V1(3), pp. 25-46, Instituto de Física da UFRGS. Rio Grande do Sul, 2011.

PEDROLO, C. **Entropia**. InfoEscola. [201?]. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/entropia/>> Acesso em 19 de jan. de 2021.

SILVA, D. C. M. da. **Tensão Superficial**. PreParaEnem. [201?]. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/tensao-superficial.htm>>. Acesso em: 06 de jul. de 2022.

SILVA, A. C. S. B. da. **Simulação de resfriamento evaporativo por microaspersão d 'água**. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – Tese. PPGEC. UFSC. FLORIANÓPOLIS, SC. 2004.

SILVEIRA, F. L. da. **Umidade relativa, pressão de vapor e ponto de ebulição**. UFRGS – Porto Alegre, 2018. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=termodinamica-vaporizacao-da-agua>>. Acesso em 28 de jul. de 2020.

\_\_\_\_\_. **Diferencie ebulição de evaporação!** UFRGS – Porto Alegre, 2012. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=termodinamica-vaporizacao-da-agua>>. Acesso em 12 de jan. de 2023.

\_\_\_\_\_. **Um tema negligenciado em textos de Física Geral: a vaporização da água**. **Física na Escola**, v. 14, n. 2, 2016. UFRGS – Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<file:///C:/Users/vande/Downloads/a04.pdf>>. Acesso em: 28 de jul. de 2020.

SILVA, L. O. J. Caetano, L. C. **Água Como Substância**. Canal Escola, [2010]. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Canal-Escola/Agua-Como-Substancia-1374.html?tpl=printerview>> Acesso em 25 de mar. de 2022.



VIANA, A. **Forças intermoleculares**. VaiQuímica! [2021]. Disponível em:  
<<https://vaiquimica.com.br/forcas-intermoleculares/>>. Acesso em: 10 de jul. de 2022.

## Bibliografia recomendada

CARVALHO, A. M. P. de. **Calor e Temperatura: um ensino por investigação**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2014. 1ªed. Cap. 2.

FOGAÇA, J. R. V. **Entropia**. Mundo Educação. [201?]. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/entropia.htm>>. Acesso em: 19 de jan. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Entalpia de Formação**. Brasil Escola. [201?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/entalpia-formacao.htm>>. Acesso em: 21 de abr. de 2022.

\_\_\_\_\_. **Variação da Entalpia nas Mudanças de Estado Físico**. PreParaEnem. [201?]. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/quimica/variacao-entalpia-nas-mudancas-estado-fisico.htm>>. Acesso em: 21 de abr. de 2022.

JARBAS, H. M. et al. **Pressão parcial e a lei de dalton**. LEB-0200 - Física do Ambiente Agrícola. [201?] Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce200/Cap6.pdf>>. Acesso em: 28 de jul.de 2020.

MARTINS J. S. **Variação de entalpia na vaporização da água; derivadas parciais em Termodinâmica**. Disciplina de Termodinâmica da graduação em Física da UFF (licenciatura e bacharelado) Livro texto: Thermal Physics, D. Schroeder Página da disciplina, com acesso aberto: Rio de Janeiro, [201?] Aula 3.3.

OLIVEIRA, M. J. de. **Termodinâmica**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2012, 2ª ed. Capítulos: Cap. 1 e 2.

\_\_\_\_\_. **Princípio de Joule. Termo**. fge.if.usp. 12Ed. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://fge.if.usp.br/~oliveira/term012ed.pdf>>. Acesso em: 30 de jul. de 2020.

POMMER, W. M. A. **Engenharia Didática em sala de aula: Elementos básicos e uma ilustração envolvendo as Equações Diofantinas Lineares**. SÃO PAULO 2013. 72 p.ils.: Tabs.

SILVEIRA, F. L. da. **Termodinâmica: vaporização da água**. UFRGS – Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=termodinamica-vaporizacao-da-agua>>. Acesso em: 28 de jul. de 2020.

VAGLIATTE, R. B. **Metodologia para Medição de Dissipação de Calor**. Monografia – UFRGS – Porto Alegre, 2010.

## Apêndice A - Aulas com as turmas sobre o Cooler Evaporativo

A primeira aula com o experimento foi com a turma do 2º ano 01 do EM da manhã, nos dias 12 e 19 de maio de 2022. Depois marcamos o tempo de 15 min, (15 min x 60 s = 900 s), e analisamos a quantidade de água vaporizada para uma melhor confirmação. A Potência transformada foi calculada em caloria por segundo e depois convertido em Joule por segundo, lembrando que um Joule equivale a 4,18 calorias. Os dados com a turma foram:

**Tabela 3** - Turma do 2º ano 01 do EM

| Turma do 2º ano 01 do EM da manhã, nos dias 12 e 19 de maio de 2022 |                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 60%                                                                                                                                                                      |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | 20,5°C                                                                                                                                                                   |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | 18°C                                                                                                                                                                     |
| Diminuição da temperatura:                                          | 2,5°C                                                                                                                                                                    |
| Quantidade de água vaporizada:                                      | 200 g                                                                                                                                                                    |
| Quantidade total de caloria transformada:                           | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200 \text{ g} = 108.000 \text{ cal}$                                                                              |
| Tempo da transformação:                                             | 30 min (30 min x 60 s = 900 s)                                                                                                                                           |
| Potência da transformação:                                          | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1800 \text{ s} = 60 \text{ cal/s}$ ; ou em Joule / segundo: $60 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 250,8 \text{ J/s}$ |

Com o tempo marcado de 15 min, (ou 15min x 60 s = 900 s) os dados com a turma foram:

**Tabela 4** - Turma do 2º ano 01 do EM

| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| Quantidade de água vaporizada:                          | 110 g |

|                                           |                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade total de caloria transformada: | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 110 \text{ g} = 59.400 \text{ cal}$                                                                              |
| Potência da transformação:                | $P_{\text{transformação}} = 59.400 \text{ cal} / 900 \text{ s} = 66 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $66 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 275,88 \text{ J/s}$ |

A segunda aula com o experimento foi com a turma do 2º ano 04 do EM à tarde, nos dias 12 e 13 e 20 de maio de 2022. Os dados com a turma foram:

**Tabela 5** - Turma do 2º ano 04 do EM

|                                                                     |                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Turma do 2º ano 04 do EM da manhã, nos dias 12 e 19 de maio de 2022 |                                                                                                                                                                           |
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 55%                                                                                                                                                                       |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | 24°C                                                                                                                                                                      |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | 21°C                                                                                                                                                                      |
| Diminuição da temperatura:                                          | 3°C                                                                                                                                                                       |
| Quantidade de água vaporizada:                                      | 200 g                                                                                                                                                                     |
| Quantidade total de caloria transformada:                           | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200 \text{ g} = 108.000 \text{ cal}$                                                                               |
| Tempo da transformação:                                             | 25 min (25 min x 60 s = 1500 s)                                                                                                                                           |
| Potência da transformação:                                          | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1500 \text{ s} = 72 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $72 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 300,96 \text{ J/s}$ |

Com o tempo marcado de 15 min, (ou 15min x 60 s = 900 s) os dados da turma foram:

**Tabela 6** - Turma do 2º ano 04 do EM

|                                                         |                                                                                |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |                                                                                |
| Quantidade de água vaporizada:                          | 110 g                                                                          |
| Quantidade total de caloria transformada:               | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 110 \text{ g} = 59.400$ |

|                            |                                                                                                                                                                         |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | cal                                                                                                                                                                     |
| Potência da transformação: | $P_{\text{transformação}} = 59.400 \text{ cal} / 900 \text{ s} = 66 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $66 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 275,88 \text{ J/s}$ |

Depois utilizamos o secador de cabelo para intensificar a transformação. Colocamos com o secador uma temperatura de entrada de  $39,5^{\circ}\text{C}$  e a saída baixou para  $32^{\circ}\text{C}$ ; diminuiu, portanto  $7^{\circ}\text{C}$ .

A terceira aula com o experimento foi com a turma do 2º ano 03 do EM à tarde, nos dias 12 e 20 de maio de 2022. Os dados com a turma foram:

**Tabela 7** - Turma do 2º ano 03 do EM

| Turma do 2º ano 03 do EM da manhã, nos dias 12 e 20 de maio de 2022 |                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 47%                                                                                                                                                                           |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | $25^{\circ}\text{C}$                                                                                                                                                          |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | $21^{\circ}\text{C}$                                                                                                                                                          |
| Diminuição da temperatura:                                          | $4^{\circ}\text{C}$                                                                                                                                                           |
| Quantidade de água vaporizada:                                      | 200 g                                                                                                                                                                         |
| Quantidade total de caloria transformada:                           | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200 \text{ g} = 108.000 \text{ cal}$                                                                                   |
| Tempo da transformação:                                             | 32 min (32 min x 60s. =1920 s)                                                                                                                                                |
| Potência da transformação:                                          | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1920 \text{ s} = 56,25 \text{ cal/s};$ ou em Joule/segundo: $56,25 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 235,125 \text{ J/s}$ |

Também cronometramos 15 min, e nesse tempo foram vaporizadas 90 g. Os dados com a turma foram:

**Tabela 8** - Turma do 2º ano 03 do EM

|                                                         |
|---------------------------------------------------------|
| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |
|---------------------------------------------------------|

|                                           |                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade de água vaporizada:            | 90 g                                                                                                                                                                    |
| Quantidade total de caloria transformada: | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 90 \text{ g} = 48.600 \text{ cal}$                                                                               |
| Potência da transformação:                | $P_{\text{transformação}} = 48.600 \text{ cal} / 900 \text{ s} = 54 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $54 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 225,72 \text{ J/s}$ |

Depois utilizamos o secador de cabelo para intensificar a transformação. Colocamos com o secador uma temperatura de entrada de 45 °C e a saída baixou para 32 °C; diminuiu, portanto 13 °C.

A quarta aula com o experimento foi com a turma do 2º ano 05 do EM da noite, nos dias 12 e 13 20 de maio de 2022. Os dados com a turma foram:

**Tabela 9** - Turma do 2º ano 05 do EM

| Turma do 2º ano 05 do EM da manhã, nos dias 12 e 20 de maio de 2022 |                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 45%                                                                                                                                                                      |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | 22,5°C                                                                                                                                                                   |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | 20°C                                                                                                                                                                     |
| Diminuição da temperatura:                                          | 2,5°C                                                                                                                                                                    |
| Quantidade de água vaporizada:                                      | 200 g                                                                                                                                                                    |
| Quantidade total de caloria transformada:                           | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200 \text{ g} = 108.000 \text{ cal}$                                                                              |
| Tempo da transformação:                                             | 30 min (30 min x 60 s = 1800 s)                                                                                                                                          |
| Potência da transformação:                                          | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1800 \text{ s} = 60 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $60 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 250,8 \text{ J/s}$ |

Também cronometramos 15 min, e nesse tempo foram vaporizadas 90 g. Os dados com a turma foram:

**Tabela 10** - Turma do 2º ano 05 do EM

| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade de água vaporizada:                          | 100 g                                                                                                                                                                  |
| Quantidade total de caloria transformada:               | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 100 \text{ g} = 54.000 \text{ cal}$                                                                             |
| Potência da transformação:                              | $P_{\text{transformação}} = 54.000 \text{ cal} / 900 \text{ s} = 60 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $60 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 250,8 \text{ J/s}$ |

Depois utilizamos o secador de cabelo para intensificar a transformação. Colocamos com o secador uma temperatura de entrada de 40°C e a saída baixou para 26°C; diminuiu, portanto 14°C.

A quinta aula com o experimento foi com a turma do 2º ano 06 do EM da noite, nos dias 12 de maio de 2022. Os dados com a turma foram:

**Tabela 11** - Turma do 2º ano 06 do EM

| Turma do 2º ano 06 do EM da manhã, nos dias 12 e 20 de maio de 2022 |                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 70%                                                                                                                                     |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | 21,5°C                                                                                                                                  |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | 20°C                                                                                                                                    |
| Diminuição da temperatura:                                          | 1,5°C                                                                                                                                   |
| Quantidade de água vaporizada:                                      | 200 g                                                                                                                                   |
| Quantidade total de caloria transformada:                           | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200 \text{ g} = 108.000 \text{ cal}$                                             |
| Tempo da transformação:                                             | 18 min (18 min x 60 s = 1080 s)                                                                                                         |
| Potência da transformação:                                          | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1080 \text{ s} = 100 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $100 \text{ cal} \times$ |

|  |                  |
|--|------------------|
|  | 4,18 J = 418 J/s |
|--|------------------|

Também cronometramos 15 min, e nesse tempo foram vaporizadas 90 g. Os dados com a turma foram:

**Tabela 12** - Turma do 2º ano 06 do EM

| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade de água vaporizada:                          | 110 g                                                                                                                                                                   |
| Quantidade total de caloria transformada:               | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 110\text{g} = 59.400 \text{ cal}$                                                                                |
| Potência da transformação:                              | $P_{\text{transformação}} = 59.400 \text{ cal} / 900 \text{ s} = 60 \text{ cal/s};$<br>ou em Joule/segundo: $66 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 275,88 \text{ J/s}$ |

Depois utilizamos o secador de cabelo para intensificar a transformação. Colocamos com o secador uma temperatura de entrada de 35°C e a saída baixou para 35°C; diminuiu, portanto 5°C.

A sexta aula com o experimento foi com a turma do 2º ano 08 do EM da noite, nos dias 13 e 27 de maio de 2022. Os dados com a turma foram:

**Tabela 13** - Turma do 2º ano 08 do EM

| Turma do 2º ano 06 do EM da manhã, nos dias 12 e 20 de maio de 2022 |                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 70%                                                                           |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | 22°C                                                                          |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | 20°C                                                                          |
| Diminuição da temperatura:                                          | 2°C                                                                           |
| Quantidade de água vaporizada:                                      | 200 g                                                                         |
| Quantidade total de caloria transformada:                           | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200\text{g} = 108.000$ |



|                            |                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | cal                                                                                                                                                                    |
| Tempo da transformação:    | 30 min (18 min x 60s. =1800 s                                                                                                                                          |
| Potência da transformação: | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1800 \text{ s} = 60 \text{ cal/s}$ ; ou em Joule/segundo: $60 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 250,8 \text{ J/s}$ |

Também cronometramos 15 min, e nesse tempo foram vaporizadas 90g. Os dados com a turma foram:

**Tabela 14** - Turma do 2º ano 08 do EM

| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade de água vaporizada:                          | 90 g                                                                                                                                                            |
| Quantidade total de caloria transformada:               | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 90 \text{ g} = 48.600 \text{ cal}$                                                                       |
| Potência da transformação:                              | $P_{\text{transf.}} = 48.600 \text{ cal} / 900 \text{ s} = 60 \text{ cal/s}$ ; ou em Joule/segundo: $54 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 225,72 \text{ J/s}$ |

Depois utilizamos o secador de cabelo para intensificar a transformação. Colocamos com o secador uma temperatura de entrada de 37°C e a saída baixou para 30°C; diminuiu, portanto 7°C.

A sétima aula com o experimento foi com a turma do 2º ano 07 do EM da noite, nos dias 13 e 20 de maio de 2022. Os dados com a turma foram:

**Tabela 15** - Turma do 2º ano 07 do EM

| Turma do 2º ano 07 do EM da manhã, nos dias 13 e 20 de maio de 2022 |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| Umidade relativa do ar no dia:                                      | 70%  |
| Temperatura ambiente no dia:                                        | 22°C |
| Temperatura do ar na saída do CE:                                   | 20°C |
| Diminuição da temperatura:                                          | 2°C  |

|                                           |                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade de água vaporizada:            | 200 g                                                                                                                                                                  |
| Quantidade total de caloria transformada: | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 200 \text{ g} = 108.000 \text{ cal}$                                                                            |
| Tempo da transformação:                   | 30 min (18 min x 60 s = 1800 s)                                                                                                                                        |
| Potência da transformação:                | $P_{\text{transformação}} = 108.000 \text{ cal} / 1800 \text{ s} = 60 \text{ cal/s}$ ; ou em Joule/segundo: $60 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 250,8 \text{ J/s}$ |

Também cronometramos 15 min, e nesse tempo foram vaporizadas 90 g. Os dados com a turma foram:

**Tabela 16** - Turma do 2º ano 07 do EM

| Cálculos com a quantidade de água vaporizada em 15 min. |                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quantidade de água vaporizada:                          | 100 g                                                                                                                                                        |
| Quantidade total de caloria transformada:               | $Q_{\text{cal. transformada}} = 540 \text{ cal} \times 100 \text{ g} = 54.000 \text{ cal}$                                                                   |
| Potência da transformação:                              | $P_{\text{transformação}} = 54.000 \text{ cal} / 900\text{s} = 60 \text{ cal/s}$ ; ou em Joule/s: $60 \text{ cal} \times 4,18 \text{ J} = 250,8 \text{ J/s}$ |

Depois utilizamos o secador de cabelo para intensificar a transformação. Colocamos com o secador uma temperatura de entrada de 37°C e a saída baixou para 30°C; diminuiu, portanto 7°C.

## Apêndice B - Comentários dos alunos sobre a aula com o Cooler Evaporativo

Também foram elaboradas algumas perguntas com espaços para comentários adicionais. Aqui estão selecionados os comentários com pequenas correções nas expressões conforme a necessidade. Muitos comentários foram repetidos por outros alunos, e onde há reticências “...” foram omitidas palavras desnecessárias ou confusas; mas fez-se o possível para preservar as palavras dos alunos.

Em, “Comentários adicionais”, (nas palavras dos alunos) as expressões são: “gostei da aula prática, nos ajuda a vermos pessoalmente o que estudamos na prática; eu achei a física meio difícil de entender mais agora me deu para entender um pouco mais; foi muito interessante aprender coisas novas que eu nem imaginava que poderia acontecer; eu realmente não sabia como funcionava, achei muito interessante; achei interessante e de melhor entendimento a forma que o senhor fez o experimento; foi muito legal; achei extremamente inovador, um experimento para o conhecimento da vida; descobri muitas coisas usuais para o meu cotidiano; achei muito interessante o método de ensino adotado; achei muito legal o experimento e poderia fazer mais; achei o experimento muito legal e bem produtivo aprender sobre... poderia fazer mais experimento desse tipo; muito top; quero mais experiências assim...; gostei bastante da aula foi uma experiência nova e gostei que saímos da teoria e fomos para a prática; gostei da aula; a aula prática ajudou muito para que conseguíssemos entender melhor o processo de vaporização; bem massa! Senti a energia!”

Na pergunta, em que o Cooler Evaporativo o ajudou no entendimento do processo de vaporização, os comentários foram: “a entender que a vaporização não ocorre somente a 100°C; na minha opinião aulas práticas são mais fáceis de serem entendidas; na prática fica mais fácil entender o assunto; ficou mais simples entender; acredito que aulas práticas ajudam mais a atrair a atenção dos alunos; ajudou para compreender o passo a passo da vaporização; ajudou bastante e me servirá bastante mais pra frente; ajudou muito a descobrir coisas novas sobre esse processo; ajudou pois foi coisa nova, uma aula diferente assim faz nós alunos prestarmos mais atenção; ajudou a entender como funcionava; o aparelho reduz a temperatura do ambiente a partir de um processo de vaporização da água; ajuda a entender como funciona o processo para chegar na vaporização; ele ajudou a entender como ocorre a vaporização; que vaporização ocorre por vários outros motivos além dos 100°C; sim porque foi uma aula prática, é mais fácil de aprender...; como funciona a evaporação; ele era utilizado para maior

entendimento, para se perceber o ar passando, sobre o processo de vaporização, ter uma perspectiva maior; ajudou a entender sobre transformação e também ajudou a entender que a água precisa somente de calor para vaporizar e não necessariamente estar a 100°C; foi de extrema utilidade para o meu aprendizado; sim com certeza foi muito útil; a entender várias coisas, principalmente sobre vaporização; nos mostrou melhor o que estava acontecendo e o que acontece; que a umidade alta não ajuda a fazer a vaporização e quando a umidade estiver seca (baixa) é melhor em fazer esse processo; ajudou a entender mais sobre o processo de vaporização e que a umidade não ajuda muito no processo; nos deu uma visão direta do estava acontecendo; o Cooler me ajudou a entender o processo; entendi que não funciona muito bem se a umidade estiver muito alta, algo que eu não sabia; que a água não precisa chegar a 100°C para vaporizar; no Cooler acontece o principal foco de vaporização; que não precisa estar quente para a vaporização, e que só o vento já pode fazer isso; o Cooler me ajudou a compreender melhor como funciona o processo de vaporização; ajudou de forma que consigo ver como ocorre esse processo; que com a umidade alta não ajuda na vaporização e quanto mais seco o ar melhor e ajuda nesse processo.”

Na pergunta, em que você acha que o conhecimento deste fenômeno pode ser útil, as respostas foram: “pode ser útil para futuras experiências na vida, pois aprendemos melhor como funciona; pode ser útil no dia-a-dia; para desenvolver novas técnicas de desenvolvimento para o dia-a-dia; nos ajuda a entender mais sobre as propriedades da água e pode ser usado em experimentos futuros; para usar em situações de calor; que posso fazer um Cooler para esfriar em casa, fácil e barato; para secar algo molhado; ele pode ser usado para esfriar o ambiente e secar roupas; para esfriar algo ou secar; evaporar água, mudar a temperatura; eu acho que é essencial para o conhecimento; na construção do ar-condicionado...;...higienização...; para várias coisas; todo conhecimento é útil pois para mim ajudou em algum momento da minha vida principalmente em atividades; para saber mais sobre os estados físicos da água;...percebemos com mais clareza sobre este processo, paramos e analisamos; para termos um melhor conhecimento de como funciona esse processo;...existem muitas delas mas umas das utilidades é saber quanto precisa para evaporar 1 grama de água; pode ser útil para diversas coisas; ajuda a entender como alguns processos físicos ocorrem; a entender melhor a física; ajuda no conhecimento sobre a física e como as coisas acontecem; pode ser útil para saber como ocorre o processo de umidade no ambiente...; para descobrir outra forma de vaporizar a água; para fazer novos experimentos;...pode ser útil para criar sistemas de resfriamento de ambientes... entender sobre energia e temperatura, controle de temperatura; em muitas coisas.”

Na pergunta, o que mais você gostou de saber sobre o fenômeno da vaporização, as respostas foram: “de como ocorre o processo; o tempo levado, energia usada, quantidade vaporizada; gostei de sentir o ar gelado saindo da garrafa sendo que no outro lado tinha ar quente; eu gostei mais de quando o ar saiu gelado mesmo o vento ser quente; que a umidade interfere no processo de vaporização; gostei da montagem, muito bem-feita, pois descobrimos que o vento quente... resulta em um vento geladinho; que a água não evapora somente a 100°C; ...quando ficou pingando da garrafa e quando o secador estava ligado mas estava saindo vento frio; que a umidade interfere no processo de vaporização; que a vaporização pode ocorrer em qualquer temperatura; que tem muitas outras coisas que eu não sabia nesse processo; eu gostei de saber do tema Calorimetria; que dá para fazer uma plataforma de isopor para fazer a vaporização; foi muito interessante saber sobre esse fenômeno e muito divertido essa interação com a sala; goste de tudo; como funciona; que a água evapora não somente a 100°C e que pode ocorrer sem que o corpo esteja no calor latente; gostei de ver o experimento; gostei, aprendi mais coisas que posso usar no meu dia-a-dia; ...com o que o professor trouxe pude ver melhor o que acontece rapidamente na minha frente; os cálculos; gostei de tudo desde o teórico até a prática; o experimento feito em sala de aula; como é possível resfriar apenas vaporizando a água; gostei de saber que o conhecimento é mais útil do que eu pensava e pode ser útil no dia-a-dia; tudo, superinteressante esse assunto; descobri que tem muita coisa envolvida no processo de vaporização; gostei de saber como a transição de vaporização ocorre; que a água não evapora somente a 100°C e que é possível resfriar um pequeno espaço com algo tão simples; que um Cooler simples consegue esfriar rapidamente; gostei de aprender como funciona o Cooler Evaporativo...de conhecer as calorias necessárias para a vaporização da água”.

## Apêndice C - Folha dos exercícios de cálculos sobre o calor transformado no Cooler Evaporativo

**Figura A.22** - Folha dos exercícios de cálculos sobre o calor transformado no CE

Exercícios de cálculos com dados do Cooler Evaporativo (CE):

Data: ...../...../2022

Alunos:..... Turma: 2º ano .....

1) Quanto calor será transformado no CE se 200 gramas de água forem evaporados? Qual será a Potência da transformação em cal/seg., e em Joule/ seg., supondo que a quantidade de calor transformado no (CE) seja constante nesse tempo? (Lembrando que: 1 Kg = 1Litro, e 1g = 1 ml)

$$Q . \text{Calor transformado} = \frac{540 \text{ cal}}{g} = \frac{x \text{ cal}}{200 g}$$

$$X \text{ cal} = 200 g \times 540 \text{ cal} \rightarrow X \dots\dots\dots \text{ cal}$$

Em Joule: ..... x 4,18 = ..... J

Para calcular a Potência transformada ( $P = Q/\Delta t$ ) precisamos saber em quanto tempo as 200g foram transformadas.

Exemplo: Se for em 30 min. (30 min x 60 = 1.800 seg.) então teremos:

$$P_{\text{transformada}} = \frac{108.000 \text{ cal}}{1.800 \text{ s}}$$

$P_{\text{transformada}} = 60 \text{ cal/s}$ , em Joule serão:  $60 \times 4,18 = 250,8 \text{ J/s}$

Quanto tempo levou? Levou.....min.

$$P_{\text{transformada}} = \frac{108.000 \text{ cal}}{\dots\dots\dots \text{ s}}$$

$P_{\text{transformada}} = \dots\dots\dots \text{ cal/s}$ , em Joule serão: ..... x 4,18 = ..... J/s

1) 2) Vamos verificar quantas gramas serão transformadas em 15 min (15 min x 60 = 900 seg.) no (CE):  
Em 15 min (15 min x 60 = 900seg.) quantos ml serão vaporizados e quanto calor será transformado no (CE), e qual será a Potência transformada?

$$\frac{540 \text{ cal}}{g} = \frac{X \text{ cal}}{\dots\dots\dots g}$$

$$X \text{ cal.g} = 540 \text{ cal} \times \dots\dots\dots \text{gramas} = \dots\dots\dots \text{cal}$$

$$P_{\text{transformada}} = \frac{\dots\dots\dots \text{cal}}{900 \text{ seg}}$$

$$P_{\text{transformada}} = \dots\dots\dots \text{ cal/s, em Joule serão: } \dots\dots\dots \times 4,18$$

$$= \dots\dots\dots \text{J/s}$$

Fonte: Autor.

# Apêndice D - Folha da pesquisa com os alunos sobre a aula com o Cooler Evaporativo

**Figura A.23** - Folha da pesquisa com os alunos sobre a aula com o CE

PERGUNTAS DA AULA SOBRE CALOR DE VAPORIZAÇÃO

Data: ...../...../2022  
Aluno:..... Turma: 2º ano .....

1. O que você já sabia sobre vaporização?  
Resposta:  
A. ( ) Não sabia nada sobre vaporização;  
B. ( ) Sabia um pouco sobre vaporização;  
C. ( ) Nunca parei para pensar sobre isso;  
D. ( ) Pensava que era diferente, mas não sabia como;  
E. ( ) Achava que só ocorria a 100°C.

2. O que você descobriu de novo sobre o fenômeno da vaporização. (Pode marcar mais de uma opção)  
Resposta:  
A. ( ) Nada já sabia tudo sobre isso;  
B. ( ) Descobri pouca coisa que não me serve;  
C. ( ) Descobri muita coisa nova que não sabia;  
D. ( ) Descobri que a água evapora em qualquer temperatura e não apenas à 100 °C.  
E. ( ) Descobri que tem muita coisa envolvida no processo de vaporização.

Comentários adicionais:  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3. Em que o Cooler Evaporativo o ajudou no entendimento do processo de vaporização:  
Resposta:  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

4. Em que você acha que o conhecimento deste fenômeno pode ser útil?  
Resposta:  
.....  
.....  
.....



.....  
.....  
.....  
.....  
.....

5. O que mais você gostou de saber sobre o fenômeno da vaporização?

Resposta:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Fonte: Autor.

## Apêndice E - Produto didático

**Figura A.24** - O produto educacional, parte frontal

CE de frente



Fonte: Autor.

**Figura A.25** - O produto educacional de lado

CE de lado



Fonte: Autor.

## Apêndice F – Fotos do Cooler Evaporativo

Figura A.26 - Foto do CE montado



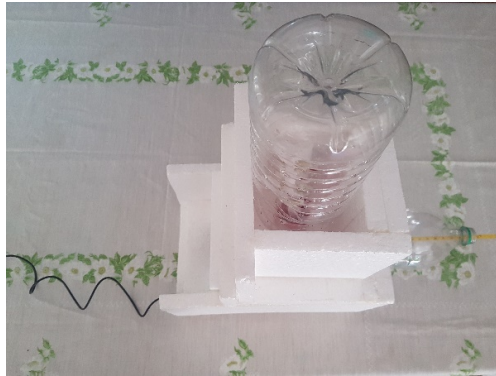
Fonte: Autor.

Figura A.27 - Foto da parte de trás do CE, por onde entra o ar quente e seco



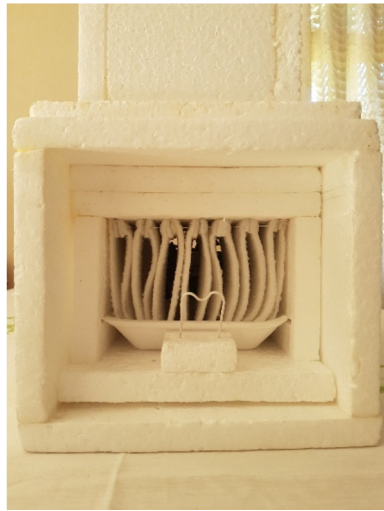
Fonte: Autor.

**Figura A.28** - Foto da parte de cima do CE, por onde entra a água que vaporizará



Fonte: Autor

**Figura A.29** - Foto da parte frontal do CE, por onde sai ar mais fresco



Fonte: Autor.

**Figura A.30** - Foto da parte frontal, por onde sai ar mais fresco com a tampa e termômetro



Fonte: Autor.

**Figura A.31** - Foto das colmeias de pano que é encaixada no CE



Fonte: Autor.

**Figura A.32** - Foto das peças do CE



Fonte: Autor.

## Anexo A - Calor latente de vaporização de algumas substâncias (Cal/g)

Figura A.33 - Tabelas de Calor Latente de Vaporização de algumas substâncias (Cal/g)

| Substância | Calor latente de vaporização (cal/g) |
|------------|--------------------------------------|
| água       | 540                                  |
| álcool     | 204                                  |
| cobre      | 1288                                 |
| chumbo     | 209                                  |
| enxofre    | 78                                   |
| ferro      | 1508                                 |

| Substância | Calor latente de vaporização (cal/g) |
|------------|--------------------------------------|
| hidrogênio | 108                                  |
| mercúrio   | 70                                   |
| nitrogênio | 48                                   |
| ouro       | 376                                  |
| oxigênio   | 51                                   |
| prata      | 559                                  |
| zinco      | 475                                  |

Fonte site: [http://geocities.yahoo.com.br/galileon/2/termo/mud\\_est.htm](http://geocities.yahoo.com.br/galileon/2/termo/mud_est.htm). Prof. Luciano Massa

