

Protótipo de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar: sequência didática e interações teórico-práticas

Low-Cost Prototype for Air Quality Monitoring: Didactic Sequence and Theoretical-Practical Interactions

Recebido: 04/09/2023 | **Revisado:**
25/07/2024 | **Aceito:** 25/07/2024 |
Publicado: 08/09/2025

Gustavo de Novaes Pires Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5147-3498>

Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia de Pernambuco, Campus Recife
E-mail: gustavonovaes@recife.ifpe.edu.br

Noelle D'Emery Gomes Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8692-580X>

Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia de Pernambuco, Campus
Garanhuns
E-mail: noellesilva@recife.ifpe.edu.br

Marcos Antônio Pessoa Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0773-9479>

Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia de Pernambuco, Campus
Garanhuns
E-mail: marcos.leite@garanhuns.ifpe.edu.br

Como citar: LEITE, G. N. P.; SILVA, N. D. G.; LEITE, M. A. P. Protótipo de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar: sequência didática e interações teórico-práticas. *Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica*, [S.l.], v. 03, n. 25, p.1-22 e16045, set. 2025. ISSN 2447-1801. Disponível em: <Endereço eletrônico>.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Resumo

A qualidade do ar interior afeta diretamente o conforto térmico e a saúde dos ocupantes em ambientes climatizados. A psicrometria estuda as propriedades físicas do ar úmido, mas a compreensão das suas nem sempre são eficazes devido à necessidade de abstração. Um produto educacional com instrumentação de baixo custo foi desenvolvido para mensurar os parâmetros da qualidade do ar interior, como temperatura, umidade, concentração de CO₂. Também foi proposta uma sequência didática baseada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para dinamizar a aprendizagem da temática de conforto térmico e avaliação da qualidade do ar interior, mas que pode também ser aplicada a outras disciplinas técnicas das áreas de física, mecânica e eletrônica.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa; prototipagem de baixo custo; QAI; atividade experimental; sequência didática

Abstract

Indoor air quality directly affects the thermal comfort and health of occupants in climatized environments. Psychrometry studies the physical properties of humid air, but understanding these properties is not always effective due to the need for abstraction. An educational product with low-cost instrumentation was developed to measure indoor air quality parameters such as temperature, humidity, and CO₂ concentration. A didactic sequence based on Ausubel's theory of meaningful learning was also proposed to enhance the learning of thermal comfort and indoor air quality assessment. This sequence can also be applied to other technical disciplines in the fields of physics, mechanics, and electronics.

Keywords: Meaningful learning; low-cost instrumentation; IAQ; Experimental Activity; didactic Sequence

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico das pessoas em ambientes condicionados é garantido pelo controle qualidade do ar interior (QAI) que envolve, dentre outros, o controle simultâneo da temperatura, da umidade, da movimentação do ar e da renovação do ar. A QAI é o termo usado para estabelecer condições do ar interno livre de contaminantes em um ambiente limpo, saudável e sem odores, com o objetivo de garantir a saúde dos ocupantes dos recintos climatizados (American Society of Heating, 2013; Creder, 2004; Nicklas *et al.*, 2016).

O estudo dos parâmetros de QAI é realizado a partir da análise das equações da psicrometria, que é o ramo da ciência que utiliza as propriedades físicas e termodinâmicas para analisar as condições e processos térmicos envolvendo o ar úmido (mistura entre o vapor de água e ar atmosférico), tratando-se de uma aplicação da física, o que traz a complexidade desta disciplina (American Society Of Heating, 2013).

Neste trabalho busca-se enriquecer o conhecimento dos alunos acerca dos conceitos teóricos da QAI e como eles são aplicados na prática, de forma mais significativa, dinâmica e contextualizada. São apresentados o desenvolvimento e implementação de um aparato experimental de baixo custo, através do uso da plataforma Arduino para avaliar a QAI e uma proposta da sequência didática para uso do produto educacional proposto. De maneira aplicada, este projeto busca promover a aprendizagem significativa dos alunos com relação aos parâmetros e propriedades da QAI (Tavares, Cristiano, 2019). Por ser um assunto multidisciplinar vários cursos podem se beneficiar das contribuições desse trabalho, dentre eles técnico de climatização e refrigeração, engenharia mecânica, engenharia ambiental e arquitetura.

Para desenvolver metodologias eficazes para o processo de aprendizagens dos discentes, a proposta deste trabalho está embasada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que enfatiza a aprendizagem como produto da ampliação progressiva do conhecimento prévio dos discentes juntamente com a ressignificação ou releitura integradora desse conhecimento (moreira, 2000). A teoria da aprendizagem significativa desenvolvida por David Ausubel, é uma teoria cognitivista, e procura explicar a relação do assunto a ser aprendido e a estruturação prévia do conhecimento ou experiências vivenciadas (subsunção), em que a aula prática/expositiva deve ser valorizada. Nas aulas Práticas realizadas em laboratórios, os alunos têm a oportunidade de aplicar o conhecimento teórico vistos em aula, complementando e enriquecendo o conhecimento sobre os temas abordados na disciplina (Silva *et al.*, 2019).

Para David Ausubel, o processo de aprendizagem ocorre quando o indivíduo consegue conectar/relacionar o novo conhecimento com o preexistente (subsunções) na sua estrutura cognitiva, ou seja, novos conhecimentos interagem com os subsunções e assim são incluídos na estrutura cognitiva. Através das sucessivas interações, subsunções adquirem progressivamente novos significados, modificam, ficam mais elaborados, densos e ricos em significado e o novo conhecimento se torna um subsunção para um novo aprendizado. Assim, a aprendizagem significativa representa um processo progressivo/contínuo, pessoal, intencional, ativo, dinâmico,

interacional (entre informação e conhecimento prévio) que produz conhecimento rico e estável (Agra *et al.*, 2019; Moreira, 2000; Silva *et al.*, 2019).

Para que a aprendizagem significativa aconteça é necessário que o docente identifique os subsunçores, o discente tenha interesse de aprender e que exista material didático potencialmente significativo (seja logicamente e psicologicamente significativo). Laburú e seus colaboradores (Laburú; Barros; Silva, 2011, p. 479) afirmam que “É na possibilidade de transformar o significado lógico em psicológico que a aprendizagem se torna potencialmente significativa”.

É nesse sentido que se encaixam as sequências didáticas, que representam um conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas para que o entendimento do conteúdo ou tema proposto seja alcançado pelos discentes (Franco, 2018; Trentin; Rosa; Silva, 2018). As sequências didáticas são aplicadas em vários campos, como eletrônica analógica (Tavares,; Zanetti Neto, 2023), eletricidade (Motta; Santos, 2021) e ótica (Tavares, A.; Silva; Chesman, 2022). O presente trabalho propõe uma sequência didática no domínio da psicometria.

O trabalho está organizado da seguinte maneira, na Seção 2 é apresentada a fundamentação teórica sobre a psicometria. Na Seção 3 são apresentados o aparato experimental e a sequência didática proposta. Os resultados e discussões da aplicação da sequência didática são apresentados na Seção 4 e as conclusões são detalhadas na Seção 5.

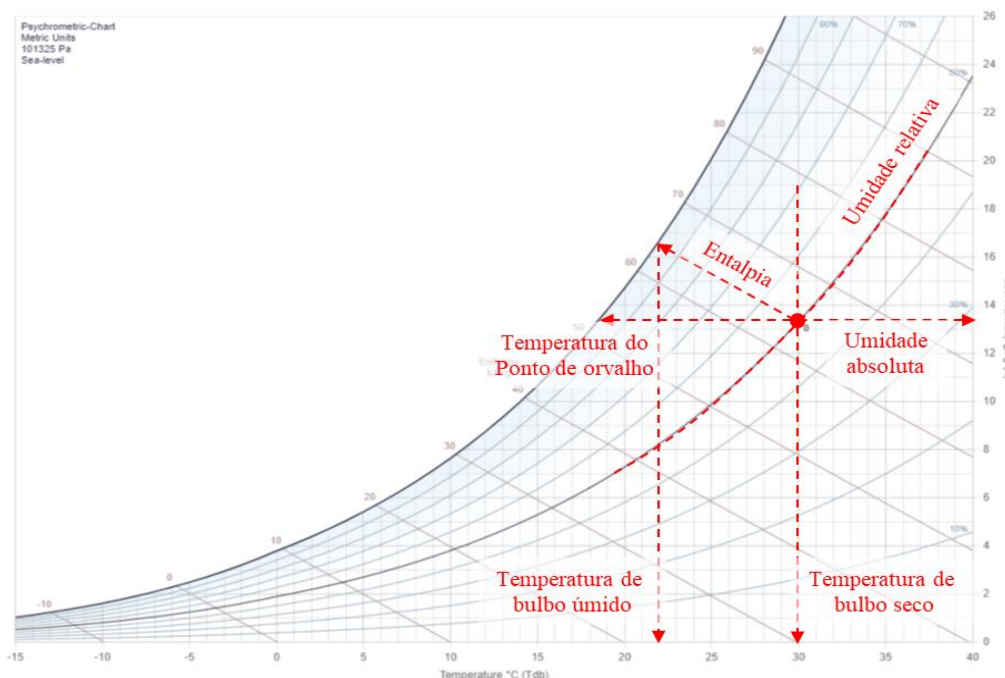
2 PSICROMETRIA: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na psicometria são estudadas sete propriedades do ar úmido e as suas relações podem ser obtidas por equações, ou através da carta psicrométrica (Figura 1), ou a combinação das duas metodologias. O estado do ar úmido é determinado inicialmente pela pressão atmosférica total (P) do local estudado, e de pelo menos duas outras propriedades das sete propriedades do ar úmido, descritas a seguir (American Society Of Heating, 2013; Brandt; ASHRAE, 2016; Creder, 2004):

1. Temperatura de bulbo seco (T_{db});
2. Temperatura de bulbo úmido (T_{wb});
3. Temperatura do ponto de orvalho (T_{dp});
4. Umidade relativa (p);
5. Umidade absoluta (ou taxa de umidade) (W);
6. Entalpia (h);
7. Volume específico (v).

A carta psicrométrica, Figura 1, é suficiente para fornecer propriedades instantâneas e completas de um estado para o ar úmido. Conhecendo duas das sete propriedades psicrométricas do estado do ar úmido é possível determinar as outras cinco propriedades a partir do gráfico (American Society Of Heating, 2013; Brandt; ASHRAE, 2016; Creder, 2004). Através do cruzamento das duas propriedades conhecidas a condição do ar úmido é definida e, através deste estado, é possível extrair da carta psicrométrica as outras propriedades do estado do ar úmido estudado. As grandezas psicrométricas são apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Exemplo de uma carta psicrométrica



Fonte: Adaptado de <https://www.psych-chart.com/>. Acessado em 14/06/2023.

O ensino da psicrometria é realizado tanto no nível técnico, no curso de climatização e refrigeração, como no nível superior, nos cursos de engenharia mecânica e arquitetura. Nos cursos superiores, utiliza-se as equações das leis de conservação de massa e energia para definir as propriedades e os processos psicrométricos do ar úmido, e manuseia-se a carta psicrométrica como suporte didático deste conhecimento. Porém para o nível técnico, apenas a carta psicrométrica é utilizada, pois é possível transmitir o conhecimento sem a necessidade de se aprofundar nas equações da física do problema.

Na utilização da carta, primeiramente ela é apresentada aos alunos para que entendam como ela funciona, qual curva representa cada uma das suas sete propriedades, como são identificados os estados e os processos psicrométricos a serem estudados e analisados. Só após esse conhecimento ser realmente absorvido, se tornando um subsunçor na sua estrutura cognitiva, que é possível utilizar ferramentas online¹ da carta psicrométrica para ser empregadas em outras aplicações e assim possibilitar uma aprendizagem significativa.

Ao estudar a psicrometria por equações termodinâmicas, no ensino de nível superior, é possível obter as propriedades psicrométricas do ar úmido analisado com maior precisão e desenvolver aplicações na área de automação de sistemas de refrigeração e ar condicionado, por exemplo. As propriedades do ar úmido que são amplamente estudadas na psicrometria serão descritas e as equações utilizadas

¹ Disponível em <https://www.psych-chart.com/> ou <https://www.flycarpet.net/en/psyonline>. Acessado em 22/07/2023.

serão apresentadas. Todas as equações que serão descritas a seguir foram extraídas de ASHRAE (2013) (American Society Of Heating, 2013).

A seguir serão descritas as equações das propriedades do ar úmido que são utilizadas no ensino da psicrometria, mostrando assim a complexidade das equações e a dificuldade de uma aprendizagem significativa, tanto para o nível técnico como para o nível superior.

2.1 PRESSÃO DE VAPOR (p_w)

É a pressão exercida por um vapor em equilíbrio termodinâmico com suas fases condensadas.

2.2 PRESSÃO DE VAPOR DE SATURAÇÃO (p_{ws})

É a pressão limite do ar úmido na condição em que o ar contém uma quantidade máxima vapor de água antes que ocorra a condensação. E essa condição limite depende da temperatura que o ar se encontra, conforme equações (1) e (2) e suas respectivas constantes.

$$\ln p_{ws} = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6T^4 + C_7\ln T, \quad (1)$$

para $-100^\circ\text{C} < T < 0^\circ\text{C}$

$$\ln p_{ws} = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13}\ln T, \quad (2)$$

para $0 < T < 200^\circ\text{C}$

Onde as constantes são válidas no SI (Sistema Internacional de Unidades):

$$\begin{aligned} C_1 &= -5,6745359 E + 03 \\ C_2 &= 6,3925247 E + 00 \\ C_3 &= -9,6778430 E - 03 \\ C_4 &= 6,2215701 E - 07 \\ C_5 &= 2,0747825 E - 09 \\ C_6 &= -9,484024 E - 13 \\ C_7 &= 4,1635019 E + 00 \\ C_8 &= -5,8002206 E + 03 \\ C_9 &= 1,3914993 E + 00 \\ C_{10} &= -4,8640239 E - 02 \\ C_{11} &= 4,1764768 E - 05 \\ C_{12} &= -1,4452093 E - 08 \\ C_{13} &= 6,5459673 E + 00 \end{aligned}$$

2.3 RAZÃO DE UMIDADE RELATIVA (φ)

É a fração molar do vapor d'água (x_w) em relação ao vapor d'água que estaria na mistura se ela estivesse saturada (x_{ws}). A umidade relativa é uma medida comum pelo modo que percebemos a umidade no ar e é representada em porcentagem (%), conforme equação (3).

$$\varphi = \left[\frac{x_w}{x_{ws}} \right]_{T,P} = \frac{p_w/p_{tot}}{p_{ws}/p_{tot}} = \frac{p_w}{p_{ws}} \quad (3)$$

2.4 A RAZÃO DE UMIDADE OU UMIDADE ABSOLUTA (W)

É a razão entre a massa de vapor de água (m_w) e a massa de ar seco (m_{da}) em um determinado volume, conforme equação (4).

$$W = \frac{m_w}{m_{da}} = \frac{MW_w x_w}{MW_{da} x_{da}} = 0,622 \frac{x_w}{x_{da}} \quad (4)$$

A razão de umidade máxima que um estado pode suportar a uma dada pressão e temperatura é denominada de razão de umidade de saturação (W_s). A uma dada temperatura (T) e pressão (p) existe um máximo W que pode ser obtido através da equação (5).

$$W_s = 0,622 \frac{p_w}{p_{tot} - p_w} \quad (5)$$

onde $p_{tot} = p_{da} + p_w = 101,325 \text{ Pa}$ no nível do mar.

2.5 VOLUME ESPECÍFICO DE AR ÚMIDO (v)

É volume por unidade de massa de ar (m^3/kg) e pode ser expresso através das equações (6) e (7).

$$v = \frac{R_{da}T}{p_{da}} = \frac{R_{da}T}{p_{tot} - p_w} = \frac{R_{da}T(1 + 1,6078W)}{p_{tot}} \quad (6)$$

$$v = \frac{0,287042 (T + 273,15)(1 + 1,6078W)}{p_{tot}} \quad (7)$$

onde v é o volume específico, T é a temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$); p_{tot} é a pressão total e W umidade absoluta.

2.6 DENSIDADE DO AR ÚMIDO (ρ)

É a massa de ar por unidade de volume (kg/m³) e pode ser obtido através do volume específico (v) através da equação (8).

$$\rho = \frac{m_{da} + m_w}{V} = \frac{1}{v}(1 + W) \quad (8)$$

onde v é o volume específico, m_w é massa de vapor de água, m_{da} é a massa de ar seco, V é o volume e W umidade absoluta.

2.7 ENTALPIA (h)

A entalpia de uma mistura de gases perfeitos é igual à soma de as entalpias parciais individuais dos componentes. Portanto, a entalpia (h) para o ar úmido é dada pela equação (9).

$$h = h_{da} + Wh_g \quad (9)$$

onde h é a entalpia para ar úmido (kJ/kg), h_g é a entalpia específica para vapor de água saturado, ou seja, h_{ws} (kJ/kg) e h_{da} é a entalpia específica para ar seco (kJ/kg).

2.8 TEMPERATURA DE BULBO SECO (T_{db})

É a temperatura a qual conhecemos ao falar em temperatura, é aquela que mede a energia interna e é medida com o termômetro padrão.

2.9 TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (T_{dew})

É a temperatura limite na qual o vapor de água se transforma em líquido, ou seja, ele condensa, pois o ar está saturado ao máximo com vapor de água, representadas pelas equações (10) e (11). Quando a temperatura do ar é reduzida para o ponto de orvalho a pressão constante, a umidade relativa sobe para 100% e ocorre condensação. T_{dew} é uma medida direta da taxa de umidade W desde que $W = W_s$ em $T = T_{dew}$.

$$T_{dew} = C_{14} + C_{15}\alpha + C_{16}\alpha^2 + C_{17}\alpha^3 + C_{18}(p_w)^{0,1984}, \quad (10)$$

para $0^\circ < T_{dew} < 93^\circ\text{C}$

$$T_{dew} = 6,09 + 12,608\alpha + 0,4959\alpha^2, \quad (11)$$

para $T_{dew} < 0^{\circ}C$

onde p_w é pressão parcial de vapor de água (kPa) e T_{dew} é a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}C$). As constantes válidas no SI são apresentadas:

$$C_{14} = 6,64$$

$$C_{15} = 14,526$$

$$C_{16} = 0,7389$$

$$C_{17} = 0,09486$$

$$C_{18} = 0,4569$$

$$\alpha = \ln p_w$$

2.10 TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO (T_{wb})

É a temperatura do ar úmido que uma parcela de ar teria se fosse resfriada até a saturação (100% de umidade relativa) pela evaporação da água para dentro dela. A temperatura de bulbo úmido pode ser obtida através das equações (12) e (13), desde que seja conhecido o W .

$$W = \frac{(2501 - 2,326T_{wb})W_{sem T_{wb}} - 1,006(T - T_{wb})}{2501 + 1,86T - 4,186T_{wb}}, \quad (12)$$

para $T_{wb} > 0^{\circ}C$:

$$W = \frac{(2830 - 0,24T_{wb})W_{sem T_{wb}} - 1,006(T - T_{wb})}{2830 + 1,86T - 2,1T_{wb}}, \quad (13)$$

para $T_{wb} < 0^{\circ}C$

Como é possível verificar nessa seção, o estudo da psicrometria através das fórmulas e equações da termodinâmica pode se tornar um obstáculo na aprendizagem significativa. Com o objetivo de tornar significativo o conhecimento teórico sobre QAI adquirido por parte dos discentes, foi desenvolvido um protótipo educacional e uma sequência didática para aplicar a teoria aprendida em sala de aula, simulando aplicações cotidianas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 APARATO EXPERIMENTAL

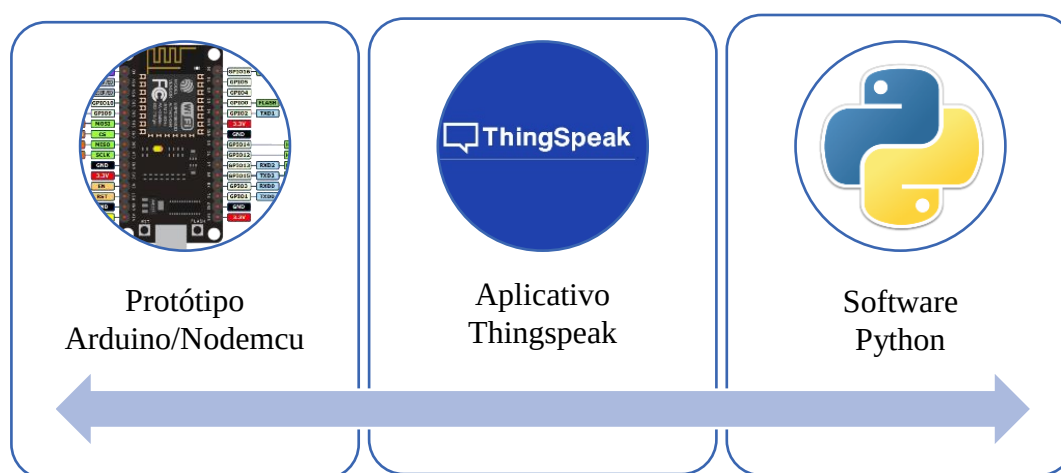
O produto educacional, aparato experimental, desenvolvido neste trabalho, permite realizar medições de parâmetros importantes para o conforto térmico de pessoas e para qualidade do ar interior de ambientes artificialmente climatizados. Para o desenvolvimento do protótipo foi utilizada instrumentação de baixo custo baseada

na plataforma Arduino, softwares e aplicativo de código aberto, para permitir a interação em tempo real da experimentação com os alunos. A

Figura 2 apresenta as partes do produto educacional, que é constituído de três partes:

- i. O hardware baseado na plataforma Arduino/Nodemcu;
- ii. O software e aplicativo de internet das coisas (IOT) baseado na plataforma *ThingSpeak*;
- iii. O software de análise desenvolvido baseado na linguagem de programação Python.

Figura 2: Exemplo de uma carta psicrométrica.

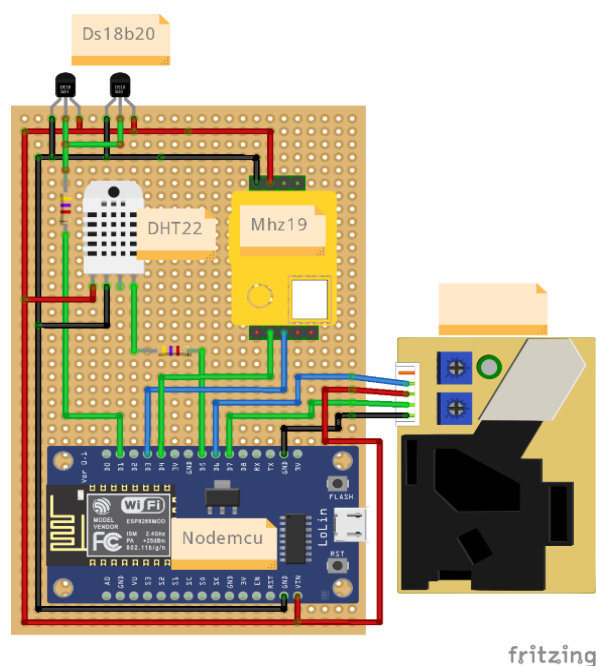


Fonte: Os autores.

O protótipo foi desenvolvido baseado na plataforma Arduino. Especificamente, foi utilizada uma placa do tipo Nodemcu, pois a mesma já possui roteador wi-fi nativo que permite a conexão à internet para transmissão dos dados coletados através dos sensores. O esquema apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** foi realizado através da plataforma Fritzing², que também é uma plataforma de código aberto, que permite a realização de desenhos esquemáticos, projeto de placas de circuito impresso, entre outras.

² Disponível em <https://fritzing.org/>. Acessado em 22/07/2022.

Figura 3: Esquema do de montagem do produto educacional.

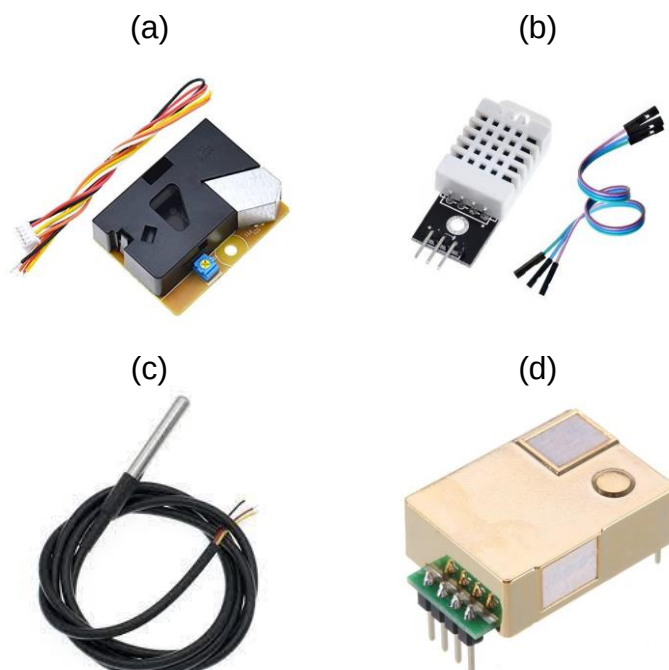


Fonte: Os autores.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta uma foto dos sensores para o aparato educacional desenvolvido nesse trabalho. Foram utilizados os seguintes sensores:

- i. 01 DSM501a (**Erro! Fonte de referência não encontrada.a**): sensor para medição de material particulado (poeira) PM10, PM2.5 e PM1.0;
- ii. 01 DHT22 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.b**): sensor para medição de temperatura de bulbo seco e umidade relativa;
- iii. 02 DsB18b20 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.c**): sensor para medição de temperatura de bulbo seco, e que no presente projeto também será adaptado para medição da temperatura de bulbo úmido pela adição de um chumaço de algodão na ponta de prova;
- iv. 01 Mhz19 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.d**): sensor para medição de CO₂.

Figura 4: Sensores a serem utilizados na montagem do produto educacional: (a) Sensor para medição de material particulado, (b) sensor para medição de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, (c) sensor para medição de temperatura de bulbo seco e (d) sensor para medição de CO₂.



Fonte: Os autores.

3.2 PROPOSTA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

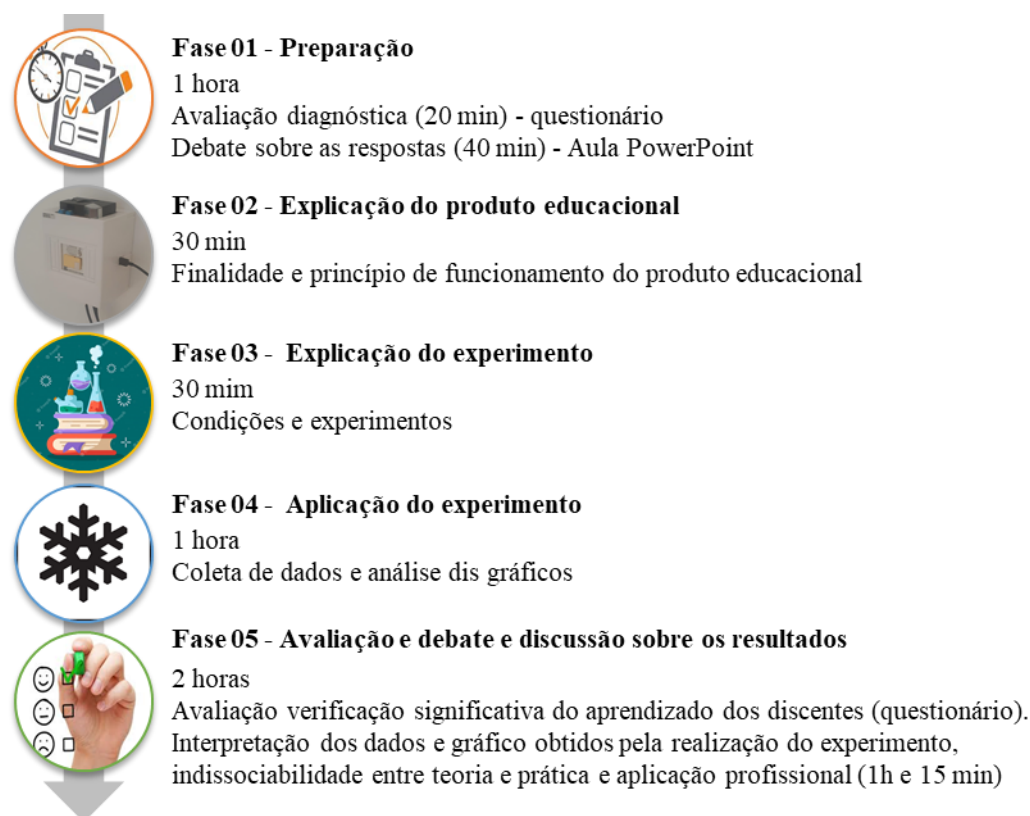
A proposta da sequência didática foi desenvolvida com objetivo de descrever o passo a passo do experimento para que o discente consiga fazê-lo de forma sequencial e adquirir o conhecimento do arcabouço teórico sobre QAI. Busca-se com a aplicação da sequência didática em sala de aula que os alunos explorando e experimentando as grandezas relacionadas com a QAI desenvolvam o senso crítico das grandezas e dos impactos das variações na QAI.

Tendo em mente que o referencial teórico deste projeto foi baseado na aprendizagem significativa de David Ausubel, que diz que para que a aprendizagem significativa aconteça é necessário que exista material didático potencialmente significativo. O produto educacional foi desenvolvido para o ensino das disciplinas com ênfase nos parâmetros QAI, e tem como objetivo apresentar o estudo da QAI de maneira prática, mais atrativa e prazerosa para os discentes.

A seguir será apresentada a sequência didática desenvolvida neste trabalho para a utilização do produto educacional, mas ainda não aplicada em sala de aula, sendo assim uma proposta de sequência didática. A proposta da sequência didática desenvolvida deverá ser aplicada em uma aula com duração de 3 horas e 45 min particionada em 5 fases e 1 hora e 15 min da aula seguinte (**Erro! Fonte de referência**

não encontrada.). Cada fase apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** será discutida nas subseções a seguir.

Figura 5: Fases da proposta de Sequência Didática.



Fonte: Os autores.

Para que a sequência didática seja aplicada e obtenha resultados positivos é necessário garantir que os alunos tenham visto a teoria básica sobre as normas e leis, conforto térmico e QAI, com objetivo de criar os conhecimentos prévios (subsunçores) necessários para fundamentar os conhecimentos que serão abordados através da aplicação da sequência didática.

A sequência didática foi pensada desta forma considerando a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, em que é necessário ter um conhecimento prévio do assunto a ser abordado, construindo assim o subsunçor na estrutura cognitiva do discente e assim “enraizar” o conhecimento. Com isso, a 1ª etapa da aula prática será a preparação, em que será aplicado uma avaliação diagnóstica para verificar se os alunos já possuem o conhecimento prévio necessário (subsunçores), caso contrário será feita uma revisão sobre os fundamentos necessário para esta atividade. Em seguida será explicado o produto educacional desenvolvido neste trabalho, para os alunos entendam como este funciona e quais parâmetros iremos medir e como extrair esses dados.

Na 3 etapa será explicado o experimento a ser realizado, para que o discente saiba exatamente como proceder utilizando o conhecimento prévio adquirido na etapa

anterior (subsunçor). Já na fase 4 os discentes irão realizar os experimentos, coletando os dados e desenvolvendo as conclusões sobre esse experimento. Na 5ª e última fase, será realizado um novo questionário para a verificação significativa do aprendizado dos conhecimentos abordados em sala de aula, como também o docente deverá levantar pontos de reflexão sobre o experimento e sua relação com a prática profissional. Ante o exposto é possível justificar e explicar que para que o discente possa realizar o experimento e absorver o conhecimento proposto de forma completa é necessário que haja um processo de aprendizagem gradativa, construindo subsunçores em cada etapa anterior, aplicando assim a teoria de aprendizagem significativa da David Ausubel.

3.2.1 Fase 1: Preparação

O docente irá informar aos alunos que será realizado um experimento sobre os parâmetros de conforto térmico e qualidade do ar interior. Nos primeiros 20 minutos de aula, será aplicado o questionário diagnóstico (https://docs.google.com/forms/d/19sHI1NC2wu3jsKGKwOZbTtT_s80-ZgMjxJeL-PusT5g/prefill) com objetivo de levantar os conhecimentos prévios com relação a importância do conforto térmico e QAI, as normas e leis que gerem esse assunto, como também quais os principais parâmetros que os alunos devem saber para garantir o conforto e QAI. Como exemplo temos: “Podemos definir “conforto térmico” como:”; “Quais fatores do ambiente e humanos podemos controlar para garantir conforto térmico adequado aos ocupantes de um determinado recinto?”; “Quais são as implicações da renovação do ar? Marque todas as alternativas correspondentes?”; entre outras.

Após finalização deste tempo será discutido cada pergunta feita no questionário inicial para tentamos balizar/equalizar os conhecimentos prévios, utilizando aula expositiva (uso de projeção de slide, <https://drive.google.com/file/d/1Lr0gjVf-Q3n3wPcdGodQDL7arP5ezha-/view?usp=sharing>) para uma melhor contextualização do assunto, totalizando um tempo de 40 minutos.

Nesta apresentação expositiva trazemos os principais conceitos necessários para que os discentes tenham os conhecimentos prévios (subsunçores) para entender e vivenciar o experimento de forma mais completa.

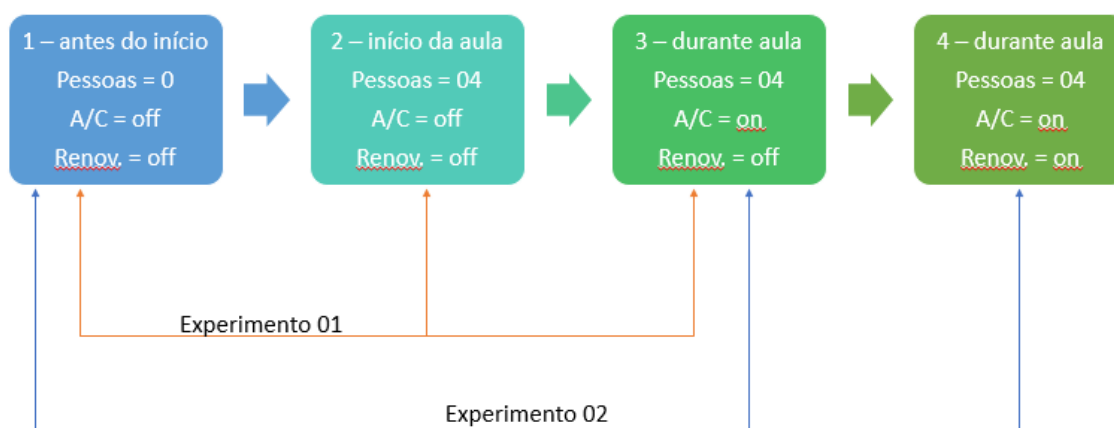
3.2.2 Fase 2: Explicação do produto educacional

Nesta fase serão reservados 30 minutos para a explicação da finalidade e princípio de funcionamento do produto educacional, utilizado aula expositiva e o próprio produto educacional.

3.2.3 Fase 3: Explicação do experimento

A fase 3 deverá ser realizada em 30 minutos com objetivo de explicar o experimento e assim ser possível a execução. O projeto de pesquisa visa desenvolver 2 experimentos como mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 6: Esquema do produto educacional de medição e análise de parâmetros de QAI.



Fonte: Os autores.

Os experimentos terão condições distintas e através do produto educacional será possível medir os parâmetros de cada condição e assim ser possível fazer as comparações e interpretações acerca da qualidade do ar interior:

- Condição 01: será realizada a medição dos parâmetros para a condição do ambiente vazio, sem pessoas, com o ar condicionado desligado e sem a renovação do ar. Essa medição será realizada antes do início da aula.
- Condição 02: será realizada a medição dos parâmetros para a condição do ambiente com os alunos e professores em sala de aula, porém com o ar condicionado desligado e sem renovação de ar.
- Condição 03: será realizada a medição dos parâmetros para a condição do ambiente com os alunos e professores em sala de aula, com o ar condicionado ligado e sem renovação de ar.
- Condição 04: será realizada a medição dos parâmetros para a condição do ambiente com os alunos e professores em sala de aula, com o ar condicionado ligado e com renovação de ar.

O experimento 01 tem como objetivo verificar a variação dos parâmetros do ambiente, aumento de carga térmica, quantidade de materiais particulados e quantidade de concentração de CO₂ devido a introdução de pessoas no ambiente; verificação da importância do sistema de ar condicionado para atingir o conforto térmico dos ocupantes do recinto e QAI.

O experimento 02 tem por objetivo verificar a importância da renovação do ar nos ambientes climatizados, pois este diminui a concentração de CO₂ e dos matriculados garantindo a qualidade do ar interior definido por normas e lei.

3.2.4 Fase 4: aplicação do experimento

A realização do experimento deve ter uma duração de 1 hora, em que serão criadas as condições necessárias para cada fase do experimento como explicado anteriormente.

3.2.5 Fase 5: avaliação e apresentação dos resultados

O docente deverá aplicar um questionário de avaliação (https://docs.google.com/forms/d/1a2ftbArTFeeQ56uaWI_ZgqgNDyY-xqc3E_EyIXn3qlA/prefill) para a verificação significativa do aprendizado dos discentes, em que os alunos terão 30 min para responder. Os 15 min restantes da aula o docente deverá levantar pontos de reflexão sobre o experimento e sua relação com a prática profissional.

O segundo momento dessa fase será realizado na aula seguinte com duração de 1 hora. Neste momento o docente irá mostrar os gráficos e interpretar juntamente com os alunos analisando as variações e as causas possíveis para essas variações e benefício/malefício de cada variação. Ainda deste momento será abordado a relação teórico-prático enfatizando a importância desse conhecimento e interpretação para a vida profissional dos alunos

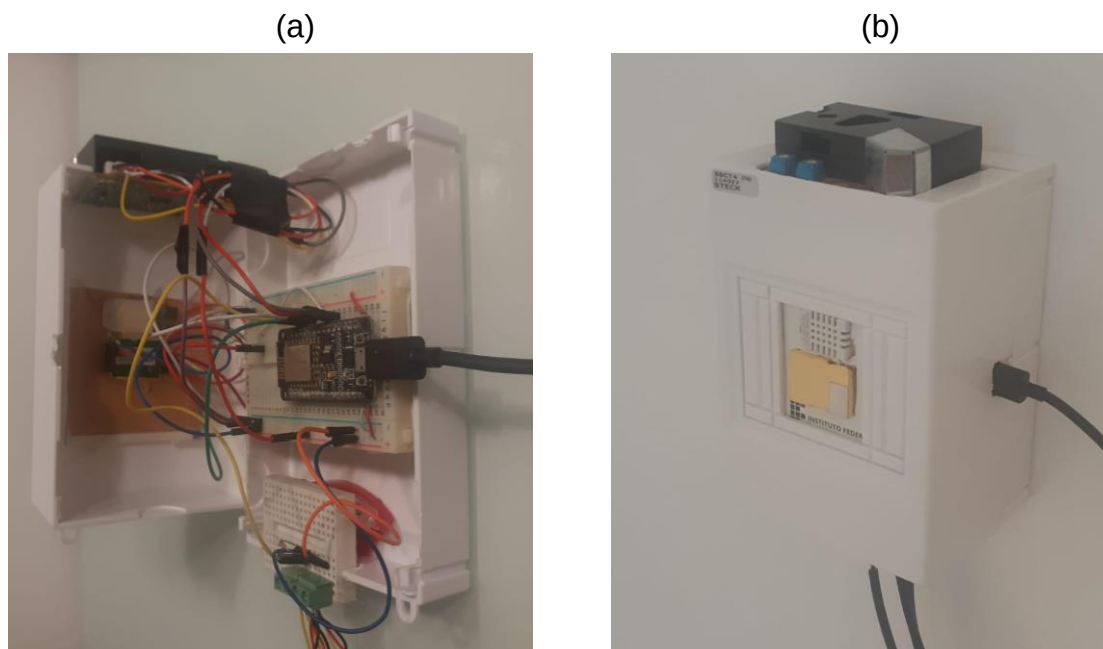
Nesta fase do projeto espera-se que os alunos se mostrem receptivos e dispostos a colaborar com as atividades quanto a apresentação da proposta de ensino. Será avaliado a compreensão dos alunos quanto ao conhecimento dos parâmetros de condições distintas e da QAI, através da descrição crítica dos resultados dos experimentos e dos questionários.

Espera-se que haja um aumento do interesse e participação dos estudantes nas disciplinas com a aplicação do produto educacional desenvolvido e da sequência didática proposta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados o protótipo de produto educacional desenvolvido, assim como a proposta de sequência didática. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta fotos do interior (a) e do produto pronto (b).

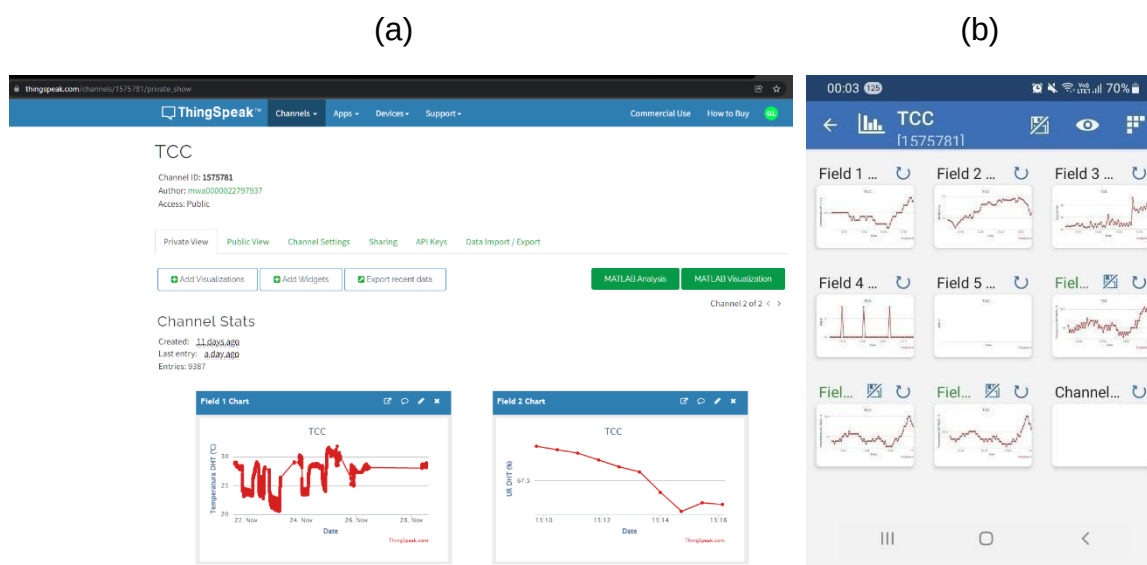
Figura 7: Protótipo educacional para medição de parâmetros de qualidade do ar interior. (a) Interior do protótipo e (b) protótipo operando após montado em uma superfície vertical.



Fonte: Os autores.

Os dados coletados pelos sensores conectados ao protótipo são transmitidos para a nuvem através da conexão à internet do Nodemcu. A plataforma utilizada foi a Thingspeak, pois permite uma fácil implementação para rápida visualização dos dados. Além disso, a plataforma possui website para visualização e compartilhamento do canal com histórico de medições tanto no computador quanto no celular, além de vários aplicativos para utilização em conjunto com o Thingspeak. No presente trabalho foi utilizado o aplicativo Thingsshow. As visualizações da tela do Thingspeak e Thingsshow são apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 8: Tela do Thingspeak (a) e *Thingshow* (b).

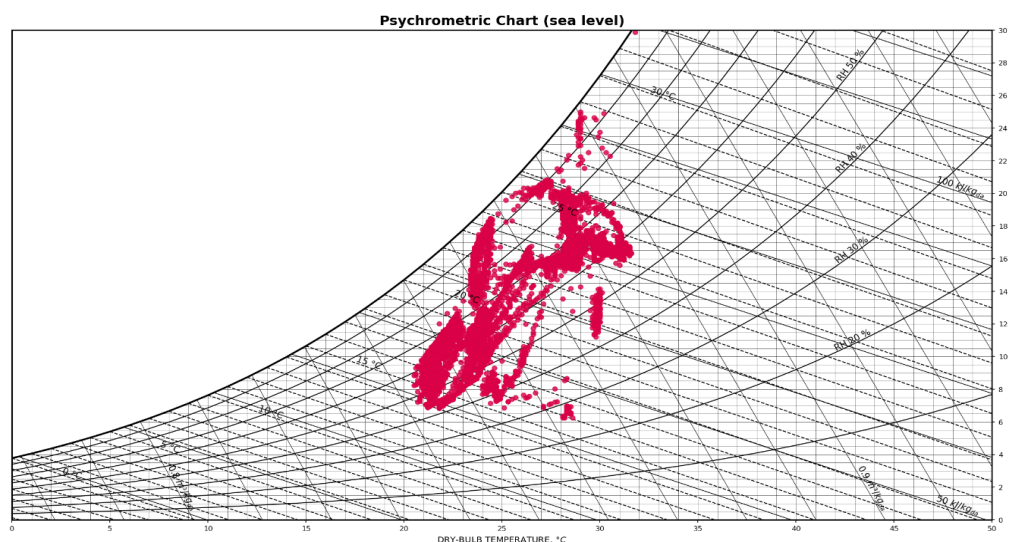


Fonte: Os autores.

A terceira parte do produto educacional desenvolvido neste trabalho é o pós-processamento e visualização dos dados que foi implementado utilizando-se a linguagem de código aberto, Python.

Uma ferramenta muito interessante que também foi incorporada código em Python do projeto foram as bibliotecas Psychrolib e Psychrochart (Meyer; Thevenard, 2019). A primeira ferramenta representa uma biblioteca de código aberto que relaciona as propriedades psicrométricas. Em suma, a partir de duas propriedades, por exemplo temperatura de bulbo seco e umidade relativa, podem ser determinadas outras grandezas como entalpia, umidade absoluta, ponto de orvalho e temperatura de bulbo úmido. Já a Psychrochart permite que cada ponto coletado seja representado em uma carta psicrométrica. Essa biblioteca aufere uma enorme possibilidade de análises e práticas a serem realizadas com os alunos, uma vez que conhecimentos, tradicionalmente, apresentados de maneira teoria, ganham significado prático através da experimentação e visualização imediata das condições em uma carta psicrométrica. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os pontos coletados a partir dos dados postados na nuvem, plataforma Thingspeak, pelo produto educacional e, posteriormente, plotados no Python, utilizando-se a biblioteca Psychrochart.

Figura 9: Esquema do produto educacional de medição e análise de parâmetros de QAI.



Fonte: Os autores.

4.1 EXPERIMENTO 01

No experimento 01 serão coletados os dados de 3 condições, e para cada condição serão coletadas as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, umidade relativa, concentração de CO₂, e quantidade de materiais particulados.

Para a coleta de dados será imprescindível criar as 3 condições e assim obter os dados desejados:

- Condição 01: É a condição do ambiente antes do início da aula, pois é importante ter ambiente vazio, sem pessoas, com o ar condicionado desligado e sem a renovação do ar. Destarte os dados desta condição serão fornecidos aos alunos explanados nos gráficos gerados ao longo de todo o experimento. Neste momento do experimento, antes da apresentação dos dados, o professor deve questionar os alunos quais os valores possíveis para os parâmetros nesta condição e porque, gerando um minidebate com os alunos com o objetivo de aumentar o interesse e desenvolver o senso crítico.
- Condição 02: a coleta dos parâmetros desta condição será coletada no momento que iniciarmos a aula pois o ambiente deverá ter pessoas, ou seja, os alunos e professores na sala de aula, porém com o ar condicionado desligado e sem renovação de ar.
- Condição 03: será realizada a medição dos parâmetros para a condição do ambiente com os alunos e professores em sala de aula, com o ar condicionado ligado e sem renovação de ar.

4.2 EXPERIMENTO 02

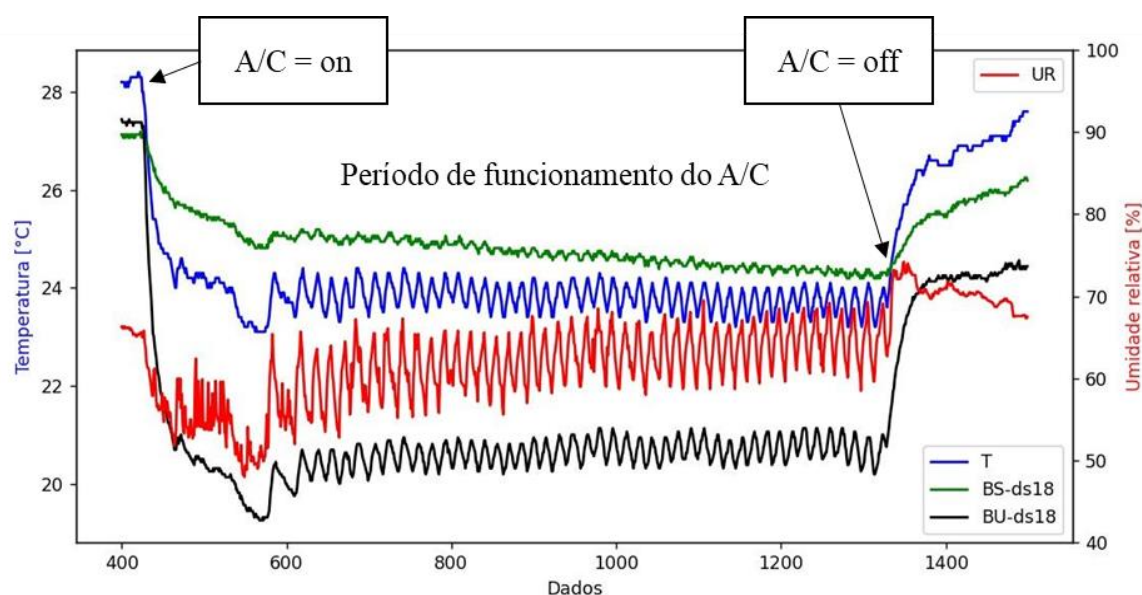
No experimento 02 serão coletados os dados de 4 condições. Além das condições descritas do experimento 1 será analisada a condição 4, para verificar a importância da renovação do ar nos ambientes climatizados artificialmente:

- Condição 04: os parâmetros serão coletados no ambiente com os alunos e professores em sala de aula, com o ar condicionado ligado e após o sistema de renovação de ar ser ligado e estabilizado.

Ao longo de todo o experimento os alunos deverão acompanhar a variação de todos os parâmetros citados com os próprios Smartphones, seja pelo site da plataforma Thingspeak ou através da instalação do aplicativo Thingshow. A cada condição definida os alunos deverão fazer anotações sobre as variações e as conclusões de cada variação refletindo a causa.

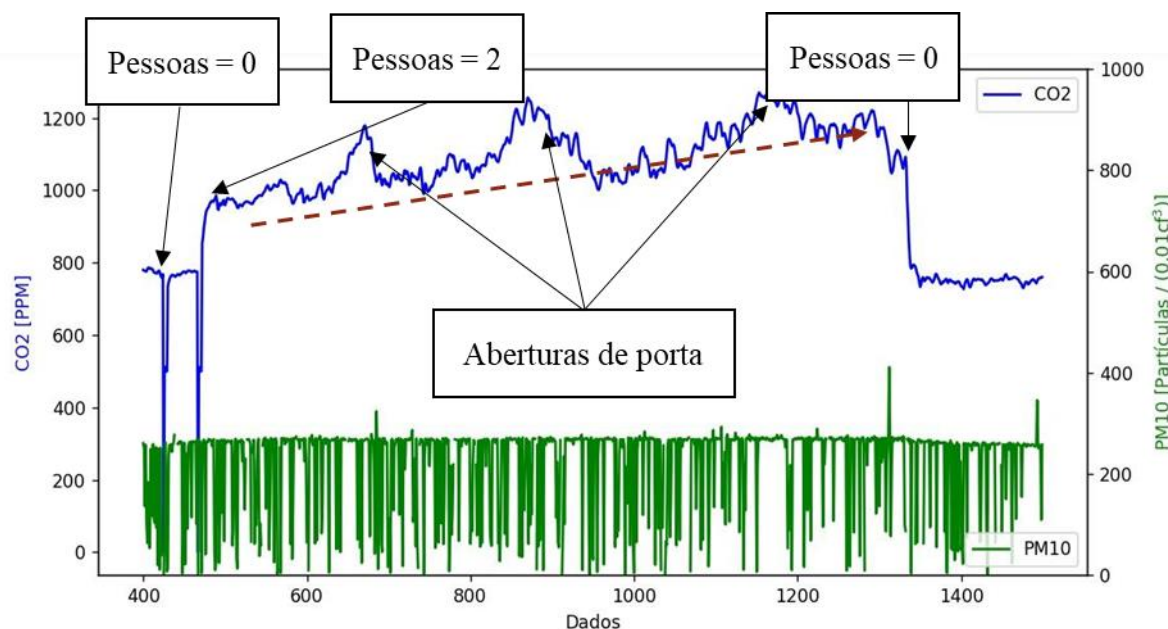
Erro! Fonte de referência não encontrada. e Erro! Fonte de referência não encontrada. apresentam dados coletados com o produto educacional desenvolvido e plotados no Python após a conexão com a base de dados nas nuvens do ThingSpeak, de um experimento feito em um ambiente pequeno com 4 pessoas, com objetivo de mostrar os gráficos obtidos e as possíveis conclusões.

Figura 10: Gráfico com os valores das temperaturas de bulbo úmido, bulbo seco e umidade relativa.



Fonte: Os autores.

Figura 11: Gráfico com os valores quantidade de particulados e concentração de CO₂.



Fonte: Os autores.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra os gráficos das temperaturas de bulbo seco (linhas azul e verde), úmido (linha preta) e a umidade relativa (linha vermelha) do ambiente. No momento em que o ar condicionado é acionado é possível verificar que ocorre uma queda brusca nos valores das temperaturas e da umidade relativa, isso ocorre devido a funcionalidade do equipamento de climatização que tem como objetivo resfriar e desumidificar o ar. Após atingir o set point, verifica-se que as temperaturas e a umidade relativa se mantêm em um range que oscila de acordo com o acionamento e desligamento do compressor. No instante de desligamento do ar condicionado, verifica-se um aumento das temperaturas e da umidade relativa.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os valores das concentrações de CO₂ e materiais particulados coletados no mesmo experimento descrito na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**. No momento inicial de análise o ambiente estava sem pessoas, ao entrar 2 pessoas no ambiente é possível verificar o aumento gradativo da concentração de CO₂, uma vez que as pessoas ao respirarem emitem CO₂ para o ambiente, os picos elevados se referem a abertura da porta. Assim que as pessoas deixam o ambiente, a concentrações de CO₂ diminui bruscamente. Quanto o material particulado, os valores se mantiveram constantes.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi projetado e construído um produto educacional de baixo custo, usando a plataforma Arduino, e de fácil aquisição para ser utilizado em aulas experimentais promovendo a contextualização do ensino de conforto térmico, qualidade do ar interior e projeto de climatização na Educação Básica Técnica e Tecnológica, assim como no ensino de nível superior. Foi também proposta uma sequência didática aplicando o equipamento desenvolvido para introduzir os conceitos da qualidade do ar interior.

Junto com o aparato experimental foram também implementado o software em Python e desenvolvido um aplicativo de celular a fim de permitir a efetiva participação dos alunos ao longo da aplicação da sequência didática.

Tendo a teoria da aprendizagem de Ausubel como pano de fundo, a experimentação e a contextualização são fundamentais no ensino da psicrometria, que é um conceito fundamental para o entendimento e aprofundamento dos conceitos da qualidade do ar interior, conceito este, de fundamental importância no mundo contemporâneo, principalmente após a ocorrência da pandemia da Covid-19.

Através dos resultados foi possível estabelecer uma relação direta entre os conceitos teóricos da psicrometria com na aplicação prática através do monitoramento de grandezas físicas como a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, emissão de CO₂ e emissão de material particulado.

Como sugestões de trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da sequência didática e do produto didático a diferentes cursos (entre eles física, eletrônica e eletrotécnica) a fim de se verificar a aderência e ajustes necessários. Com relação ao produto didático, poderiam ser adicionados outros sensores para o monitoramento da qualidade do ar interior, como monitoramento de compostos orgânicos voláteis. Também se propõem a aplicação do produto didático em outras áreas como hospitais, escritórios e residências, analisando como diferentes condições afetam a qualidade do ar interior.

REFERÊNCIAS

AGRA, Glenda et al. **Analysis of the concept of Meaningful Learning in light of the Ausubel's Theory**. *Revista brasileira de enfermagem*. [S.l.]: NLM (Medline). , 1 jan. 2019

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook - Fundamentals**. [S.l.: s.n.], 2013.

BRANDT, Don; ASHRAE. **Fundamentals of Psychrometrics (SI Edition)**. 2nd. ed. [S.l.]: ASHRAE, 2016.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª edição ed. Brasil: LTC, 2004.

FRANCO, DONIZETE LIMA. A IMPORTÂNCIA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO METODOLOGIA NO ENSINO DA DISCIPLINA DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO. **Revista Triângulo**, v. 11, n. 1, 30 abr. 2018.

LABURÚ, Carlos Eduardo; BARROS, Marcelo Alves; SILVA, Osmar Henrique Moura da. Multimodos e múltiplas Representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais conciliáveis da educação científica. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 17, n. 2, p. 469–487, 2011.

MEYER, D.; THEVENARD, D. PsychroLib: a library of psychrometric functions to calculate thermodynamic properties of air. **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 33, p. 1137, 12 jan. 2019.

MOREIRA, Marco António. Aprendizagem significativa crítica (critical meaningful learning). 2000, [S.l.: s.n.], 2000.

MOTTA, L.; SANTOS, A.C.F. Circuitos Resistivos Simétricos: uma Abordagem Experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

NICKLAS, Steven et al. **Ashrae Handbook 2016: HVAC Systems and Equipment: SI Edition**. [S.l.]: ASHRAE, 2016.

SILVA, Fernando Rodrigues da et al. A relação da teoria cognitiva da aprendizagem significativa com a concepção de Ensino Médio Integrado na Educação profissional e tecnológica. **Revista Semiárido De Visu**, v. 7, n. 2, p. 179–193, 31 ago. 2019.

TAVARES, A.; SILVA, A.; CHESMAN, C. Experimentos Portáteis para o Aprendizagem das Leis da Óptica Geométrica com Metodologia ISLE. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, 2022.

TAVARES, Cristiano Luiz Silva. O ENSINO INVESTIGATIVO COMO FERRAMENTA PARA DESPERTAR INTERESSE EM ALUNOS POR DISCIPLINAS PROFISSIONALIZANTES: RELATO DE EXPERIÊNCIA. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 2, n. 17, p. e7967, 27 dez. 2019.

TAVARES, Cristiano Luiz Silva; ZANETTI NETO, Giovani. Análise de uma atividade de aprendizagem baseada em projetos aplicada ao ensino de Eletrônica Analógica. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 2, n. 23, 2023.

TRENTIN, Marco Antonio; ROSA, Cleci Teresinha Werner da; SILVA, Marcelo. Eletrodinâmica no Ensino Médio: uma Sequência Didática apoiada nas tecnologias e

na experimentação. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 9, n. 5, p. 94–113, 18 dez. 2018.