



# Simulação do Efeito Estufa, da intensificação do Efeito Estufa pela presença de CO<sub>2</sub> e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio utilizando o Arduino

Simulation of the Greenhouse Effect, intensification of the Greenhouse Effect by the presence of CO<sub>2</sub> and of the impact of the change in the Earth's coverage on the average temperature of the medium using Arduino

Paulo Renda Anderson<sup>1</sup>, Carlos Mergulhão Júnior<sup>2</sup>, Moacy José Stoffes Júnior<sup>3</sup>,  
Cléver Reis Stein<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, RO, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, RO, Brasil.

<sup>3</sup>Instituto Federal do Paraná, Telêmaco Borba, PR, Brasil.

Recebido em 21 de agosto de 2020. Revisado em 19 de novembro de 2020. Aceito em 15 de dezembro de 2020.

Neste trabalho apresentamos o desenvolvimento de um conjunto didático para a simulação do efeito estufa, intensificação do efeito estufa e estudo da influência das mudanças nas coberturas da Terra na temperatura média do ambiente. A ideia se originou perante a escassez de experimentos capazes de demonstrar os fenômenos físicos presente no estudo destes temas, que são importantes tanto do ponto de vista científico, quanto do senso comum. O equipamento construído consiste em dois ambientes inertes delimitados por cúpulas de vidro e no interior deles são instalados sensores de temperatura e pressão controlados pelo Arduino. Ambas as cúpulas são irradiadas por ondas eletromagnéticas de mesma intensidade e as curvas de temperatura em função do tempo são apresentadas simultaneamente na tela do computador pelo *software* Arduino (IDE). Um dos ambientes está conectado a um cilindro de gás, que tem a função de aumentar a concentração de dióxido de carbono no ar. Outra demonstração apresentada é a variação do albedo com a mudança da cobertura da superfície na temperatura média do meio. Concluímos que este equipamento é uma importante ferramenta experimental para assessorar os professores de Física no estudo de diversos tópicos, tornando as suas aulas atrativas e interativas.

**Palavras-chaves:** Efeito estufa, aquecimento global, conjunto didático, Arduino, dióxido de carbono.

In this work we present the development of a didactic set for the simulation of the greenhouse effect, intensification of the greenhouse effect and study of the influence of changes in the Earth's cover on the average temperature of the environment. The idea originated in the face of the scarcity of experiments capable of demonstrating the physical phenomena present in the study of these themes, which are important both from a scientific point of view and from common sense. The built equipment consists of two inert environments delimited by glass domes and inside them are installed temperature and pressure sensors controlled by Arduino. Both domes are irradiated by electromagnetic waves of the same intensity and the temperature curves as a function of time are presented simultaneously on the computer screen by the Arduino (IDE) software. One of the environments is connected to a gas cylinder, which has the function of increasing the concentration of carbon dioxide in the air. Another demonstration presented is the variation of albedo with the change in surface coverage at the mean temperature of the medium. We conclude that this equipment is an important experimental tool to assist physics teachers in the study of various topics, making their classes attractive and interactive.

**Keywords:** Greenhouse effect, global warming, didactic set, Arduino, carbon dioxide.

## 1. Introdução

A atmosfera é uma camada composta por uma mistura de diversos gases e materiais particulados (aerossóis) que envolvem a Terra [1]. Esses gases são essenciais a manutenção da vida no planeta, uma vez que são relativamente transparentes à radiação solar e absorvem

a maior parte da radiação emitida pela superfície do planeta aquecida. Esta absorção faz com que a superfície terrestre tenha uma temperatura média maior do que poderia ocorrer caso não existisse a atmosfera. Tal fenômeno é conhecido como Efeito Estufa [2]. Os principais gases de Efeito Estufa são o vapor d'água, clorofluorcarbono (CFC), ozônio (O<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [1].

\* Endereço de correspondência: [clever.stein@ifro.edu.br](mailto:clever.stein@ifro.edu.br)



**Figura 1:** Imagem do equipamento desenvolvido. Parte superior onde são instaladas os protobords com os sensores de pressão e temperatura dentro de dois ambientes delimitados por cúpulas de vidro, as quais são irradiadas por lâmpadas incandescentes e as curvas das temperaturas são apresentadas no computador. A direita, parte interna onde ficam alojados o cilindro de gás, o manômetro e o Arduino.

O Efeito Estufa é o responsável por manter a Terra em uma temperatura adequada a manutenção da vida. Todavia, a intensificação das atividades humanas, ocorrida sobretudo após a Revolução Industrial, fez aumentar a concentração na atmosfera de gases antrópicos de efeito estufa, principalmente CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, dessa forma, acentuado o Efeito Estufa, por consequência, elevando a temperatura média do planeta e ocasionando diversas mudanças climáticas [3].

Outro parâmetro estudado é a refletividade da superfície (albedo) com as mudanças da cobertura da Terra, entre elas a substituição de áreas vegetadas por asfaltos e concretos, que pode afetar seriamente o clima devido as alterações nas características biofísicas do solo e no ciclo de carbono. Essas variações do albedo, afetam o balanço de energia entre a superfície e a atmosfera impactando na temperatura do ar, estabilidade atmosférica e na precipitação [4, 5].

Do ponto de vista didático, o tema aquecimento global é obrigatório em todas as disciplinas. Contudo, a Física está intrinsecamente permeada nos fenômenos responsáveis por tais mudanças, portanto ela deve ser o ponto de partida do estudo. Tópicos como ondas eletromagnéticas, termometria, termodinâmica e fenômenos de transporte podem ser facilmente contextualizados e trabalhados de forma integrada com o supracitado tema.

Todavia, mesmo o tema aquecimento global estar constantemente exposto na mídia, ele é abstrato e pouco atrativo ao estudo. Neste contexto, propomos realizar as atividades experimentais utilizando o simulador de Efeito Estufa e intensificação do Efeito Estufa pela presença de CO<sub>2</sub> e absorção da luz em relação às cores da superfície utilizando o Arduino.

## 2. O Protótipo

O equipamento construído é formado por dois ambientes inertes limitados por cúpulas de vidro sobre uma bancada móvel. No interior de cada ambiente foi instalado uma placa de protoboard e nelas foram conectados os sensores de pressão e temperatura, ambas as placas são

ligadas ao Arduino e este ao computador. Foi utilizado o sensor DTH22 que mede temperaturas no range de  $-40$  a  $80^{\circ}\text{C}$ , com precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  [6], o sensor de pressão utilizado foi o BMP180, que afere numa faixa de 300 hPa a 1100 hPa com precisão de  $\pm 1$  hPa [7], cuja a função foi unicamente verificar que a inserção de CO<sub>2</sub> não altera a pressão do ambiente e o seu uso não é obrigatório. Foram utilizadas lâmpadas incandescentes como fonte de radiação eletromagnética incidente sobre as cúpulas. A calibração do equipamento foi realizada por meio de uma medida comparativa entre os dois ambientes com ambos nas mesmas condições, dessa forma validando o funcionamento do equipamento. A Figura 1 ilustra o protótipo desenvolvido.

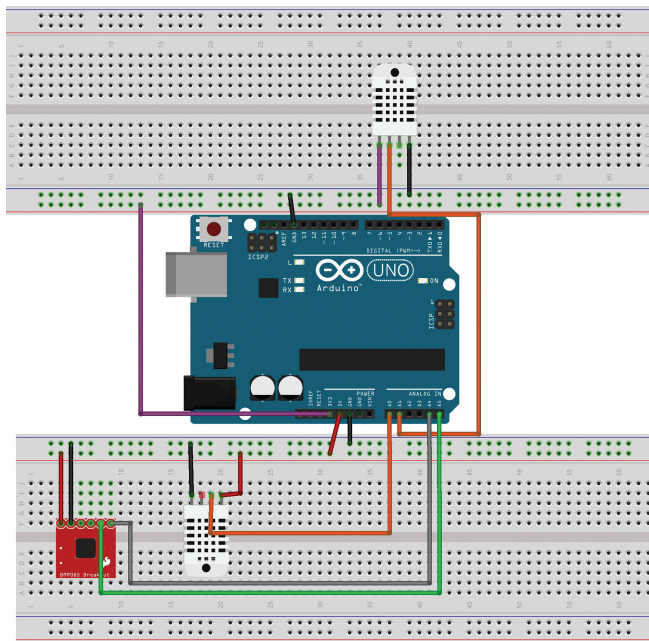
Em um dos ambientes foi feita uma ligação por meio de tubos de cobre a um cilindro de gás, que na ocasião foi utilizado o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). No entanto, na falta desse componente, uma opção é realizar a queima de um palito de fósforo dentro do ambiente. A Figura 1 ilustra esses componentes alocados na parte inferior das cúpulas do protótipo. Nesta figura também pode ser observado o Arduino e os fios de ligação que vão até os protoboards. A Figura 2 ilustra o diagrama do circuito eletrônico desenvolvido para monitorar a pressão e a temperatura interna nos dois ambientes.

Como o objetivo deste artigo é apresentar o equipamento e os resultados obtidos, os leitores que se interessarem por maiores detalhes da construção deste equipamento apresentado neste trabalho poderão encontrar uma descrição completa nas referências [8, 9].

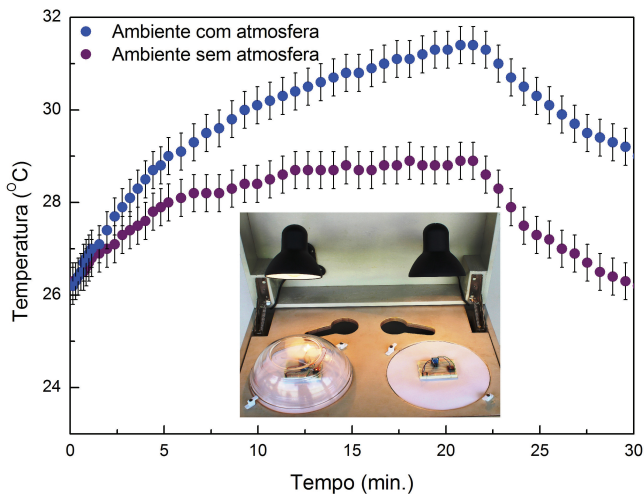
## 3. Resultados e Discussões

Todas as medidas foram realizadas em laboratório com a temperatura ambiente em torno dos  $25^{\circ}\text{C}$ . Na Figura 3 são apresentadas as curvas de aquecimento em função do tempo para os dois ambientes, um com a cúpula de vidro e o outro sem a cúpula, conforme pode ser observado no inserte da figura.

A cúpula de vidro é utilizada para evitar trocas de calor por convecção, permitir a passagem da radiação e intensificar o aquecimento causado pela absorção da



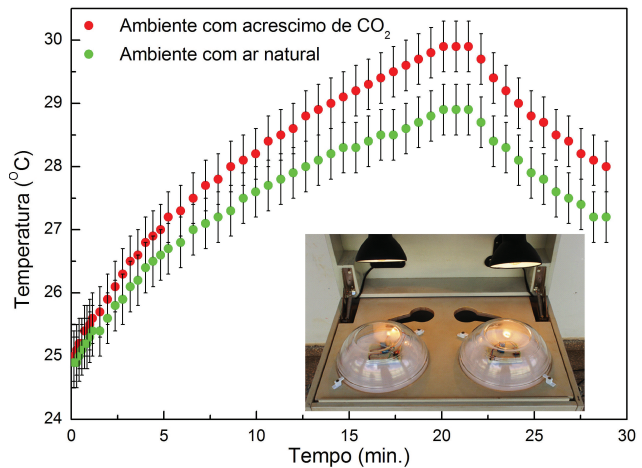
**Figura 2:** Diagrama do circuito eletrônico de aquisição de dados experimentais do simulador de efeito estufa, aquecimento global e mudança da cobertura da superfície da Terra. O Arduino fica instalado no compartimento inferior e ligado às protoboards posicionadas no interior das cúpulas.



**Figura 3:** Curva da variação da temperatura no tempo dos dois ambientes (um com e o outro sem a cúpula de vidro) monitorados pelos sensores do Arduino sob radiação eletromagnética, simulando o efeito estufa. O inseto na figura ilustra a configuração do equipamento na realização do experimento. As barras verticais representam o erro associado ao sensor de temperatura.

radiação infravermelha interna e, assim, produzir um bolsão térmico no interior do ambiente.

Nesta parte do experimento é ilustrado a importância do efeito estufa para tornar o Planeta Terra habitável. A temperatura máxima no ambiente que simula a atmosfera foi de 31,8°C, enquanto no outro sem a cúpula de



**Figura 4:** Curva da variação da temperatura no tempo dos dois ambientes monitorados pelos sensores do Arduino sob radiação eletromagnética, simulando o aquecimento global. O inseto na figura ilustra a configuração do equipamento na realização do experimento. No ambiente da esquerda foi aumentado a concentração de CO<sub>2</sub>. As barras verticais representam o erro associado ao sensor de temperatura.

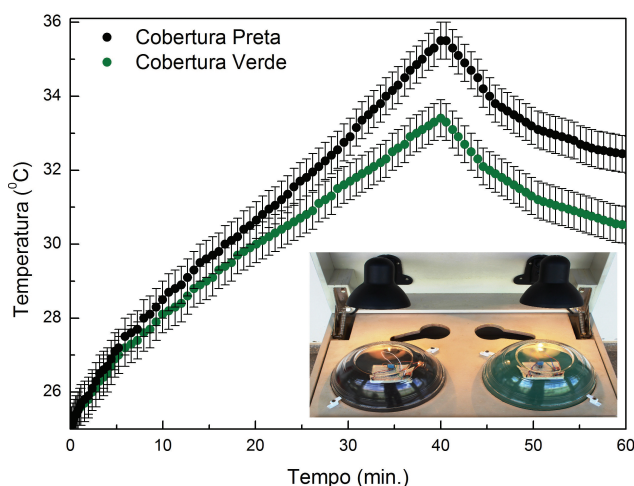
vidro o pico foi de 28,9°C. Somado a isto, observa-se no gráfico que o ambiente delimitado pelo vidro apresentou um ganho maior de energia térmica desde o início da incidência da radiação e, quando a radiação foi desligada, ambas as curvas de resfriamento apresentaram coeficientes de decaimentos aproximados, entretanto, o ambiente sem a cúpula retornou ao estágio térmico inicial após 20 minutos, regressando à temperatura de 26°C, já o outro ambiente reteve parte do calor, apresentando uma temperatura de 28°C ao final do mesmo período.

A Figura 4 apresenta as curvas de aquecimento para os dois ambientes delimitados pelas cúpulas de vidro, porém, em um deles foi aumentado a concentração do gás CO<sub>2</sub>, para demonstrar a intensificação do efeito estufa decorrentes do acréscimo do volume dos gases do efeito estufa na atmosfera terrestre.

A intensificação da concentração do dióxido de carbono implicou em um aumento médio da temperatura do ambiente em aproximadamente 2°C. Para validar este resultado, foi monitorado nos dois ambientes a pressão interna durante a realização das medidas e, as duas medidas ficaram próximas de 1 atm, este evento corrobora com a evidência que o aumento da temperatura foi decorrente somente da inserção do CO<sub>2</sub> em um dos ambientes.

Um outro esboço que o protótipo permite realizar, é o da absorção da luz em relação às cores. Nesta aplicação, o experimento permite utilizar diferentes cores para simular, por exemplo, o asfalto preto e a vegetação verde. A Figura 5 ilustra o resultado para diferentes cores de cobertura e o inseto desta figura demonstra a configuração do equipamento na realização da medida.

Este resultado demonstra a contribuição da cobertura da superfície na temperatura média do meio. A cor preta



**Figura 5:** Curva da variação da temperatura no tempo dos dois ambientes monitorados pelos sensores do Arduino sob radiação eletromagnética, simulando a mudança da superfície da Terra. O inserto na figura ilustra a configuração do equipamento na realização do experimento. Em um dos ambientes foi utilizado uma cobertura preta e no outro uma verde. As barras verticais representam o erro associado ao sensor de temperatura.

apresentou um ganho de energia térmica maior do que a verde, demonstrando que nas cidades as partes de concreto expostos colaboram para elevar a temperatura enquanto as cores mais claras contribuem menos neste processo.

#### 4. Conclusão

Neste trabalho apresentamos a utilização de um protótipo capaz de simular o Efeito Estufa, a intensificação do Efeito Estufa pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura do meio. Os resultados experimentais representaram qualitativamente bem os fenômenos em estudo. Já sob o ponto de vista didático, o experimento mostrou potencial para substanciar o estudo de diversos fenômenos, os trabalhando de forma integrada com os tópicos de física aplicados a situações-problema do cotidiano. Também há de se ressaltar a interface amigável do conjunto experimental, permitindo a sua fácil utilização pelo educador em sala de aula.

A relevância do tema, uma vez que o efeito estufa é imprescindível à manutenção da vida no Planeta Terra, e ao mesmo tempo, a necessidade de conscientização a respeito do iminente perigo no processo de intensificação do Efeito Estufa e da mudança das áreas vegetais por áreas urbanas, por si só, justifica a importância do trabalho.

#### Referências

- [1] R.W.C. Silva e B.L. Paula, *Terrae Didática* **5**, 42 (2009).
- [2] J. Mitchell, *Reviews of Geophysics* **27**, 117 (1989).
- [3] L.R. Kump e D. Pollard, *Science* **320**, 5873 (2008).
- [4] A.P.M.A. Cunha, R.C.S. Alvalá e G.S. Oliveira, *Revista Brasileira de Meteorologia* **28**, 139 (2013).
- [5] PBMC, Base científica das mudanças climáticas. *Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. Editado por T. Ambrizzi, M. Araujo, (COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014).
- [6] AOSONG, *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22*, disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/792211/Aosong/DHT22/1>, acessado em 31/07/2020.
- [7] BOSH, *BMP180 digital barometric pressure sensor*, disponível em: [https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\\_tech/media/product\\_flyer/BST-BMP180-FL000.pdf](https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/product_flyer/BST-BMP180-FL000.pdf), acessado em 31/07/2020.
- [8] P.R. Anderson, *Utilização de Experimento Simples para Simulação de Efeito Estufa e Aquecimento Global no Ensino da Física no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rondônia, Rondônia (2016).
- [9] P.R. Anderson, C. Mergulhão Junior, M.J. Stoffes Junior e C.R. Stein, em *Pesquisa, Inovação e Tecnologia no Estado de Rondônia*, editado por R.A. Zan, J.H.S. Bezerra, V.M. Lopes e M.A. Jesus (Stricto Sensu Editora, Rio Branco, 2019).