



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

MICHELE RAIZA DE SOUZA NASCIMENTO

**ARBORIZAÇÃO NOS TRÊS CAMPI DA UFPE E O
IMPACTO NA CONCENTRAÇÃO DO CO₂ EM SALA DE AULA**

Recife
2024

MICHELE RAIZA DE SOUZA NASCIMENTO

**ARBORIZAÇÃO NOS TRÊS CAMPI DA UFPE E O
IMPACTO NA CONCENTRAÇÃO DO CO₂ EM SALA DE AULA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Otacilio Antunes Santana

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Nascimento, Michele Raiza de Souza.

ARBORIZAÇÃO NOS TRÊS CAMPI DA UFPE E O IMPACTO NA
CONCENTRAÇÃO DO CO₂ EM SALA DE AULA / Michele Raiza de Souza
Nascimento. - Recife, 2024.

27 p. : il., tab.

Orientador(a): Otacilio Antunes Santana

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências
Ambientais - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Áreas Verdes. 2. Qualidade do ar. 3. Temperatura. 4. Sensação Térmica. I.
Santana, Otacilio Antunes . (Orientação). II. Título.

570 CDD (22.ed.)

MICHELE RAIZA DE SOUZA NASCIMENTO

**ARBORIZAÇÃO NOS TRÊS CAMPI DA UFPE E O
IMPACTO NA CONCENTRAÇÃO DO CO₂ EM SALA DE AULA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: ____/____/____

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Otacilio Antunes Santana / UFPE

Prof^a Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza / UFPE

Prof. Helotonio Carvalho / UFPE

Recife

2024

Em memória da minha mãe, Maria
Gicleide, e a todas as vítimas da
Covid 19.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha mãe que me ensinou que a melhor maneira de vencer é persistir.

A PROAES (Pró-Reitoria para Assuntos Estudantis) por me ofertar a bolsa de assistência estudantil que possibilitou e incentivou a minha permanência na universidade.

Agradeço a PROPESQI (Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação) por me conceder a bolsa PIBIT que viabilizou a coleta dos dados e o desenvolvimento do meu TCC.

Ao meu orientador, Otacilio, por toda a sua paciência, confiança e compreensão. Agradeço imensamente a sua disponibilidade, dedicação e leveza com a minha pessoa.

Aos meus familiares, principalmente nas pessoas das minhas tias Gilvaneide e Gilvanea além dos meu tio Hélio e Moab, por todo suporte após a partida da minha amada mãe, como também por todo apoio em minha graduação e no enfrentamento da tuberculose e pneumonia.

Ao meu irmão por permanecer unido comigo e por todas às vezes que me deu um puxão de orelha para me alimentar corretamente, tendo assim forças para resistir aos tratamentos.

A toda a equipe médica, enfermeiros, farmacêuticos, atendentes e demais funcionários da Upinha ACS Maria Rita (Unidade de Saúde da Família) por todo cuidado, dedicação e atenção que foram de fundamental importância para o meu enfrentamento da tuberculose e pneumonia enquanto estava no 8º período.

Aos meus queridos e inesquecíveis amigos do “Povo do busão”, nas pessoas de Ana Carolina, Ana Beatriz Felix, Luiz Euzébio, Inaldo Henrique, Ingrid Coriolano, Karen Milleny, Miguel Gomes e Rikelme Carmo. Agradeço por cada risada, cada mensagem positiva, cada momento de estresse pós-prova e estresse da rotina de pegar ônibus cheios. Guardarei todos em minha memória.

Ao Sport Club do Recife, o melhor time do mundo. Meu amado clube que me traz alegria em dias tristes.

“Nesses tempos de céus de cinzas e chumbos, nós precisamos de árvores desesperadamente verdes.”

Mário Quintana, 2005.

RESUMO

A expansão das Universidades Federais, fruto do Plano de Reestruturação e Expansão (Reuni) e posteriormente por iniciativas individuais, ampliou as áreas construídas nas universidades para o recebimento de um número maior e gradativo de estudantes. Em contrapartida, reduziu as áreas verdes, aumentando consigo a exposição de estudantes e construções a radiação solar que tem como consequências o aumento da sensação térmica do local, redução da taxa fotossintética e aumento das concentrações de CO₂. Este estudo tem por objetivo analisar o impacto da arborização na concentração de CO₂ nas salas de aula dos campi da UFPE. A pesquisa envolveu os três campi da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE): Campus Recife, Campus Vitória e Campus Caruaru, na qual foram realizados o cálculo do Índice de Cobertura Arbóreo (ICA, por meio do Google Earth), a mensuração da concentração de CO₂ (pelo sensor ENS160), e de outras variáveis (temperatura e umidade). As análises e gráficos foram performados no programa BioEstat 5.3. Os resultados evidenciam maior ICA para o Campus Vitória, que também possui as menores médias nos valores da concentração de CO₂ (≈ 688 ppm, após uma hora e meia de aula), variações essas que foram significativamente maiores na sala de aula (interno) em comparação ao ambiente externo (≈ 410 ppm). A variável temperatura em sala de aula (interno) se manteve estável ($p > 0,05$) por conta dos ares-condicionados (23 °C a 26 °C) e externamente, o Campus Vitória a média ficou abaixo dos outros campi. Já em relação à variável umidade relativa do ar, o Campus Recife foi o mais úmido (≈ 60%), contudo, do externo para o interno (sala de aula), houve uma redução da umidade em torno de 17%. A hipótese desenhada foi aceita: quanto maior o índice de cobertura arbórea, menor a concentração de CO₂ nas salas de aula nos campi da UFPE. Diante disso, reforça-se a necessidade de um aumento do índice de cobertura arbórea para acima de 0,6 e instalação de sistemas de renovação do ar nas salas de aula.

Palavras-chave: Áreas Verdes. Qualidade do ar. Temperatura. Sensação Térmica.

ABSTRACT

The expansion of the Federal Universities by 'Plano de Reestruturação e Expansão (Reuni)', and later by individual initiatives, enhanced built areas at universities to receive a larger and gradual number of students. On the other hand, this expansion reduces green areas and increases the solar radiation exposure to students and buildings. This has, as a consequence, the increase of thermal sensation of the place, reduction of photosynthetic rate, and increase of CO₂ concentrations. This study aims to analyze the impact of afforestation on CO₂ concentration in classrooms of UFPE campuses. The research involved the three campuses of Federal University of Pernambuco (UFPE): Campus Recife, Campus Vitória, and Campus Caruaru. In this campuses were calculated Tree Cover Index (ICA, by Google Earth), measured CO₂ concentration (by the ENS160 sensor) and other variables (temperature and humidity). Analysis and graphics were performed in the BioEstat 5.3 program. The results show higher ICA for Campus Vitória, which also has the lowest averages in the values of CO₂ concentration ($\approx$ 688 ppm, after an hour and half of class). In the classroom (indoor), CO₂ concentration variations were significantly higher compared to outdoor ($\approx$ 410 ppm). The temperature in the classroom (indoor) remained stable ($p > 0.05$) because of air-conditioners (23 °C to 26 °C). Outdoor, the Campus Vitória average was the lowest than other studied campuses. Regarding the variable relative humidity, the Recife Campus was the most humid ($\approx$ 60%), however, from outdoor to indoor (classroom), there was a reduction in humidity of around 17%. The hypothesis drawn was accepted: When the Tree Cover Index was high, the data of CO₂ concentration were low in classrooms on UFPE campuses. Therefore, this work reinforces the need for an increase in the Tree Cover Index to above 0.6 and, the installation of air renewal systems in classrooms.

Keywords: Green areas. Air quality. Temperature. Thermal sensation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MÉTODOS E ANÁLISES	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4	CONCLUSÕES	21
	REFERÊNCIAS	22
	ANEXO A	26

1 INTRODUÇÃO

Os campi das universidades federais brasileiras aumentaram suas áreas construídas principalmente a partir de 2007, com o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), que investiu na ampliação do espaço construído para um aumento gradativo do ingresso de estudantes, e, em contrapartida, investimentos estruturais (Brasil, 2007). Na Universidade Federal de Pernambuco, o Campus Recife, inaugurado em 1948, aumentou a área construída neste período (e.g. Niates), o Campus Vitória (Vitória de Santo Antão) inaugurado em 2006 e consolidado com o Reuni, e o Campus Caruaru, inaugurado em 2010, fruto desta política afirmativa (UFPE, 2024a). Após o Reuni (2015 em diante), esta expansão foi continuada por iniciativas individuais dos docentes e grupos de pesquisas que captavam recursos nacionais e internacionais via terceiro setor, empresas públicas e privadas (Sá; Martinez, 2020).

A redução da área verde nas universidades resultou em um aumento a exposição dos estudantes e construções da radiação solar e consequentemente da sensação térmica local, a refletir na redução na taxa fotossintética (ciclos de sequestro de carbono) e aumento da emissão de carbono (CO_2) via processo de evapotranspiração, transportes, geradores, equipamentos, e outros (Vaughan; Lenton, 2012; Sovacool; Baum; Low, 2022). A arborização impacta diretamente a concentração de carbono e nos seus desdobramentos através: i) da absorção de CO_2 e liberação de Oxigênio (Bieluczyk et al., 2023); ii) da redução do efeito estufa (Uttaruk; Van Khoa; Aosuwan, 2024); iii) da melhoria da qualidade do ar (Chuang et al., 2023); iv) do conforto térmico e redução de temperatura (Santos et al., 2023), v) do bem-estar e saúde mental (Jones; McDermott, 2018); e vi) da Biodiversidade (Murphy et al., 2008).

Os ambientes, mesmo que com uma tendência de platô da temperatura interna (e.g. presença de ar-condicionado), geram uma resposta climática a partir do ingresso de uma biota e sua acomodação metabólica frente ao ambiente. Por um exemplo, um conjunto de morcegos que ingressam a uma caverna no período diurno, causam um aumento da temperatura e de emissão de carbono (via respiração) no seu ingresso, e depois, há uma tendência de estabilização nos valores destas variáveis por sua redução metabólica (dormência) (Rodríguez-Duran;

Soto-Ceteno, 2003). Isso é reportado, outro exemplo, para pessoas ao adentrarem em iglus (Zhen et al., 2021), e por que não com estudantes nas salas de aulas?

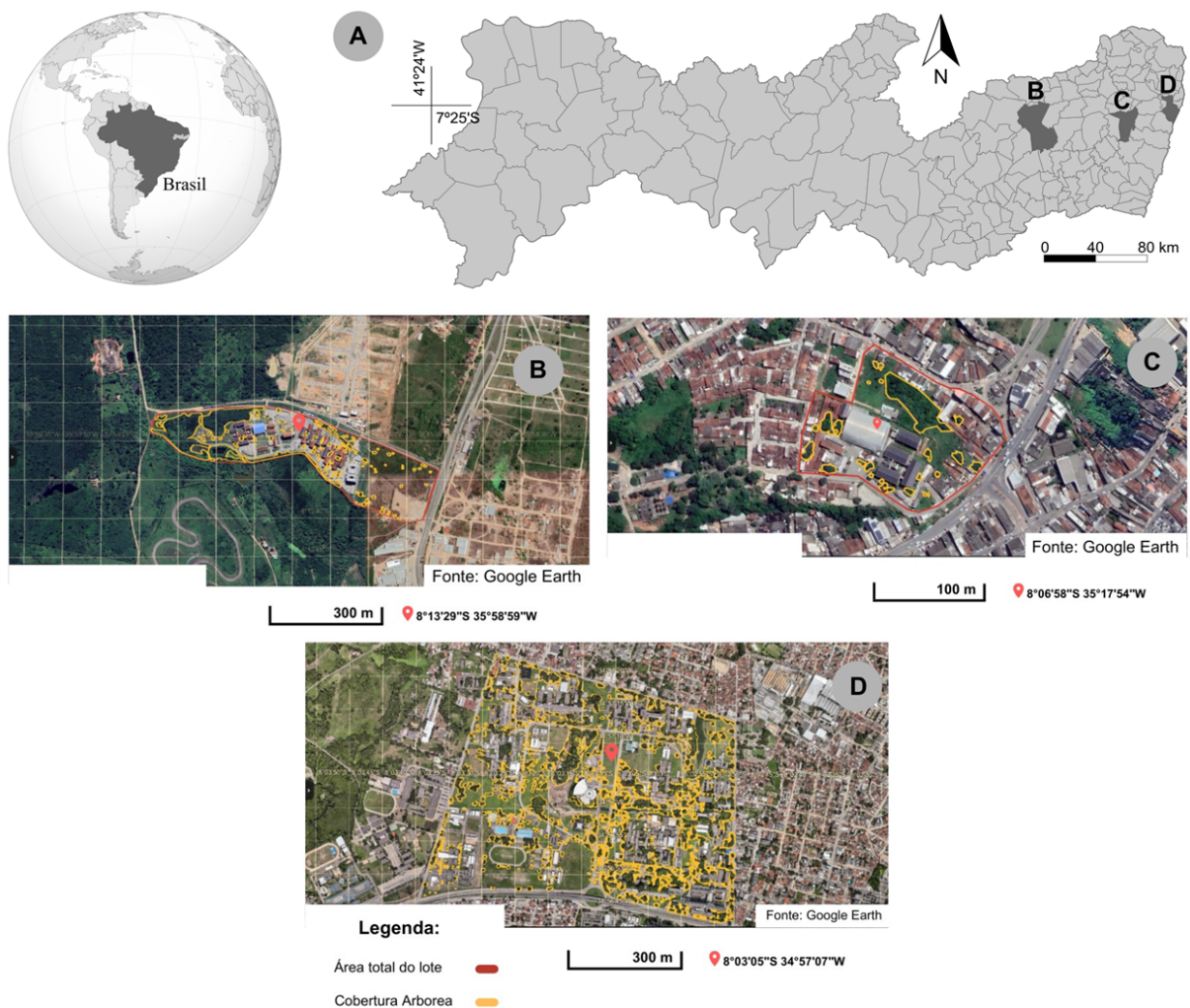
A importância de se estudar a concentração de CO₂ em sala de aula seria por oito motivos segundo a literatura: i) aumento da concentração de CO₂ na atmosfera devido a emissões advindas da queima de combustíveis fósseis, respiração dos animais (aumento com a pecuária), decomposição de matéria orgânica, processos industriais, desmatamento e queimadas, uso de energia, e atividades humanas (e.g. mobilidade) (Yang et al., 2024); ii) ambiente fechado com muitos alunos ($\approx 1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{aluno}^{-1}$) (Andamon; Rajagopalan; Woo, 2023); iii) ar-condicionados com inadequada limpeza e não frequente assepsia (Shiraishi et al., 2023); iv) aulas de uma hora e meia às quatro horas em ambiente fechado (UFPE, 2024b); v) CO₂ é um indicador internacional da Qualidade do Ar Interior (QAI) (Dumala; Guz; Badora, 2024); vi) conforto ambiental (Rizzo et al., 2024); vii) a mitigação de doenças respiratórias (Shiraishi et al., 2023); e viii) a implementação das Políticas de Desenvolvimento Institucional (PDI/UFPE) e Políticas Afirmativas (ODS, ESG, PNEA) (UFPE, 2024c).

Então, a hipótese deste trabalho de conclusão de curso foi: quanto maior o índice de cobertura arbórea, menor a concentração de CO₂ nas salas de aula dos campi da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O objetivo geral foi analisar o impacto da arborização na concentração de CO₂ nas salas de aula dos campi da UFPE, e os objetivos específicos foram: i) quantificar o valor do índice de cobertura arbórea dos campi da UFPE; ii) sistematizar um sistema de mensuração da concentração de CO₂; iii) mensurar a concentração de CO₂ nas salas de aula; iv) correlacionar as variáveis supracitadas e com as variáveis de Temperatura e Umidade; v) relacionar as variáveis ICA e a concentração de CO₂; e vi) recomendar ações para os Campi da UFPE

2 MÉTODOS E ANÁLISES

A área de estudo foram os três campi da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE): Campus Recife, Campus Vitória e Campus Caruaru (Figura 1). O primeiro passo metodológico foi o cálculo do Índice de Cobertura Arbórea (ICA), calculado conforme a Eq. 1 (Encinas, 2014) com os dados quantificados por meio do Google Earth (2024) (Figura 2). Como conceito, cobertura arbórea, ou dossel das árvores são as camadas de folhas acima de 1,3 m que cobrem a superfície e impedem acima de 70% da passagem da radiação solar (Encinas, 2014), dados observados via Google Earth (2004).

Figura 1 – Área de Estudo: (A) Pernambuco, Brasil; e campi da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) B) Campus Caruaru, C) Campus Vitória e D) Campus Recife.



Fonte: Google Earth (2024) adaptada pela autora.

$$ICA(\%) = \frac{\text{Área de Cobertura Arbórea}}{\text{Área Total}}$$

Eq.1

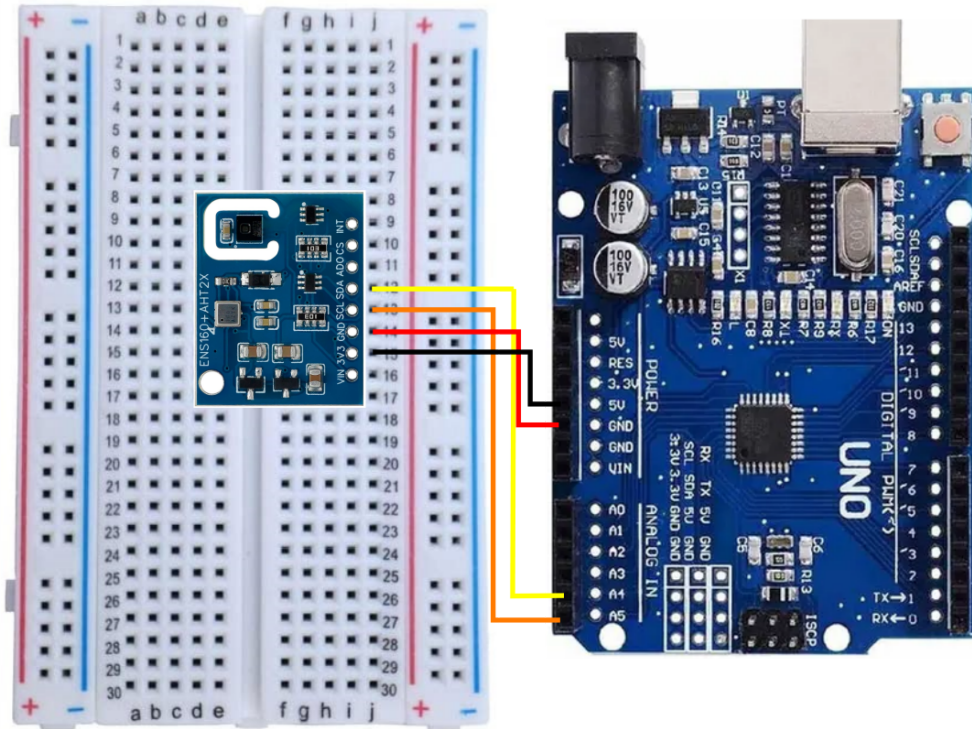
Figura 2 – Método de coleta da área com e sem a cobertura arbórea.



Fonte: Google Earth (2024) adaptada pela autora.

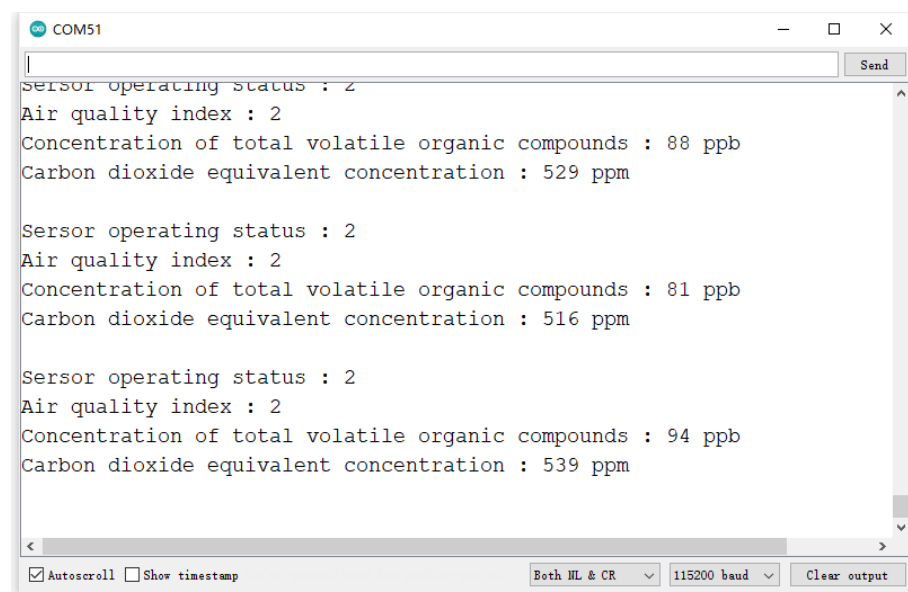
Na etapa seguinte, o hardware foi sistematizado na Prototipagem Arduino seguindo os conjuntos de instruções disponibilizadas no Arduino Projeto Hub (Arduino, 2023a). O sensor utilizado para mensuração dos dados foi o ENS160 (Figura 3), que permite a mensuração da variável concentração de CO₂ (ppm), montados sob uma Placa Arduino Uno e organizada no BreadBoard. A comunicação hardware-software se deu pelo aplicativo Arduino IDE (Arduino, 2023b) através do Sketchbook (Anexo A) adaptado do Projeto ENS160 GitHub (Mezzaroba, 2023) (Figura 4). Após a montagem e comunicação, a calibração do equipamento foi realizada em comparação com a mensuração pareada com o Monitor de Qualidade de Ar de alta precisão da marca Mibee (MENRED GmbH, Weisswasser Germany), que mensuraram as variáveis: concentração de CO₂, temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%).

Figura 3 – Sensor ENS160 na Plataforma Arduino.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 4 – Saída do Dado no Arduino IDE.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores de referência para concentração de CO₂ em relação à qualidade do ar para saúde humana foram obtidos da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) (Tabela 1).

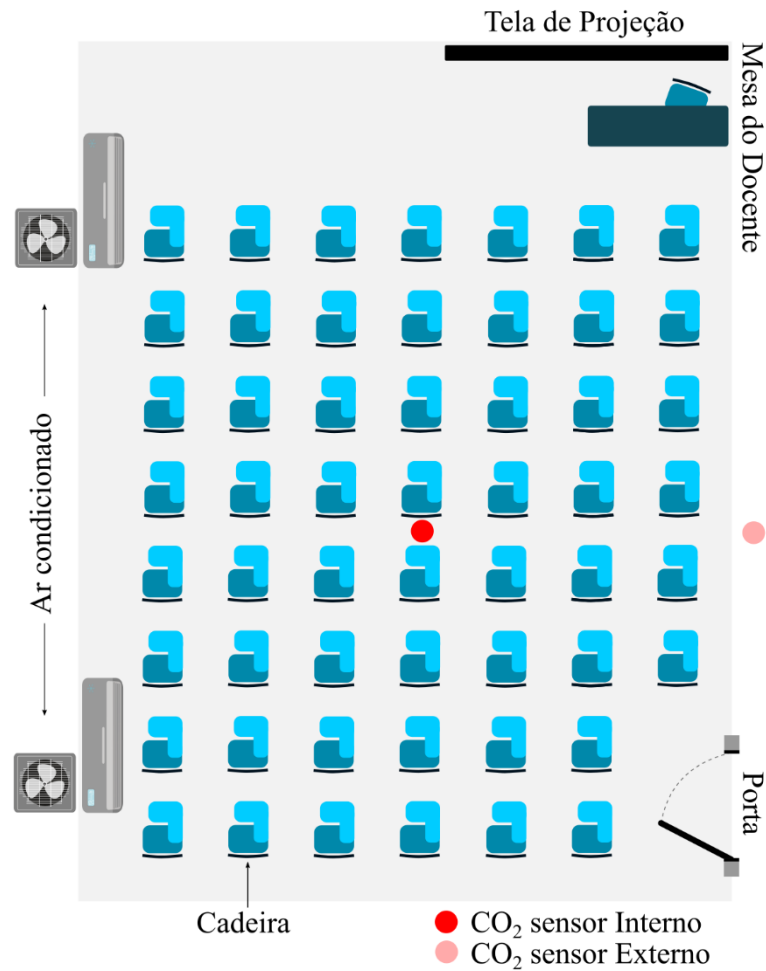
Tabela 1 – Faixas de concentração de CO₂ e impactos à saúde segundo parâmetros da OMS.

Cor de Referência	Valor de Referência (ppm)	Interpretação [Ambientes Internos]	Impacto à Saúde Humana
	250 – 700	Boa	
	700 – 1000	Moderada	Aumento da Taxa de Respiração / Cansaço / Tosse Seca
	1.000 – 2.500	Ruim	Aumento da Pressão Sanguínea / Cefaleia / Náusea / Vômito
	2.500 – 5.000	Muito Ruim	Rápida Inconsciência
	> 5.000	Péssima	Rápida Inconsciência / Morte Instantânea

Fonte: WHO (2021).

O desenho experimental foi mensurar as variáveis concentração de CO₂, temperatura e umidade, interno (indoor) e externo (outdoor) das salas de aula em cinco momentos: i) 0h00min (15 min antes da aula), ii) 0h30min (15 min depois do início da aula), iii) 1h00min, iv) 1h30min, v) 2h00 (15 min depois da aula) (Figura 5). A aula aqui compreendia duas horas-aula [2 * (50 min cada + 10 min intervalos)], porém em acordo com os alunos foram lecionadas de forma contínua (1h30min). Os dados foram coletados em 30 aulas (30 dados internos e 30 externos) por campus. Os tamanhos das salas ($70 \pm 3 \text{ m}^2$), o volume das salas ($210 \pm 9 \text{ m}^3$), a quantidade de alunos (25 ± 5), possível entrada e saída de alunos no horário da aula, coleta de dados entre turnos (matutino, vespertino e noturno), e dias chuvosos e secos, não afetaram os dados significativamente ($p > 0,005$) as distribuições de normalidade (D'AGOSTINO; PEARSON, 1973) entre os campus.

Figura 5 – Desenho Experimental na sala de aula.



Fonte: Elaborada pela autora.

As análises estatísticas todas foram executadas no programa BioEstat 5.3 (2024) de acordo com Zar (2010). A análise de Correlação de Pearson foi realizada entre as variáveis ICA, concentração de CO₂, Temperatura e Umidade; o Test T entre os grupos amostrais interno e externo da concentração de CO₂ e entre os grupos amostrais da variável temperatura e umidade; e a Análise de Regressão entre ICA (x) e a concentração de CO₂ (y).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Campus que teve o maior valor do índice de cobertura arbórea (ICA) foi o de Vitória (0,42), seguido pelo Campus Caruaru (0,32) e pelo Campus Recife (0,26) (Tabela 2). Este índice foi bem abaixo das metas estabelecidas para campus universitários de aproximadamente acima de 0,50, característica dos campus universitários no mundo (Roman et al., 2017; NCSU, 2017; UoS, 2020). O observatório das Florestas o Global Forest Watch apresenta em seus dados que os municípios de Recife, Caruaru e Vitória de Santo Antão perderam cerca de 30% de suas árvores urbanas de 2001 a 2023 (Global Forest Watch, 2024).

Tabela 2 – Índice de Cobertura Arbórea nos três campi da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Variáveis	Campus Recife	Campus Vitória	Campus Caruaru
Área de Cobertura Arbórea (m ²)	336.749,69	14.357,52	75.685,27
Área Total (m ²)	1.302.272,74	34.573,61	236.681,23
ICA	0,26	0,42	0,32

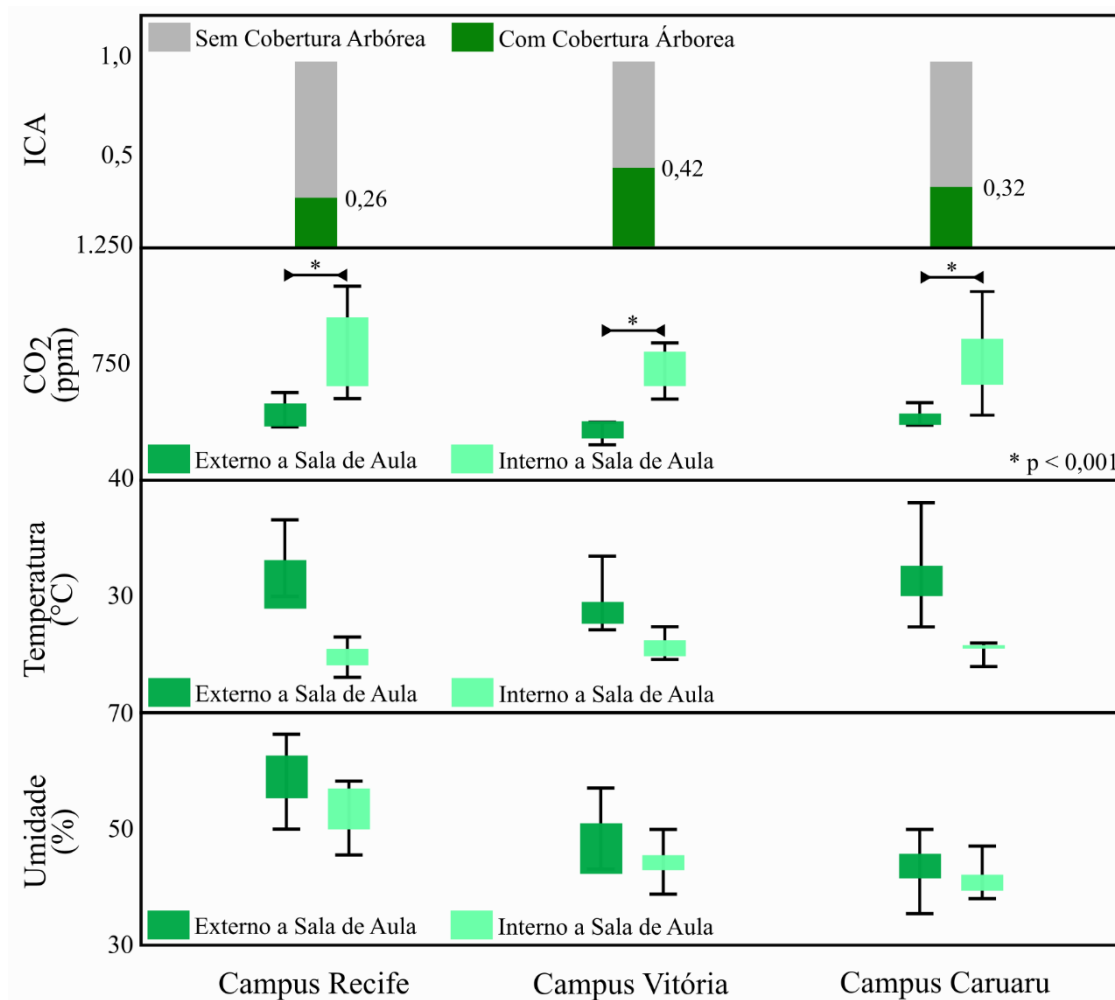
Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores da concentração externa de CO₂ nos três campi variaram entre 400 a 550 ppm, sendo que a média mais baixa foi no Campus Vitória (410 ppm) em comparação com os campi Recife (434 ppm) e Caruaru (427 ppm) (Figura 6). Este dado já mostra o impacto da cobertura arbórea na variável concentração de CO₂ nos campi. Quando este dado médio aumentava ($\approx$ 550 ppm), foi notado que havia uma circulação maior de automóveis (e.g. ônibus, vans) e um acionamento do gerador de energia a diesel. Isto se corrobora com a literatura (Frome et al., 2008; Chatzidiakou; Mumovic; Summerfield, 2015).

Na sala de aula (interno), os valores da concentração de CO₂ foram maiores significativamente do que na parte externa ($p < 0,001$; figura 6) a chegar a 200% (Campus Recife) de aumento médio do externo para o interno (799 ppm), 190% no Campus Caruaru (763 ppm) e 160% no Campus Vitória (688 ppm). Isto ressaltou a importância de se monitorar a concentração deste gás em sala de aula, e estes

dados foram próximos a estudos realizados na mesma circunstância e outras instituições de ensino (Chatzidiakou; Mumovic; Summerfield, 2015; Andamon; Rajagopalan; Woo, 2023).

Figura 6 – Resultado das variáveis mensuradas nos três campi da UFPE.

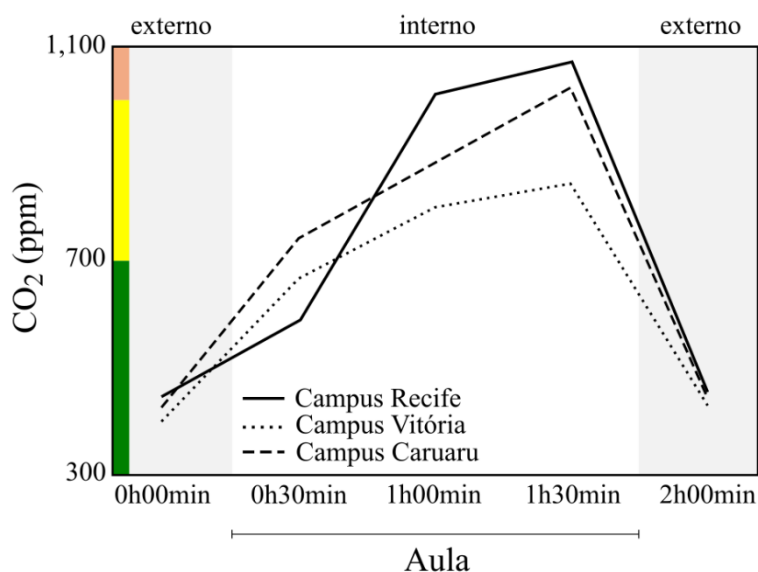


Fonte: Elaborada pela autora.

Os dados de destaque foram a amplitude (Figura 7) do valor que chega a partir de uma hora de aula com todos confinados em um ambiente: 1.087 ppm (Campus Recife), 1.009 ppm (Campus Caruaru), e 899 ppm (Campus Vitória), valores que atingem níveis 'moderados' a 'ruim' conforme a Organização Mundial de Saúde (2021), ver Tabela 1. A lembrar que em um ambiente fechado a concentração em ppm é acumulativa (Figura 7). A exposição a estas concentrações impactam a saúde dos alunos e professores, pois muitos chegam a ficar oito horas por dia em sala de aula (UFPE, 2024b). Pesquisadores descreveram que o aumento da

concentração de CO₂ em um ambiente fechado afetou a regulação fisiológica humana do sódio causando a arritmia cardíaca (Zhang et al., 2019). Já houve relatos espontâneos de alunos e professores nestes campi do aumento da taxa de respiração, cansaço, tosse seca e cefaleia que passaram por esta exposição, a impactar não somente a saúde mais a aprendizagem, como relatos encontrados na literatura (Muscatiello et al., 2015).

Figura 7 – Média das concentrações de CO₂ ao longo das aulas nos três campi da UFPE.



Fonte: Elaborada pela autora.

A variável temperatura em sala de aula (interno) se manteve estável ($p > 0,05$) por conta dos ares-condicionados (23°C a 26°C) e externamente, apenas no Campus Vitória a média ficou abaixo (27°C ; $p < 0,012$) dos outros campi ($\approx$ de 30°C). Em relação à variável umidade relativa do ar, o Campus Recife foi o mais úmido ($\approx 60\%$), diferenciando dos outros campi ($p < 0,001$) em que os valores foram abaixo dos 45% . Alguns pesquisadores descreveram que em um ambiente com muito vapor de água e CO₂, ocorre a carbonatação, sendo a reação química resultante na formação do ácido carbônico (H₂CO₃) que pode mascarar o valor da concentração do CO₂ por breves momentos caso haja variação da umidade no ambiente (Yang et al., 2023). Nos três campi, do externo para o interno (sala de aula), houve uma redução da umidade em torno de 17% ($p < 0,001$), ocasionado possivelmente pelos ares-condicionados.

A variável ICA se correlaciona significativamente ($r > 0.500$) e inversamente com a concentração de CO_2 e temperatura, ou seja, quanto maior for a cobertura arbórea, menor a concentração de CO_2 e temperatura. Em relação à umidade, o ICA se correlaciona de forma significativa e direta. Em sala de aula, a variável concentração de CO_2 se correlacionou de forma significativa e direta com a umidade, porém de forma não significativa com a temperatura que era regulada pelo ar-condicionado. Por este mesmo motivo a relação entre umidade e temperatura não se correlacionaram de forma significativa (Tabela 3).

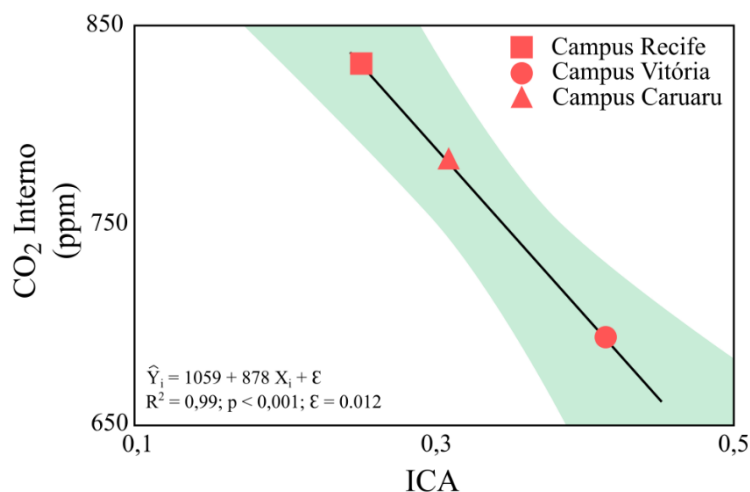
Tabela 3 – Correlação entre as variáveis coletadas no ambiente interno (sala de aula): índice de cobertura arbórea (ICA), concentração de CO_2 (ppm), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), e umidade relativa do ar (%).

Correlação Pearson	ICA	CO_2	Temperatura	Umidade
ICA	1			
CO_2	-0,931	1		
Temperatura	-0,808	0,102	1	
Umidade	0,687	0,711	0,199	1

Fonte: Elaborada pela autora.

Na análise de regressão (Figura 8) com todos os dados dos campi, ficou comprovada ($R^2 = 0,99$) a hipótese de quanto maior o índice de cobertura arbórea, menor a concentração de CO_2 nas salas de aula dos campi da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Isto fortalece o discurso dos pesquisadores que insistem que a rearborização urbana reduz a concentração de gases de efeitos estufa e seus impactos na saúde dos discentes e docentes e na construção do conhecimento (Platinga; Mauldin, 2001; Suganuma et al., 2019).

Figura 8 – Resultado da Análise de Regressão entre a concentração de CO_2 e o índice de cobertura arbórea (ICA) nos três campi da UFPE (■, ▲, ● dados médios, e ■ desvio padrão dos dados).



Fonte: Elaborada pela autora.

4 CONCLUSÕES

Os objetivos propostos deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foram cumpridos: a quantificação do valor do índice de cobertura arbórea dos campi da UFPE, um sistema de mensuração da concentração de CO₂, a mensuração da concentração de CO₂ nas salas de aula, a correlação entre as variáveis supracitadas e com as variáveis de Temperatura e Umidade, a relação estatística entre a variável ICA e a concentração de CO₂.

A hipótese desenhada foi aceita: 'Quanto maior o índice de cobertura arbórea, menor a concentração de CO₂ nas salas de aula nos campi da UFPE'. A recomendação que fica para os campi da UFPE é a necessidade de um aumento do índice de cobertura arbórea para acima de 0,6 e instalação de sistemas de renovação do ar nas salas de aula.

REFERÊNCIAS

- ANDAMON, M. M.; RAJAGOPALAN, P.; WOO, J. Evaluation of ventilation in Australian school classrooms using long-term indoor CO₂ concentration measurements. **Building and Environment**, v. 237, 2023. Doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110313
- ARDUINO. **+New Project**. 2023a. Disponível em arduino.cc/ Acesso em Jan 2023.
- ARDUINO. **Projeto Hub**. 2023b. Disponível em projecthub.arduino.cc/ Acesso em Jan 2023.
- BIELUCZYK, W.; ASSELTA, F. O.; NAVROSKI, D.; GONTIJO, J. B.; VENTURINI, A. M.; MENDES, L. W.; SIMON, C. P.; CAMARGO, P. B. DE; TADINI, A. M.; MARTIN-NETO, L.; BENDASSOLLI, J. A.; RODRIGUES, R. R.; VAN DER PUTTEN, W. H.; TSAI, S. M. Linking above and belowground carbon sequestration, soil organic matter properties, and soil health in Brazilian Atlantic Forest restoration. **Journal of Environmental Management**, v. 344, 2023. Doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118573
- BIOESTAT. **Pacote Estatístico v. 5.3**. Disponível em mamiraua.org.br/downloads/programas/ Acesso em Mar 2024.
- BRASIL. **Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI)**. Decreto n.º 6.096, de 24 de abril de 2007. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6096.htm Acesso em Jan 2023
- CHATZIDIAKOU, L.; MUMOVIC, D.; SUMMERFIELD, A. Is CO₂ a good proxy for indoor air quality in classrooms? Part 2: Health outcomes and perceived indoor air quality in relation to classroom exposure and building characteristics. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 36, n. 2, p. 162–181, 2015. doi: 10.1177/0143624414566245
- CHUANG, K. J.; LEE, C. Y.; WANG, S. T.; LIU, I. J.; CHUANG, H. C.; HO, K. F. The Association between Indoor Carbon Dioxide Reduction by Plants and Health Effects. **Indoor Air**, v. 2023, 2023. Doi: 10.1155/2023/1558047
- D'AGOSTINO, R.; PEARSON, E. Tests for departures from normality. Empirical results for the distribution of b1 and b2. **Biometrika**, v. 60, p. 613-622, 1973.
- DUMALA, S. M.; GUZ, L.; BADORA, A. Indoor Air Quality in Schools Located in Poland, Lublin Province. **Journal of Ecological Engineering**, v. 25, n. 1, p. 17–26, 2024. Doi: 10.12911/22998993/172188
- ENCINAS, J. I.; PERES, J. J.; REZENDE, A. V.; IMANA, C. R.; SANTANA, O. A.; MEIRA Jr, M. S. **Conceptos dasométricos en los inventarios fitosociológicos**. Brasília, Brasil: Universidade de Brasília; Linares, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2014. 83 p., il.

FROMME, H.; HEITMANN, D.; DIETRICH, S.; SCHIERL, R.; KÖRNER, W.; KIRANOGLU, M.; ZAPP, A.; TWARDELLA, D. Air quality in schools - Classroom levels of carbon dioxide (CO₂), volatile organic compounds (VOC), aldehydes, endotoxins and cat allergen. **Gesundheitswesen**, v. 70, n. 2, p. 88–97, 2008. doi: 10.1055/s-2008-1046775

GOOGLE EARTH. **Explore**. Disponível em earth.google.com Acesso em Mar 2024.

GLOBAL FOREST WATCH. **Tree cover loss**. Disponível em globalforestwatch.org/ Acesso em Mai 2024.

JONES, B. A.; MCDERMOTT, S. M. The economics of urban afforestation: Insights from an integrated bioeconomic-health model. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 89, p. 116–135, 2018. Doi: 10.1016/j.jeem.2018.03.007

MEZZARROBA, P. **ENS160-AHT21**. Disponível em github.com/PietroMezzaroba/ENS160-AHT21 Acesso em Fev 2023.

MUSCATIELLO, N.; MCCARTHY, A.; KIELB, C.; HSU, W. H.; HWANG, S. A.; LIN, S. Classroom conditions and CO₂ concentrations and teacher health symptom reporting in 10 New York State Schools. **Indoor Air**, v. 25, n. 2, p. 157–167, 2015. Doi: 10.1111/ina.12136

MURPHY, M.; BALSER, T.; BUCHMANN, N.; HAHN, V.; POTVIN, C. Linking tree biodiversity to belowground process in a young tropical plantation: Impacts on soil CO₂ flux. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 7, p. 2577–2588, 2008. Doi: 10.1016/j.foreco.2008.01.034

NCSU - North Caroline State University. **Sustainability Strategic Plan**. Raleigh: NCSU - USA. 2017. <https://sustainability.ncsu.edu/wp-content/uploads/2017/06/Sustainability-Strategic-Plan.pdf>

PLANTINGA, A. J.; MAULDIN, T. A method for estimating the cost of CO₂ mitigation through afforestation. **Climatic Change**, v. 49, n. 1–2, p. 21–40, 2001. Doi: 10.1023/A:1010749214244

RIZZO, K.; CAMILLERI, M.; GATT, D.; YOUSIF, C. Optimising Mechanical Ventilation for Indoor Air Quality and Thermal Comfort in a Mediterranean School Building. **Sustainability** (Switzerland), v. 16, n. 2, 2024. Doi: 10.3390/su16020766

ROMAN, L. A.; FRISTENSKY, J. P.; EISENMAN, T. S.; GREENFIELD, E. J.; LUNDGREN, R. E.; CERWINKA, C. E.; HEWITT, D. A.; WELSH, C. C. Growing Canopy on a College Campus: Understanding Urban Forest Change through Archival Records and Aerial Photography. **Environmental Management**, v. 60, n. 6, p. 1042–1061, 2017. Doi: 10.1007/s00267-017-0934-0

RODRÍGUEZ-DURÁN, A.; SOTO-CENTENO, J. A. Temperature selection by tropical bats roosting in caves. **Journal of Thermal Biology**, v. 28, n. 6–7, p. 465–468, 2003. Doi: 10.1016/S0306-4565(03)00046-9

SÁ, C. M.; MARTINEZ, M. Brazil-EU Cooperation in Higher Education. In: Elizabeth Balbachevsky; Yuzhuo Cai; Heather Eggins; Svetlana Shenderova. **Building Higher Education Cooperation with the EU**. Leiden: Brill. 2020. doi: 10.1163/9789004445420_004

SANTOS, A. A. S.; ROMAO, P. D.; NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. Urban Afforestation and its Relation to Temperatures and Thermal Discomfort Zones in the Campinas Neighborhood – Goiania (GO). **GeoAmbiente On-Line**, n. 45, p. 1–23, 2023.

SHIRAISHI, Y.; HARADA, K.; MAEDA, C.; OGINO, F.; SUZUKI, Y.; OKADA, N.; TOMOMATSU, K.; SEKINE, Y.; YANAGI, U.; IMANISHI, T.; OGUMA, T.; ASANO, K. A Method to Evaluate and Eliminate Fungal Contamination in Household Air Conditioners. **Indoor Air**, v. 2023, 2023. Doi: 10.1155/2023/8984619

SOVACOOOL, B. K.; BAUM, C. M.; LOW, S. Determining our climate policy future: expert opinions about negative emissions and solar radiation management pathways. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 27, n. 8, 2022. doi: 10.1007/s11027-022-10030-9

SUGANUMA, H.; AIKAWA, S. I.; SAKAI, Y.; HAMANO, H.; TAKAHASHI, N.; TAHARA, K.; KAWARASAKI, S.; UTSUGI, H.; EGASHIRA, Y.; KAWANISHI, T.; HARPER, R. J.; TANOUCHI, H.; KOJIMA, T.; ABE, Y.; SAITO, M.; KATO, S.; LAW, J.; YAMADA, K. Estimation of CO₂ sequestration potential by afforestation in the arid rangelands of Western Australia based on long-term empirical data. **Ecological Engineering**, v. 133, p. 109–120, 2019. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2019.04.015

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco. **História**. Disponível em ufpe.br Acesso Mar 2024a.

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco. **Horários de Aula**. Disponível em ufpe.br/ciencias-ambientais Acesso Mar 2024b.

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco. **Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI/UFPE)**. Disponível em ufpe.br/pdi Acesso Mar 2024c.

UOS - University of Southampton. **Sustainability Strategic Plan**. Southampton: UoS - UK. 2020. www.southampton.ac.uk/~assets/doc/susdev/SustainabilityStrategy2020-2025.pdf

UTTARUK, Y.; VAN KHOA, P.; LAOSUWAN, T. A Guideline for Greenhouse Gas Emission Reduction and Carbon Sequestration in Forest Sector Based on Thailand Voluntary Emission Reduction Programme. **Sains Malaysiana**, v. 53, n. 3, p. 477–486, 2024. Doi: 10.17576/jsm-2024-5303-01

VAUGHAN, N. E.; LENTON, T. M. Interactions between reducing CO₂ emissions, CO₂ removal and solar radiation management. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 370, n. 1974, p. 4343–4364, 2012. doi: 10.1098/rsta.2012.0188

WHO – World Healthy Organization. **WHO global air quality guidelines**. Geneva: WHO, 2021.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>

YANG, S.; WANG, X.; GE, Z.; DONG, G.; MA, M.; HAN, X. Global Per Capita CO₂ Emission Trends. **Atmosphere**, v. 14, n. 12, 2023. Doi: 10.3390/atmos14121797

YANG, R.; WANG, J. ZHANG, X.; LI, J.; CHEN, M. Radon exhalation from cement-based materials under accelerated carbonation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 17, p. 50610–50619, 2023. Doi: 10.1007/s11356-023-25831-x

ZHANG, Q.; MA, J. H.; LI, H.; WEI, X. H.; ZHENG, J.; LI, G.; WANG, C. Y.; WU, Y.; HE, Q. H.; WU, L. Increase in CO₂ levels by upregulating late sodium current is proarrhythmic in the heart. **Heart Rhythm**, v. 16, n. 7, p. 1098–1106, 2019. doi: 10.1016/j.hrthm.2019.01.029

ZHEN, M.; DONG, Q.; XU, M.; LIU, Y.; ZHANG, H.; JIA, Y.; YANG, B. Thermal benefit of igloos in extremely cold conditions in Harbin, China. **Building and Environment**, v. 190, 2021. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107546

ZAR, J. **Biostatistical analysis**. 5th. ed. New Jersey: Prentice Hall. 2010.

ANEXO A - SKETCHBOOK ADAPTADO DO PROJETO ENS160 GITHUB (MEZZAROBBA, 2023).

```

/*!
 * @file getMeasureData.ino
 * @brief Get the sensor data by polling (use 3.3V main controller for Fermion version)
 * @details Configure the sensor power mode and parameters (for compensating the calibrated temperature and relative humidity in gas measurement)
 * @copyright Copyright (c) 2010 DFRobot Co.Ltd (http://www.dfrobot.com)
 * @license The MIT License (MIT)
 * @author [qsjhyy](yihuan.huang@dfrobot.com)
 * @version V1.0
 * @date 2021-10-26
 * @url https://github.com/DFRobot/DFRobot\_ENS160
 */
#include <DFRobot_ENS160.h>

#define I2C_COMMUNICATION //I2C communication. Comment out this line of code if you want to use SPI communication.

#ifndef I2C_COMMUNICATION
/**
 * For Fermion version, the default I2C address is 0x53, connect SDO pin to GND and I2C address will be 0x52
 */
DFRobot_ENS160_I2C ENS160(&Wire, /*I2CAddr*/ 0x53);
#else
/**
 * Set up digital pin according to the on-board pin connected with SPI chip-select pin
 * csPin Available Pins. For example: ESP32&ESP8266(D3), m0(6)
 */
uint8_t csPin = D3;
DFRobot_ENS160_SPI ENS160(&SPI, csPin);
#endif

void setup(void)
{
    Serial.begin(115200);

    // Init the sensor
    while( NO_ERR != ENS160.begin() ){
        Serial.println("Communication with device failed, please check connection");
        delay(3000);
    }
    Serial.println("Begin ok!");

    /**
     * Set power mode
     * mode Configurable power mode:
     * ENS160_SLEEP_MODE: DEEP SLEEP mode (low power standby)
     * ENS160_IDLE_MODE: IDLE mode (low-power)
     * ENS160_STANDARD_MODE: STANDARD Gas Sensing Modes
     */
    ENS160.setPWRMode(ENS160_STANDARD_MODE);

    /**
     * Users write ambient temperature and relative humidity into ENS160 for calibration and compensation of the measured gas data.
     * ambientTemp Compensate the current ambient temperature, float type, unit: C
     * relativeHumidity Compensate the current ambient humidity, float type, unit: %rH
     */
    ENS160.setTempAndHum(/*temperature=*/25.0, /*humidity=*/50.0);
}

void loop()
{
    /**
     * Get the sensor operating status
     * Return value: 0-Normal operation,
     * 1-Warm-Up phase, first 3 minutes after power-on.
     * 2-Initial Start-Up phase, first full hour of operation after initial power-on. Only once in the sensor's lifetime.
     * note: Note that the status will only be stored in the non-volatile memory after an initial 24h of continuous
     * operation. If unpowered before conclusion of said period, the ENS160 will resume "Initial Start-up" mode
     * after re-powering.
     */
    uint8_t Status = ENS160.getENS160Status();
    Serial.print("Sensor operating status : ");
    Serial.println(Status);

    /**
     * Get the air quality index
     * Return value: 1-Excellent, 2-Good, 3-Moderate, 4-Poor, 5-Unhealthy
     */
    uint8_t AQI = ENS160.getAQI();
    Serial.print("Air quality index : ");
    Serial.println(AQI);

    /**
     * Get TVOC concentration
     * Return value range: 0-65000, unit: ppb
     */

```

```

uint16_t TVOC = ENS160.getTVOC();
Serial.print("Concentration of total volatile organic compounds : ");
Serial.print(TVOC);
Serial.println(" ppb");

/**
 * Get CO2 equivalent concentration calculated according to the detected data of VOCs and hydrogen (eCO2 - Equivalent CO2)
 * Return value range: 400-65000, unit: ppm
 * Five levels: Excellent(400 - 600), Good(600 - 800), Moderate(800 - 1000),
 *              Poor(1000 - 1500), Unhealthy(> 1500)
 */
uint16_t ECO2 = ENS160.getECO2();
Serial.print("Carbon dioxide equivalent concentration : ");
Serial.print(ECO2);
Serial.println(" ppm");

Serial.println();
delay(1000);
}

```