

# Pegada de Carbono em Ambientes Acadêmicos: análise das emissões de carbono em laboratórios de computação

Alan Wallace Corrêa<sup>1</sup>, Lucas Ferraro Cardoso<sup>1,2</sup> e Regiane Kawasaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Belém – PA – Brasil

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Vale (ITV)  
Belém – PA – Brasil.

alan.silva.correa@icen.ufpa.br, lucas.cardoso@icen.ufpa.br

kawasaki@ufpa.br

**Abstract.** *The continuous increase in greenhouse gas (GHG) emissions has caused global environmental impacts. Although Information Technology (IT) contributes significantly to these emissions, it also has the potential to quantify them and propose mitigation strategies, especially with regard to scope 2. This study estimated carbon emissions associated with the electrical consumption of computers in the laboratories of the School of Computing at the Federal University of Pará, considering their use by students during the academic term. The results highlight the role of the academic community in adopting sustainable practices, aligned with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs).*

**Resumo.** *O aumento contínuo das emissões de gases de efeito estufa (GEE) tem provocado impactos ambientais globais. Embora a Tecnologia da Informação (TI) contribua significativamente para essas emissões, também possui o potencial de quantificá-las e propor estratégias de mitigação, especialmente no que se refere ao escopo 2. Este estudo estimou as emissões de carbono associadas ao consumo elétrico de computadores nos laboratórios da Faculdade de Computação da Universidade Federal do Pará, considerando o uso pelos discentes durante o período letivo. Os resultados evidenciam o papel da comunidade acadêmica na adoção de práticas sustentáveis, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas.*

## 1. Introdução

Relatórios da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2024 apontam o crescimento contínuo das emissões de gases de efeito estufa (GEE), evidenciando falhas no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)[United Nations 2024]. O Objetivo de número 13 visa a adoção de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos, com ênfase na promoção da educação e na conscientização sobre a capacidade humana e institucional de mitigar esses efeitos[Nações Unidas Brasil 2025].

A Tecnologia da Informação (TI) contribui significativamente para as emissões dos GEE, especialmente no escopo 2, relacionadas ao consumo de eletricidade.No entanto, toda a cadeia de produção também influencia no aumento dessas emissões, cuja intensificação já resulta em alterações climáticas visíveis[Murugesan 2008].

Estudos como [Lannelongue et al. 2021] e [Freitag et al. 2021], mostram que o avanço da computação, inclusive em aplicações científicas, tem elevado o consumo energético e, conseqüentemente, as emissões de carbono. Um exemplo é o treinamento do modelo Meena, do Google, que gerou emissões equivalentes a 71 viagens entre Nova Iorque e Melbourne. Neste cenário, este trabalho apresenta estimativas das emissões de carbono associadas ao uso de computadores nos laboratórios da Faculdade de Computação (FACOMP) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Os cálculos foram realizados com base em medições de campo utilizando wattímetro e nos fatores de emissão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Além disso, são propostas recomendações para reduzir o consumo energético e mitigar as emissões de escopo 2.

Este estudo contribui ao evidenciar o impacto ambiental do uso cotidiano de computadores em ambientes acadêmicos, oferecendo uma metodologia replicável para estimar emissões GEE e propor soluções de mitigação no contexto educacional, ainda pouco explorado pela literatura nacional.

A organização do trabalho está estruturada da seguinte forma: na Seção 2, são apresentadas revisões de trabalhos relacionados às estimativas de carbono e às estratégias de mitigação das emissões do escopo 2. A Seção 3 descreve a metodologia adotada, abrangendo desde o levantamento das informações dos computadores até os procedimentos de análise. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos, discussões e propõe recomendações para mitigação das emissões. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões do estudo, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## **2. Trabalhos Relacionados**

[Casarin and Ribeiro 2013] realizaram medições comparativas em dois laboratórios de computação no ISCTE-IUL, avaliando o impacto de softwares voltados à redução do consumo energético. Os resultados demonstraram redução nas emissões de carbono após a adoção dessas ferramentas, promovendo práticas de computação verde. [Sutton-Parker 2022b] propôs medições baseadas em parâmetros da Energy Star, comparando o consumo energético dos sistemas operacionais Windows e Google Chrome OS Flex. O estudo apontou redução de 18% a 20% no uso de eletricidade com o Chrome OS Flex, viabilizando economia e reutilização de computadores legados. Também destacou a importância da aquisição de dispositivos com foco em eficiência energética para mitigar as emissões de escopo 2. [Lannelongue et al. 2021] desenvolveram uma ferramenta para estimar emissões de carbono com base em hardware, software e algoritmos utilizados em pesquisas científicas. A análise abrange áreas como física, meteorologia e ciência da computação, propondo melhorias em data centers e na eficiência algorítmica para reduzir impactos ambientais.

Esses estudos fundamentaram a presente pesquisa, oferecendo diretrizes metodológicas e práticas para a medição de consumo energético e estimativas de emissões de escopo 2 em ambientes educacionais.

## **3. Metodologia**

Para estimar as emissões de carbono do escopo 2 nos computadores dos três laboratórios da FACOMP-UFPA, considerando o período letivo e os horários de aula no turno vespertino, foram definidas sete etapas metodológicas: (1) levantamento dos computadores, (2)

criação do protocolo para medições de teste, (3) medições experimentais, (4) atualização do protocolo, (5) medição final dos computadores, (6) cálculos das emissões de carbono e (7) análise dos dados. O Fluxograma na Figura 1 ilustra as etapas da metodologia.

As cinco primeiras etapas tiveram como objetivo compreender a estrutura dos laboratórios e os modelos de computadores disponibilizados aos discentes, além de adaptar a abordagem de medição à realidade do ambiente, visando maior precisão nos dados coletados. As etapas seguintes foram responsáveis pelo cálculo das emissões por laboratório, horários de aula, dias da semana e meses do calendário acadêmico. Para isso, foram utilizadas bibliotecas Python na geração de gráficos que facilitam a visualização e a interpretação dos dados de consumo energético e emissões de *carbono*<sup>1</sup>.

A etapa final do processo consistiu na análise dos dados obtidos, visando interpretar os padrões de consumo energético e estimar as emissões de carbono do escopo 2. Os resultados e suas respectivas discussões são apresentados de forma detalhada na Seção 4, permitindo uma compreensão mais ampla dos impactos observados e das possíveis estratégias de mitigação.

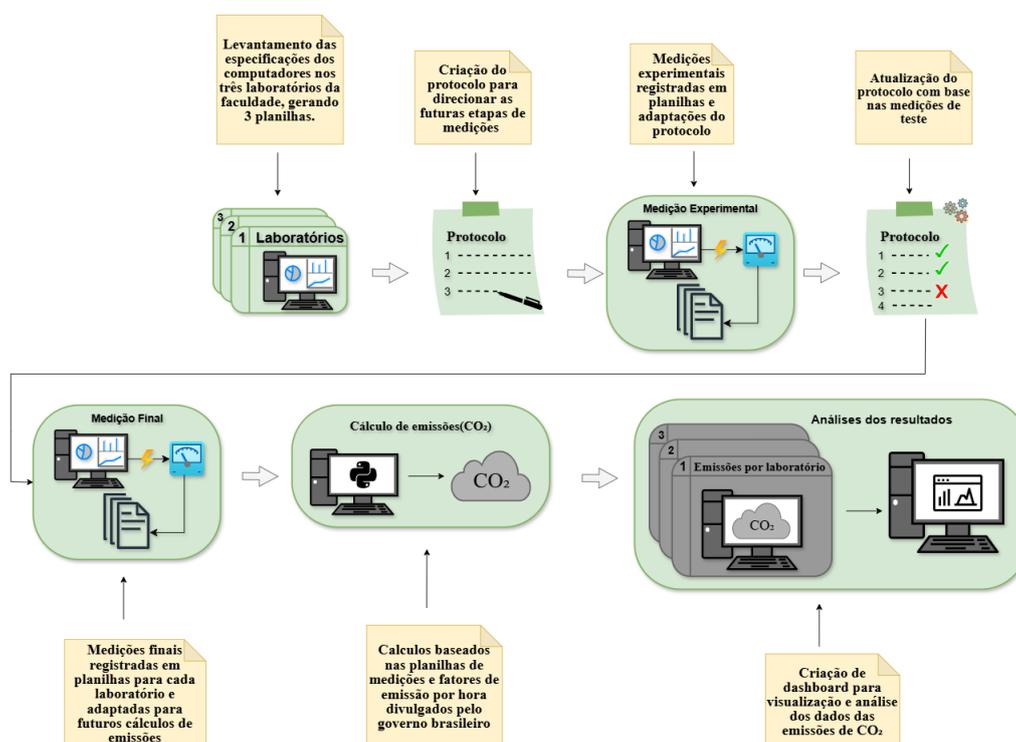


Figura 1. Fluxograma das etapas da metodologia.

### 3.1. Levantamento dos Computadores

Foram utilizados três laboratórios de ensino da FACOMP, cada um com 30 computadores, totalizando 90 distribuídos em quatro modelos distintos (ver Tabela 1). Durante a análise inicial, verificou-se que a quantidade de cada modelo variava entre os laboratórios, o que demandou a elaboração de tabelas específicas para cada ambiente, contendo as especificações de modelo, processador (CPU), memória RAM e tipo de monitor.

<sup>1</sup>Todos os dados e resultados estão disponíveis em: <https://github.com/AlanWSC/TCC-Artigo>

**Tabela 1. Modelos de Computadores distribuídos nos laboratórios.**

<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>CPU</b>	<b>RAM</b>	<b>Monitor</b>
HP_1	HP Elitedesk 800 G1 SFF	Intel Core i5-4570	8 GB	HP E231 - 1920x1080
HP_2	HP Elitedesk 800 G4 SFF	Intel Core i7-8700	8 GB	HP E231 - 1920x1080
MAC	Mac Mini 7.1	Intel Core i5-4278U	8 GB	HP E233 - 1920x1080
DELL	Dell OptiPlex 7000	Intel Core i5-12500	16 GB	Dell P2422H - 1920x1080

Os computadores estavam distribuídos nas seguintes quantidades: HP\_1 (30 unidades) no Laboratório 1; MAC (16), HP\_2 (11) e HP\_1 (3) no Laboratório 2; HP\_1 (22) e DELL (8) no Laboratório 3. Além disso, foram coletados dados adicionais específicos para cada equipamento, incluindo o TDP (Thermal Design Power) da CPU e da GPU, a quantidade de RAM da GPU e o consumo energético do monitor.

### **3.2. Criação do Protocolo para Medição Experimental**

Com o objetivo de padronizar as medições nos laboratórios e simular o uso real dos computadores pelos alunos durante os horários de aula, foi necessário estabelecer diretrizes nas fases iniciais de testes. O protocolo desenvolvido buscou adotar o método mais preciso possível para a coleta de dados sobre o consumo energético, definindo o tempo de medição em cada máquina e os softwares utilizados durante as coletas.

[Sutton-Parker 2022a] propõe medições usando software baseado em nós para capturar o perfil de consumo energético por usuário identificando as diferenças de precisão entre o wattímetro e o software, apesar das vantagens das medições em larga escala usando programas de benchmark, este método possui imprecisões quando comparadas ao wattímetro. Além disso, o consumo energético dos monitores tende a ser desconsiderado nesse tipo de abordagem, resultando em subestimativas. De forma complementar, [Sutton-Parker 2020] também relata o uso de benchmarks recomendados pela Energy Star para estimar emissões em diferentes modos operacionais dos computadores. No entanto, esses testes não simulam adequadamente as variações de consumo causadas pelo comportamento do usuário durante o uso ativo dos equipamentos, comprometendo a precisão dos resultados.

Considerando essas limitações, optou-se por utilizar um wattímetro digital bivolt com suporte a frequências de até 60 Hz. As funcionalidades empregadas no equipamento incluíram medição de potência (Watts), energia acumulada (kWh), tempo de uso, potência mínima e máxima, além da função de reinicialização.

A definição do tempo de medição também se mostrou um fator crítico para a consistência dos dados. [Sutton-Parker 2022a] destaca o tempo de coleta como uma das principais limitações do uso do wattímetro. Diante disso, foi formulada a hipótese de que intervalos de 12 ou 15 minutos seriam suficientes para capturar amostras representativas do consumo energético. Durante esses períodos, pausas foram realizadas a cada 4 e 5 minutos, respectivamente, para registrar os valores em Watts, permitindo monitorar a flutuação no consumo ao longo do uso típico.

Ao término de cada medição, o wattímetro era resetado a fim de garantir que todos os contadores fossem zerados, assegurando a unicidade dos dados para cada desktop avaliado. Todas as amostras foram organizadas manualmente com o objetivo de facilitar comparações futuras e subsidiar decisões nas etapas seguintes do estudo.

### **3.3. Medições Experimentais**

Durante o início das medições com o wattímetro, foi observado que todos os laboratórios possuíam computadores conectados em pares a um mesmo nobreak, ou seja, cada nobreak alimentava dois computadores simultaneamente. Além disso, a sala de testes apresentava diferenças nos sistemas operacionais utilizados: os modelos HP\_1 operavam com Windows 10, enquanto os DELL utilizavam Windows 11. Essas particularidades levantaram questões relevantes quanto à precisão das medições e foram devidamente registradas, contribuindo para a formulação do protocolo final.

Os resultados coletados em ambas as durações testadas indicaram que o Windows 10 apresentou maiores variações no consumo instantâneo (em Watts), além de registrar um consumo energético em kWh aproximadamente duas vezes superior ao do Windows 11. Quanto à medição com dois computadores conectados ao mesmo nobreak, observou-se que as diferenças nos resultados foram pequenas. No entanto, para evitar qualquer possibilidade de superestimativa nos valores, optou-se por manter apenas um computador conectado ao nobreak durante cada medição. Por fim, definiu-se que o tempo ideal de medição seria de 12 minutos por máquina, com pausas a cada 4 minutos para o registro manual dos valores em kWh e Watts.

Com base nessas observações, foram realizadas pequenas, porém significativas atualizações no protocolo de medição que orientaram as medições finais. Estabeleceu-se que cada computador deveria ser testado individualmente, permanecendo como o único equipamento conectado ao nobreak durante o processo. O tempo de medição foi fixado em 12 minutos por computador, com pausas a cada quatro minutos para o registro manual dos valores de consumo em Watts e kWh. Optou-se por testar 15 computadores por laboratório, com possibilidade de ampliação da amostragem caso necessário. Além disso, deu-se prioridade à análise de modelos distintos de computadores, a fim de garantir uma base de dados mais diversificada e representativa das condições reais dos laboratórios.

### **3.4. Medição Final dos Computadores**

Antes do início das medições finais, foram identificadas mudanças significativas nos laboratórios 2 e 3, que passaram a utilizar o sistema operacional Kubuntu, restando apenas o laboratório 1 com computadores operando sob Windows 10. Com base no protocolo ajustado e considerando essas alterações, a quantidade de computadores avaliados nos laboratórios 2 e 3 foi ampliada para 17 e 16 unidades, respectivamente.

No laboratório 3, entre os dois modelos disponíveis, foram medidos 5 computadores DELL e 11 HP\_1. Os resultados prévios obtidos durante a fase experimental já indicavam um custo energético, em kWh, aproximadamente duas vezes maior para os computadores HP\_1, mesmo sob diferentes sistemas operacionais. Ao término das medições finais, alguns HP\_1 chegaram a apresentar um consumo até três vezes superior, enquanto os computadores DELL registraram valores ligeiramente inferiores.

Além da justificativa energética, a decisão de ampliar o número de medições no laboratório 2 também se baseou na presença de um modelo distinto da marca HP. Assim, foram testados 8 computadores do modelo MAC e 9 do modelo HP. Os resultados demonstraram pequenas variações no consumo energético entre os dois modelos, com leve vantagem em eficiência para os equipamentos MAC. Sobre as medições no laboratório 1, seus resultados mostraram valores próximos em kWh do mesmo modelo no laboratório 3.

### 3.5. Cálculo das Emissões de Carbono do Escopo 2

Para estimar as emissões de carbono do escopo 2, foram utilizadas as planilhas de medição dos três laboratórios e os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica disponibilizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação [MCTI 2025]

Com base no calendário letivo da Faculdade de Computação, foram extraídos os dados referentes ao período de 18 de março a 28 de junho de 2024. Os inventários de emissões são organizados por hora, sendo consideradas, para este estudo, as faixas entre 13:00 e 19:00, correspondentes ao turno vespertino. Segundo [Lannelongue et al. 2021]], a fórmula utilizada para estimar as emissões de carbono do escopo 2 é expressa por: (ECO<sub>2</sub>) Emissões de Carbono em Kg CO<sub>2</sub>; (E) Consumo de energia elétrica em kWh; (FECO<sub>2</sub>) Fator de emissão de CO<sub>2</sub>, como pode ser visto na Equação 1.

$$ECO_2 = E.FECO_2 \quad (1)$$

Para aplicar a fórmula com precisão, foi necessário calcular o consumo energético por minuto (kWh/min), uma vez que os horários das aulas são fracionados em blocos específicos ao longo do turno. O consumo por minuto permitiu aplicar o fator de emissão correspondente a cada hora registrada nas planilhas de referência. As estimativas de emissão de CO<sub>2</sub> foram categorizadas por período de aula, laboratório, modelo de computador e dia da semana. A biblioteca Pandas foi empregada para facilitar o processamento e a organização dos dados, otimizando os cálculos e a geração das planilhas de resultados.

## 4. Análises e Discussões dos Resultados das Emissões de CO<sub>2</sub>

Esta seção apresenta os resultados e discussões obtidos a partir da análise das emissões de carbono, organizados em quatro subseções: por laboratório, por horário das aulas, por dia da semana e por mês do período letivo. Ao final, é realizada uma comparação do total de emissões com deslocamentos típicos de veículos terrestres e aéreos, visando contextualizar o impacto ambiental associado ao uso das tecnologias da informação no ambiente acadêmico.

Com o auxílio da biblioteca Plotly Express do Python, visualizações foram criadas a partir dos cálculos das emissões, os gráficos gerados são dados gerais incluindo todos os meses letivos. Ademais, um *dashboard*<sup>2</sup> foi criado usando a biblioteca Streamlit que está disponível de forma online com intuito de mostrar resultados mais específicos para cada mês.

A partir do gráfico de emissões por laboratório (ver Figura 2, observam-se diferenças significativas na quantidade de CO<sub>2</sub> emitido ao longo do período analisado.

---

<sup>2</sup>Dashboards: <https://tcc-artigo-sekx6tanjmic73snk8qvul.streamlit.app/>



**Figura 2. Emissões de Carbono do Escopo 2 nos Laboratórios.**

Embora os dados de consumo energético em kWh já indicassem variações entre os laboratórios, os valores de emissões em Kg de CO<sub>2</sub> reforçam e corroboram os achados obtidos nas medições.

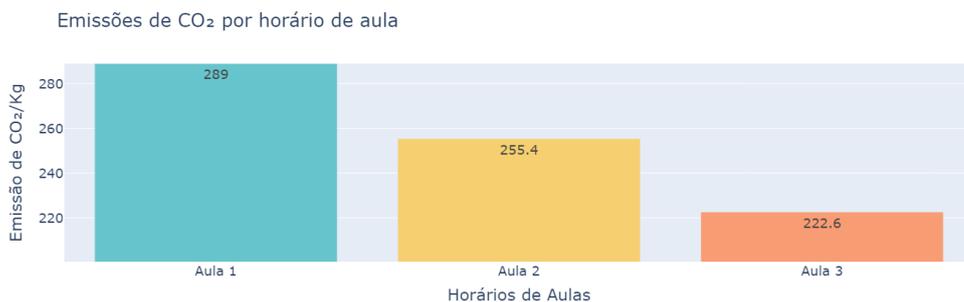
O laboratório 1, composto exclusivamente por computadores do tipo HP\_1, apresentou os maiores índices de emissão. Durante as duas fases de medição, esses equipamentos demonstraram elevado consumo energético. É importante destacar que esse laboratório ainda operava com o sistema Windows 10, o que pode ter contribuído para o aumento nas emissões.

Já o laboratório 2 registrou emissões moderadas, inferiores às do laboratório 1. Esse resultado pode ser atribuído à heterogeneidade dos equipamentos utilizados: MAC e HP\_2, sendo este último uma versão mais atualizada em relação ao HP\_1. As medições indicaram que os computadores MAC foram os que apresentaram menor consumo energético, seguidos pelos HP\_2, que também se mostraram mais eficientes que os modelos HP\_1.

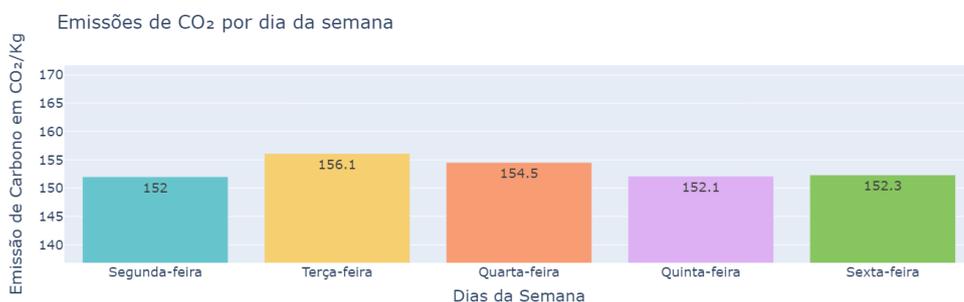
Por sua vez, o laboratório 3 apresentou os menores índices de emissão entre os três ambientes analisados. A presença de computadores DELL, que se destacaram pelo baixo consumo de energia em ambas as fases de medição, parece ter sido um fator determinante. Mesmo com a presença de alguns equipamentos HP\_1, o desempenho energético do laboratório 3 foi consideravelmente superior.

Outro aspecto relevante é o sistema operacional adotado. Enquanto o laboratório 1 utilizava o Windows 10, os laboratórios 2 e 3 estavam configurados com a distribuição Kubuntu, baseada em Linux. Essa escolha contribuiu para a mitigação das emissões, uma vez que as distribuições Linux têm menor demanda energética em comparação ao Windows, conforme evidenciado por [Sutton-Parker and Procter 2023].

Como observa-se na Figura 3, os resultados indicam uma tendência decrescente nas emissões de carbono ao longo do período da tarde. A Aula 1, realizada das 13:00 às 14:40, apresentou os maiores valores médios de emissão, seguida pela Aula 2, 14:50 até 16:40. A Aula 3, que ocorre entre 16:50 e 18:20, registrou os menores índices. Essa variação pode estar relacionada à dinâmica do horário comercial, período em que há maior atividade e, conseqüentemente, maior demanda energética. À medida que o expediente se aproxima do fim, observa-se uma redução no uso dos laboratórios, refletida na diminuição das emissões.



**Figura 3. Emissões de Carbono do Escopo 2 nos Horários de Aulas.**



**Figura 4. Emissões de Carbono do Escopo 2 Semanais**

Os resultados por dia da semana revelam variações discretas nas emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do calendário acadêmico. Ainda assim, observa-se que as segundas, quintas e sextas-feiras apresentaram as menores médias de emissão, com valores próximos entre si, sugerindo uma menor intensidade de uso dos laboratórios nesses dias (ver Figura 4).



**Figura 5. Emissões de Carbono do Escopo 2 Mensais**

A análise das emissões por mês, na Figura 5, revela uma tendência de redução progressiva nos valores totais de CO<sub>2</sub> ao longo do período letivo. No entanto, é importante considerar que o mês de março contabilizou apenas nove dias letivos, o que influencia diretamente seu resultado agregado. Comparativamente, abril, o segundo mês com menor número de dias úteis, apresenta uma emissão 42,9 CO<sub>2</sub>/Kg superior à de março.

Dessa forma, ao projetar as emissões de março para um total estimado de 20 dias letivos, pode-se inferir que ultrapassaria abril em emissões totais, alterando a ordem de impacto mensal. Considerando os quatro meses avaliados, os dados indicam que abril

apresentou a menor emissão total de CO<sub>2</sub>/Kg. No total, as emissões somaram 767 Kg de CO<sub>2</sub>, valor equivalente à geração de carbono de uma viagem de ida e volta de carro movido a gasolina entre São Paulo e Fortaleza, aproximadamente 4.570 km, ou ainda a uma viagem aérea só de ida entre Campinas e São Paulo, cerca de 82 km em linha reta.

Com base nos resultados obtidos, é possível propor medidas para reduzir o consumo energético e, conseqüentemente, mitigar as emissões de carbono do escopo 2 nos laboratórios analisados. A primeira ação recomendada consiste na atualização do parque computacional, priorizando equipamentos mais modernos e com certificações de eficiência energética. Caso a substituição de hardware não seja viável, uma alternativa eficaz é a migração dos sistemas operacionais para distribuições Linux, conforme argumentado por [Sutton-Parker and Procter 2023], o que não apenas reduz o consumo energético — e, por consequência, as emissões de escopo 2 — como também contribui para a mitigação das emissões de escopo 3, ao estender a vida útil dos equipamentos para além de oito anos. Além disso, recomenda-se a redistribuição das aulas práticas para os dias com menor média de emissões de carbono, como segundas, quintas e sextas-feiras, bem como a reorganização dos horários de uso dos laboratórios, de forma a otimizar a demanda energética ao longo do período letivo.

## 5. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo estimar as emissões de carbono do escopo 2 geradas pelos computadores dos laboratórios da Faculdade de Computação da UFPA, simulando o uso real por discentes durante o período letivo e os horários de aula. Os resultados obtidos ao longo da investigação demonstram que os GEE, emitidos durante o uso dos equipamentos, podem representar uma contribuição significativa da área de tecnologia da informação para as mudanças climáticas globais. Nesse contexto, torna-se essencial a adoção de estratégias de mitigação das emissões por parte da comunidade acadêmica.

Após a análise dos dados, é fundamental reconhecer as limitações deste trabalho, destacando-se como principais fatores o tempo de medição, a quantidade de computadores testados e as restrições do equipamento utilizado, conforme discutido anteriormente. Além disso, ressalta-se que os valores de emissão apresentados neste estudo foram estimados com base em uma simulação na qual os laboratórios são utilizados diariamente durante todos os horários do turno vespertino. Pesquisas futuras poderão desenvolver métodos mais eficazes para medição do consumo energético em larga escala, com o objetivo de reduzir perdas de precisão e evitar subestimativas no consumo em kWh, viabilizando, assim, estimativas mais acuradas das emissões de carbono.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de medições e cálculos considerando as alocações reais de aulas por laboratório, bem como a ampliação do estudo para os períodos matutino e noturno, com o intuito de identificar quais turnos apresentam os maiores índices de emissões de carbono na faculdade. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de modelos baseados em inteligência artificial capazes de prever fatores de emissão, consumo energético em kWh e emissões de carbono. Tais modelos poderiam auxiliar a universidade na organização de um período letivo com menores índices de emissão em todo o campus.

A principal contribuição deste estudo está na apresentação de uma metodologia prática e acessível para estimar as emissões de carbono do escopo 2 em ambientes

acadêmicos, utilizando medições reais de consumo energético e fatores de emissão oficiais. Ao fazer isso, o trabalho aborda especificamente o impacto ambiental do uso de computadores em instituições de ensino superior, além de propor recomendações baseadas em dados concretos que podem ser replicadas em outras universidades. Portanto, entende-se que este trabalho representa um passo fundamental para sensibilizar a comunidade acadêmica quanto às emergências climáticas globais, além de estimular o engajamento em pesquisas futuras que investiguem melhorias e novas estratégias de mitigação voltadas ao setor da tecnologia da informação.

## Referências

- [Casarin and Ribeiro 2013] Casarin, J. and Ribeiro, L. (2013). Green it: Uma nova alternativa para a sustentabilidade. In *Anais do IV Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, pages 1073–1082, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- [Freitag et al. 2021] Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S., and Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ict: A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9).
- [Lannelongue et al. 2021] Lannelongue, L., Grealey, J., and Inouye, M. (2021). Green algorithms: Quantifying the carbon footprint of computation. *Advanced Science*, 8(12):2100707.
- [MCTI 2025] MCTI (2025). Ministério da ciência, tecnologia e inovação - fatores de emissão. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao/page>. Acesso em: 28 mar. 2025.
- [Murugesan 2008] Murugesan, S. (2008). Harnessing green it: Principles and practices. *IT Professional*, 10:24 – 33.
- [Nações Unidas Brasil 2025] Nações Unidas Brasil (2025). Objetivo de desenvolvimento sustentável 13: Ação contra a mudança global do clima. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>. Acesso em: 28 mar. 2025.
- [Sutton-Parker 2020] Sutton-Parker, J. (2020). Determining end user computing device scope 2 ghg emissions with accurate use phase energy consumption measurement. *Procedia Computer Science*, 175:484–491.
- [Sutton-Parker 2022a] Sutton-Parker, J. (2022a). Can analytics software measure end user computing electricity consumption? *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(8):2441–2458.
- [Sutton-Parker 2022b] Sutton-Parker, J. (2022b). Quantifying greenhouse gas abatement delivered by alternative computer operating system displacement strategies. *Procedia Computer Science*, 203:254–263.
- [Sutton-Parker and Procter 2023] Sutton-Parker, J. and Procter, R. (2023). Greenhouse gas abatement via repurposing computers. *Procedia Computer Science*, 224:296–305.
- [United Nations 2024] United Nations (2024). The sustainable development goals report 2024. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/>. Acesso em: 28 mar. 2025.