



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

SHAYSY MARIA NICACIO DA SILVA

CUSTO AMBIENTAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA:
A Pegada Ecológica do ChatGPT no Ensino Superior

Recife
2025

SHAYSY MARIA NICACIO DA SILVA

CUSTO AMBIENTAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA:

A Pegada Ecológica do ChatGPT no Ensino Superior

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

2025

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

Silva, Shaysy Maria Nicacio da.

Custo ambiental da inteligência artificial generativa: A pegada ecológica do
CHATGPT no ensino superior. / Shaysy Maria Nicacio da Silva. - Recife, 2025.
24 p. : il., tab.

Orientador(a): Otacilio Antunes Santana

(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências,
Ciências Biológicas / Científicas Ambientais - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Inteligência Artificial Generativa . 2. Sustentabilidade . 3. Compensação
Ambiental . 4. Ciências Ambientais . 5. CHATGPT . I. Santana, Otacilio Antunes.
(Orientação). II. Título.

500 CDD (22.ed.)

SHAYSY MARIA NICACIO DA SILVA


CUSTO AMBIENTAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA:

A Pegada Ecológica do ChatGPT no Ensino Superior


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: 11/11/2025


COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 OTACILIO ANTUNES SANTANA
Data: 14/11/2025 10:00:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Otacilio Antunes Santana – UFPE

Documento assinado digitalmente
 THAIS EMANUELLE MONTEIRO DOS SANTOS SC
Data: 13/11/2025 09:45:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza - UFPE

Documento assinado digitalmente
 HELETONIO CARVALHO
Data: 14/11/2025 09:43:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Helotonio Carvalho - UFPE

Recife

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, minha maior fonte de inspiração, admiração e incentivo. A ela dedico todas as minhas conquistas, pois, por trás de tudo, é sempre ela quem segura minha mão e caminha comigo, tornando a jornada mais leve, e que, sob muito sol, me fez chegar até aqui na sombra.

Agradeço à minha avó e ao meu tio, pelos quais também cultivo muita admiração e carinho, por terem sido meu porto seguro na pandemia, quando tudo era tão incerto, nebuloso e desestimulante, mas que pôde ser mais leve graças ao acolhimento, às conversas e às risadas que compartilhamos, e que me deram o fôlego e o ânimo necessários.

Agradeço ao meu melhor amigo e namorado, Bruno Moura, que esteve ao meu lado desde o primeiro dia, me motivando, me acolhendo, torcendo por mim e com quem compartilhei todas as alegrias e percalços desta jornada. Tenho muita sorte de tê-lo na minha vida.

Agradeço imensamente ao meu professor orientador, Otacílio, que, com seu senso de humor, carinho e atenção, tornou este momento de conclusão de curso, que é tão tenso, inegavelmente mais leve. Obrigada por segurar minha mão, me guiar e me incentivar em cada passo deste período tão delicado.

Agradeço também às minhas amigas Letícia e Luana, que foram imprescindíveis nesta reta final. À Luana, agradeço a parceria no começo do curso e o incentivo no fim; e à Letícia, agradeço por ter sido minha dupla na reta final do curso e que, entre choros, risadas e desespero, me ajudou a concluir quando pensei em desistir.

Por fim, agradeço às minhas filhas de quatro patas, Nina e Bryetha, que partiram antes que concluísse, mas que, em vida, foram minhas companheiras e fonte diária de alegria, sempre me recebendo com festa ao final de cada dia.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso analisa a interface entre inteligência artificial generativa (IAG) e sustentabilidade, ao quantificar os custos ambientais decorrentes do uso do ChatGPT por discentes do Curso de Ciências Ambientais. A motivação central está em compreender o impacto material de tecnologias digitais, expressos em consumo de água, energia e emissões de CO₂ por prompt requisitado. A pesquisa parte do princípio de que toda atividade digital possui lastro físico, sendo necessário internalizar esse custo no processo formativo. A hipótese estabelecida foi de que o uso da IAG pelos estudantes gera impactos ambientais mensuráveis, variando conforme o padrão de uso individual, mas compensáveis por meio de estratégias sustentáveis integradas à prática acadêmica. O objetivo geral foi estimar e analisar o custo ambiental associado ao uso do ChatGPT (versão gratuita, 2025), propondo mecanismos de compensação ambiental que articulem prática acadêmica e responsabilidade socioambiental. A metodologia envolveu três etapas: (i) levantamento do número de prompts utilizados por estudante; (ii) estimativa do consumo hídrico, energético e das emissões de CO₂; e (iii) proposição de revegetação com espécies nativas como forma de compensação. Os dados foram coletados entre 2024.1 e 2025.1, por meio de questionário aplicado a 141 discentes. Os resultados indicaram que, embora o impacto individual seja baixo, o efeito acumulado é significativo: cerca de 21 mil litros de água, 315 kWh de energia e 126 kg de CO₂ por semestre — equivalentes ao plantio de 15 árvores nativas. Assim, propõe-se a criação de um Sistema de Débitos e Créditos Ambientais no curso, vinculando o uso de IAs ao plantio semestral de mudas conforme o Manual de Arborização Urbana do Recife. Conclui-se que a integração entre inovação digital e sustentabilidade é essencial para formar profissionais críticos e comprometidos com a educação ambiental aplicada e a corresponsabilidade ecológica na era da inteligência artificial.

Palavras-chave: Inteligência Artificial Generativa; Sustentabilidade; Compensação Ambiental; Ciências Ambientais; ChatGPT.

ABSTRACT

This undergraduate dissertation analyses the interface between generative artificial intelligence (GAI) and sustainability, by quantifying the environmental costs arising from the use of ChatGPT by students of the Environmental Sciences degree course. The central motivation lies in understanding the material impact of digital technologies, expressed through water consumption, energy use, and CO₂ emissions per prompt. The research is grounded on the premise that every digital activity carries a physical footprint, which must be internalised within the educational process. The guiding hypothesis was that students' use of GAI generates measurable environmental impacts, which vary according to individual usage patterns but can be mitigated through sustainable strategies integrated into academic practice. The main objective was to estimate and analyse the environmental cost associated with the use of ChatGPT (free version, 2025), proposing environmental compensation mechanisms that connect academic practice with social and environmental responsibility. The methodology comprised three stages: (i) survey of the number of prompts used by each student; (ii) estimation of water and energy consumption and CO₂ emissions; and (iii) proposal of revegetation with native species as a compensatory strategy. Data were collected between semesters 2024.1 and 2025.1 through a questionnaire answered by 141 students. The results revealed that, although individual impacts are relatively small, their cumulative effect is environmentally significant: approximately 21,000 litres of water, 315 kWh of energy, and 126 kg of CO₂ per semester — equivalent to the planting of 15 native trees. Consequently, the study proposes the establishment of an Environmental Debits and Credits System within the course, linking the use of AI tools to the semesterly planting of seedlings, in accordance with Recife's Urban Tree Planting Manual. The findings suggest that integrating digital innovation and sustainability is essential for training critical professionals committed to applied environmental education and ecological co-responsibility in the age of artificial intelligence.

Keywords: Generative Artificial Intelligence; Sustainability; Environmental Compensation; Environmental Sciences; ChatGPT.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2	MATERIAIS E MÉTODOS	14
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4	CONCLUSÕES	21
	REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

O avanço vertiginoso da Inteligência Artificial Generativa (IAG), com sua capacidade de criar textos, imagens, códigos e outros conteúdos de alta complexidade, impõe uma reflexão crítica sobre seu custo ambiental oculto (Spelda; Stritecky, 2020). É fundamental que se dedique um estudo aprofundado a essa questão, pois o treinamento e a operação de modelos maciços como o GPT-4 e similares consomem quantidades significativas de recursos (Merler, 2025). A importância desse estudo reside na necessidade de compreender e mitigar o impacto ecológico dessa tecnologia que está se tornando ubíqua. Sem uma análise rigorosa, corre-se o risco de adotar inovações que, embora transformadoras, contribuem inadvertidamente para o agravamento da crise climática. Estudar esse custo é o primeiro passo para desenvolver estratégias de IA mais sustentáveis, buscando a eficiência energética e a redução do consumo hídrico nos data centers que dão suporte a essas ferramentas. Isso garante que o progresso tecnológico não comprometa o futuro ambiental do planeta. A quantificação precisa é crucial para a responsabilização e a inovação verde no setor (Dauvergne, 2022).

A Pegada Ecológica dos Chatbots e outras interfaces de IAG é um tema de crescente relevância, merecendo atenção especial da academia e da sociedade (Weiss et al., 2019; Wang; Li; Li, 2024). Esses sistemas, que interagem conosco diariamente, não são etéreos; eles dependem de vastas infraestruturas físicas para processar cada interação, resultando em um consumo contínuo de recursos (Van der Woude et al., 2025). A relevância de analisar essa pegada reside na escala da adoção: com bilhões de usuários e trilhões de interações anuais esperadas, o impacto acumulado, mesmo que pequeno por prompt, torna-se gigantesco (Wang; Sun; Li, 2023). Entender o consumo de energia e água associado à geração de uma resposta é vital para promover uma cultura de uso consciente e design sustentável. A otimização dos algoritmos e do hardware de forma a minimizar essa pegada é uma meta crucial (Wang; Li; Li, 2024). Além disso, a transparência sobre esses custos ambientais é essencial para que o público possa fazer escolhas informadas e pressionar por soluções tecnologicamente eficientes e ecologicamente responsáveis. Ignorar a pegada desses assistentes digitais seria negligenciar uma fonte emergente e significativa de estresse ambiental (Wang et al., 2024).

A motivação central para analisar a utilização da inteligência artificial generativa por discentes do Curso de Graduação em Ciências Ambientais e quantificar seus

custos ambientais está na intersecção entre a tecnologia e a sustentabilidade (Hasan et al., 2023; Morrison-Saunders; Sanchez, 2024). Para discentes que serão futuros gestores e formuladores de políticas ambientais, é imperativo que compreendam a natureza material e os impactos de uma ferramenta que, paradoxalmente, pode ser usada para resolver problemas ambientais (Karlsson, 2022). A justificativa reside na necessidade de expressar o custo ambiental de cada prompt em termos tangíveis e quantificáveis: consumo de água, energia e emissões de CO₂. Essa análise prática permite que os alunos internalizem o conceito de que toda atividade digital tem um lastro físico (Morrison-Saunders; Sanchez, 2024). Ao quantificar o "custo por pergunta", eles desenvolvem uma métrica poderosa para advocacia e design de sistemas mais eficientes (D'Cruz, 2025). Este estudo não visa apenas criticar a tecnologia, mas sim fornecer dados robustos para a otimização de uso e para a proposição de IAGs "verdes", garantindo que a inovação digital seja uma aliada, e não um fardo, na luta pela sustentabilidade (D'Cruz, 2025; Duan et al., 2025).

A partir deste preâmbulo, a hipótese deste Trabalho de Conclusão de Curso foi “A utilização da inteligência artificial generativa (IAG) por discentes do Curso de Graduação em Ciências Ambientais resulta em custos ambientais passíveis de quantificação, expressos no consumo de água, energia e emissões de CO₂ por prompt”. A hipótese sustenta que tais custos variam conforme o padrão de uso individual e podem ser compensados por meio de estratégias sustentáveis, integrando prática acadêmica e responsabilidade socioambiental. A IAG utilizada neste trabalho se baseou no ChatGPT (versão gratuita, 2025), pois em 2024.1, esta plataforma era a única popular e com o funcionamento estável.

O objetivo geral deste trabalho foi estimar e analisar o custo ambiental associado ao uso da inteligência artificial generativa (ChatGPT versão gratuita) por discentes do Curso de Graduação em Ciências Ambientais, considerando o consumo de água, energia e emissões de CO₂, de modo a propor estratégias de compensação ambiental que articulem prática acadêmica e responsabilidade socioambiental. Os objetivos específicos foram: i) mapear o padrão de uso da inteligência artificial generativa entre discentes do Curso de Graduação em Ciências Ambientais, quantificando o número médio de prompts por discente; ii) estimar o consumo hídrico associado a cada interação (prompt requisitado); iii) estimar a energia elétrica consumida por prompt requisitado; iv) estimar as emissões de CO₂ decorrentes do processamento computacional por prompt; v) analisar a variação da pegada ecológica

resultante dos diferentes perfis de uso dos discentes; e vi) propor estratégias de compensação ambiental (revegetação com espécies arbóreas) proporcionais ao impacto gerado, aplicáveis ao contexto acadêmico e formativo dos discentes.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O primeiro passo na avaliação do custo ambiental da Inteligência Artificial Generativa (IAG) na academia reside no mapeamento detalhado do padrão de uso entre discentes do Curso de Graduação em Ciências Ambientais. A literatura atual carece de dados específicos sobre a frequência e o tipo de interações (prompts) que esses discentes estabelecem com modelos como o ChatGPT ou o Gemini, sendo esse um ponto crucial de investigação (Van der Woude et al., 2025). Estudos preliminares em contextos gerais indicam uma rápida adoção, com o uso diário se tornando a norma em muitas instituições (Jegham et al., 2025; Li et al., 2025). A quantificação do número médio de prompts por discente é essencial, pois este valor é a variável de entrada para todos os cálculos subsequentes de impacto. Este mapeamento deve ir além da mera contagem, categorizando as interações (pesquisa, redação, codificação) para correlacionar o tipo de tarefa com a complexidade computacional e, conseqüentemente, com a pegada ecológica (Wang; Sun; Li, 2023). A ausência de dados empíricos robustos nessa área justifica plenamente a necessidade desta coleta primária.

A pegada hídrica da IAG é um tema emergente e altamente relevante, embora o dado exato por prompt seja complexo de isolar (Wang; Li; Li, 2024). A estimativa do consumo hídrico associado a cada interação (prompt requisitado) baseia-se na necessidade de resfriamento dos data centers que hospedam e treinam os grandes modelos de linguagem (LLMs). Pesquisas pioneiras, na Universidade da Califórnia, indicaram que o treinamento do modelo GPT-3.5 no data center da Microsoft consumiu cerca de 700.000 litros de água fresca (Li et al., 2025). De forma mais granular, estima-se que cada 20 a 50 prompts no ChatGPT podem consumir uma garrafa de água de 500ml (LI et al., 2025). Essa água é utilizada primariamente para evaporação nos sistemas de resfriamento. A estimativa proposta deve levar em conta a eficiência do data center (WUE - Water Usage Effectiveness) e o consumo específico do modelo em questão, ajustando a métrica global para o uso pontual do discente (Weiss et al., 2019).

A energia elétrica consumida por prompt requisitado é a métrica ambiental mais diretamente ligada ao uso da IAG. Enquanto o treinamento dos LLMs é notório por seu consumo massivo — estima-se que o treinamento do GPT-3 tenha consumido mais de 1.287 GWh —, a fase de inferência (o uso cotidiano) também exige recursos consideráveis. Pesquisadores como Jegham et al. (2025) estimam que a execução de um único prompt pode consumir energia suficiente para acender uma lâmpada por algumas horas. A variação é grande e depende do tamanho do modelo, da complexidade do prompt e da eficiência do hardware (GPU/TPU). A estimativa deve ser baseada na potência média de inferência (kWh/prompt) de modelos comumente utilizados e no PUE (Power Usage Effectiveness) dos data centers onde esses serviços são hospedados. A quantificação exata é crucial para demonstrar o impacto energético cumulativo no ambiente acadêmico (Wang; Li; Li, 2024).

As emissões de CO₂ decorrentes do processamento computacional por prompt resultam diretamente do consumo de energia elétrica. Esta estimativa exige a conversão do consumo de kWh/prompt em kg CO₂ equivalente, utilizando o fator de emissão da matriz energética do local onde o data center está situado (país ou região). Se o data center opera predominantemente com fontes fósseis, a pegada de carbono é significativamente maior do que se for alimentado por energias renováveis. Estudos de campo indicam que a pegada de carbono de algumas buscas complexas na web por IA já pode ser comparável a um pequeno trecho de viagem de carro. A estimativa deve, portanto, ser rigorosamente geolocalizada para oferecer uma medição precisa e eticamente fundamentada do custo climático do uso acadêmico da IAG (Wang; Li; Li, 2024; Jegham et al., 2025; Van der Wouder et al., 2025).

A literatura enfatiza que a pegada ecológica de uma tecnologia digital não é uniforme (Merler, 2025). A análise da variação da pegada ecológica resultante dos diferentes perfis de uso dos discentes é vital para identificar os comportamentos de maior impacto. Discentes que utilizam a IAG para tarefas complexas, como geração de código ou análise de grandes volumes de texto, tendem a gerar um consumo energético e, conseqüentemente, uma pegada de CO₂ substancialmente maior do que aqueles que a utilizam para tarefas simples de checagem ortográfica (Spelda; Stritecky, 2020). Esta análise exige a criação de uma tipologia de usuários, correlacionando variáveis como a complexidade do prompt, o tempo de processamento do modelo, e o tipo de modelo de linguagem utilizado com as métricas de impacto (água, energia, CO₂) (Ren et al., 2024). Tal variação demonstra a

necessidade de recomendações de uso personalizadas, adaptadas à tarefa e ao perfil, fugindo de uma abordagem única para todos.

Conhecer o impacto exige a proposição de estratégias de compensação ambiental proporcionais ao impacto gerado, aplicáveis ao contexto acadêmico e formativo dos discentes. A literatura sobre sustentabilidade digital sugere que a responsabilidade não deve recair apenas sobre as empresas de tecnologia, mas também sobre os usuários finais. As estratégias podem incluir a compensação direta das emissões de CO₂ calculadas por meio do financiamento de projetos de reflorestamento ou energias renováveis no campus ou na comunidade (WANG et al., 2022). No contexto hídrico, pode-se propor a adoção de tecnologias de captação de água de chuva ou a melhoria da eficiência hídrica em laboratórios e data centers universitários. A proposta deve ser formativa, transformando o ato da compensação em uma experiência pedagógica, vinculando o uso da IAG à responsabilidade ambiental direta na formação do discente (Morrison-Saunders; Sanchez, 2024).

A quantificação do custo ambiental tem profundas implicações pedagógicas para a formação em Ciências Ambientais. O uso consciente da IAG não se limita a evitar a fraude, mas a entender a materialidade e a eticidade da ferramenta. Discutir as implicações significa integrar a sustentabilidade digital no currículo, ensinando os discentes a considerar o hardware, o software e a infraestrutura de rede como parte do ecossistema a ser gerenciado e conservado (Karlsson, 2022). Esse processo de conscientização transforma o discente em um profissional capaz de avaliar não apenas o impacto de indústrias tradicionais, mas também o de tecnologias emergentes. A meta é formar líderes ambientais que possam advogar por políticas de "IA verde" e que utilizem a inteligência artificial de maneira otimizada e minimamente impactante, reforçando o papel da ciência na mediação entre a inovação tecnológica e a resiliência ecológica (Bathia et al., 2024).

O plantio de árvores como estratégia de compensação ambiental tem se mostrado eficaz, sobretudo como ferramenta para o balanceamento de gases de efeito estufa (GEE), favorecendo também uma melhor captação de água da chuva (ROCHA et al., 2023). O estudo de Rocha et al. (2023) evidenciou que, através do inventário de GEE, as atividades da Universidade Federal de Viçosa resultaram na emissão de 3.492,46 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Entretanto, o balanço de carbono foi negativo, devido à remoção de 8.547,76 toneladas de CO₂e

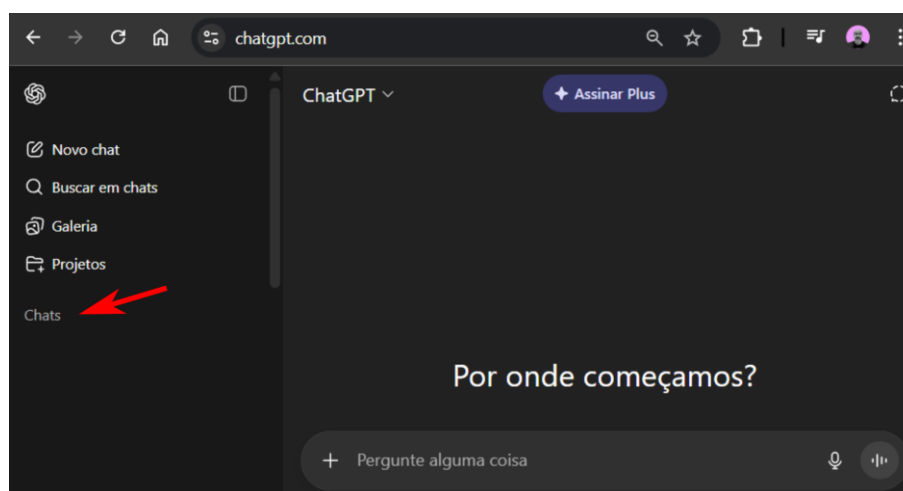
pelas florestas do campus, comprovando a eficiência da revegetação como estratégia de mitigação da pegada de carbono no ensino superior.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos seguiram três etapas: i) quantificação do número de prompts por discente (por semana e por semestre), ii) estimativa da pegada ecológica dos *prompts* requisitados pelos discentes do Curso de Graduação em Ciências Ambientais ao longo dos semestres estudados, e iii) proposta de Compensação Ambiental do uso do ChatGPT por semestre.

A quantificação do número de prompts por discente foi realizada por meio de um questionário no qual cada um registrou o número de prompts buscados no ChatGPT por semana, número que poderia ser contado no histórico de chats na plataforma (Figura 1). Esse questionamento foi realizado nos semestres de 2024.1, 2024.2 e 2025.1. Neste trabalho o nome da universidade do curso foi suprimido como quesitos éticos exigidos e todos discentes que participaram da pesquisa assinalaram o termo de concordância com a pesquisa (termo de consentimento livre e esclarecido).

Figura 1 – Layout do ChatGPT, versão gratuita, com destaque (←) onde se recupera o número de acessos por semana.



Fonte: Elaborada pela Autora.

O custo ambiental (Consumo Hídrico, Consumo Energético e Emissão de CO₂) por prompt do ChatGPT foi estimado nos trabalhos de Jegham et al. (2025) e Li et al. (2025) que foi ratificado por 448 pesquisadores na plataforma Arxiv da Cornell University (Arxiv, 2025), que chegaram a dados aproximados ao mencionado na Tabela 1, utilizando a mesma metodologia. A partir desses dados, o custo ambiental dos *prompts* requisitados pelos discentes do Curso de Graduação em Ciências

Ambientais, ao longo dos semestres estudados, foi estimado pela multiplicação do número de prompts com os custos ambientais mencionados na Tabela 1.

Tabela 1 – Custo Ambiental por Prompt requisitado no ChatGPT.

Custo Ambiental por Prompt	Valor	Referência
Consumo Hídrico (ml)	30,00	Li et al. (2025)
Consumo Energético (Wh)	0,45	Jegham et al. (2025)
Emissão de CO ₂ (g)	0,18	Jegham et al. (2025)

Fonte: Adaptado de Jegham et al. (2025) e Li et al. (2025).

A partir do custo ambiental por semestre, a proposta de Compensação Ambiental se deu pela revegetação com espécies arbóreas nativas em áreas desmatadas. O cálculo de quantas árvores por semestre se deu pelo cálculo detalhado na Tabela 2. As árvores a serem plantadas e as equações foram adaptadas as espécies indicadas no Manual de Arborização Urbana (Orientações e Procedimentos Técnicos Básicos para a Implantação e Manutenção da Arborização da Cidade do Recife) (SMAS, 2013).

Tabela 2 - Cálculo do número de árvores a serem plantadas por semestre.

Nº de Árvores a serem plantadas por semestre = a + b + c		Fonte
a	= emissão de CO ₂ (kg) / 12,5	Santana (2017)
b	= [consumo energético (kWh) * 0,09] / 12,5	
c	= consumo hídrico (L) * 0,000105	Santana; Cuniat; Imaña-Encinas (2010)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Todas as análises e gráficos foram performados no programa Microsoft Excel 365 (2025), os dados foram coletados nos semestres letivos de 2024.1, 2024.2 e 2025.1.

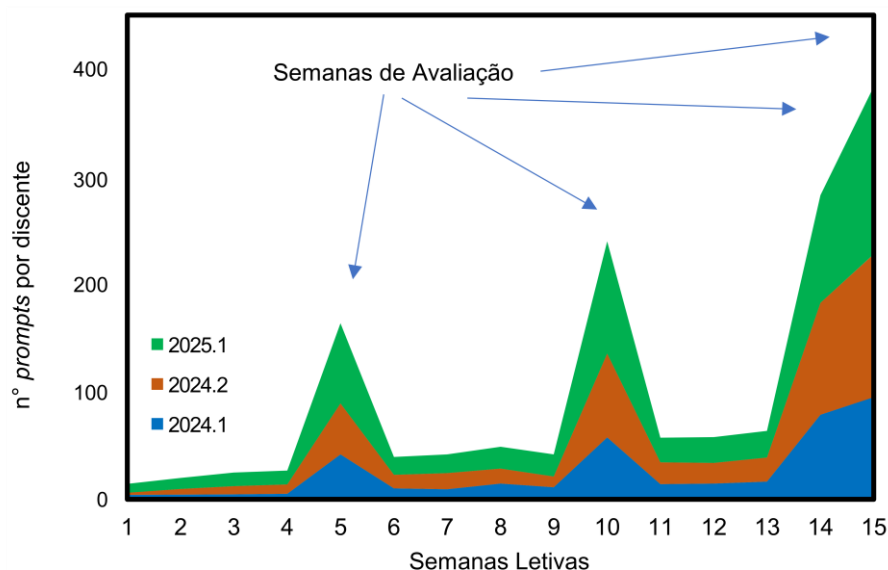
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O questionário recebeu 141 resposta dos discentes do curso de graduação em Ciências Ambientais, em que por semana requisitaram em média, por discente, 83 prompts foram utilizados no ChatGPT com a intenção de responder alguma demanda do curso, porém houve semanas que esta requisição chegou a cerca de 400 prompts por discente, geralmente em semanas de avaliação no curso (Figura 2).

A inteligência artificial (IA) tem se consolidado como uma ferramenta ambivalente no ambiente acadêmico, especialmente para discentes de graduação em semanas de avaliação. Por um lado, sua importância na disponibilização de recursos didáticos é inegável; ferramentas de IA e machine learning conseguem, por exemplo, personalizar materiais de estudo, criar resumos, gerar exercícios práticos e simular cenários de prova baseados no conteúdo programático de forma rápida e acessível (Lee et al., 2021). Isso otimiza o tempo do discente, que pode focar em suas maiores dificuldades com o auxílio de materiais sob demanda, elevando a disponibilidade e a relevância do apoio ao aprendizado.

Contudo, o acesso facilitado a chatbots e outras IAs generativas levanta uma séria preocupação ética e educacional: o incentivo ao plágio e à não criatividade (Zhang; Liu; Wang, 2025). A capacidade dessas ferramentas de gerar textos, respostas e até códigos prontos em minutos cria uma tentação para que discentes as utilizem indevidamente durante as avaliações, subvertendo o propósito do exame, que é medir o conhecimento e a capacidade de análise individual. Esse uso irresponsável compromete a originalidade e a autoria, transformando a IA de aliada didática em um atalho prejudicial à integridade acadêmica e ao desenvolvimento do pensamento crítico (Schmid et al., 2021). Nas Ciências Ambientais o uso excessivo de IAs para avaliações podem reduzir a ecologia sensorial que os componentes curriculares demandam (Sajja et al., 2025).

Figura 2 – N° de *prompts* requisitados por discente do curso de graduação em Ciências Ambientais analisado por semana no ChatGPT.



Fonte: Elaborada pela Autora.

Dois destaques nos dados na pegada ecológica foram perceptíveis (Tabela 3), o primeiro que apesar do valor ser baixo em relação ao impacto de outros setores (e.g. alimentício,), ele tem um enorme impacto quando no acumulado com todos os discentes por semestre (Tabela 4), e o segundo, o número de *prompts* por semestre estão aumentando e com isso a pegada ecológica.

Tabela 3 – N° de *prompts* e a Pegada Ecológica por discente do curso de graduação em Ciências Ambientais, por semestre pelo uso do ChatGPT.

Ano	Prompts	Consumo		Emissão
		Água (L)	Energia (kWh)	CO ₂ (kg)
2024.1	1.525 (± 167)	45,75 (± 7777)	0,686 (± 144)	0,274 (± 21)
2024.2	1.996 (± 183)	59,88 (± 9015)	0,898 (± 175)	0,359 (± 37)
2025.1	2.501 (± 206)	75,03 (± 11552)	1,125 (± 196)	0,450 (± 39)

Fonte: Elaborada pela Autora.

O uso exponencial de Inteligência Artificial (IA) generativa no ambiente universitário, impulsionado pela demanda estudantil por auxílio em pesquisas, resumos e elaboração de trabalhos, tem gerado um volume crescente de prompts e requisições de processamento (Sousa; Cravino; Martins, 2023). Esse aumento na utilização da IA pelos discentes, embora otimize o aprendizado e a produtividade, está diretamente associado a uma preocupação ecológica emergente: o aumento da

pegada de carbono digital. Cada requisição ('prompt') enviada a modelos de linguagem de grande escala (LLMs) exige considerável poder computacional, o que se traduz em um elevado consumo energético pelos data centers (Wang; Li; Li, 2024). A manutenção e o resfriamento desses centros de processamento, essenciais para lidar com a vasta quantidade de interações dos universitários, contribuem significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (Sajja et al., 2025).

Como já mencionado, quando se computa todos os discentes ativos no curso, a pegada ecológica fica significativa, a observar o dado de consumo hídrico pelo sistema chegando a cerca de 21 mil litros de água, 315 kWh e 126 kg de CO₂ apenas com busca de respostas dos *prompts* na plataforma ChatGPT, a gerar um débito ambiental de até 15 árvores a serem plantadas por semestre (Tabela 4). Esta métrica ilustra a dimensão da pegada ecológica digital inerente ao uso intensivo da tecnologia pelos discentes. Mais preocupante ainda é a constatação de que esta demanda não é estática (Figura 3); a tendência de crescimento exponencial observada ao longo dos três semestres sugere que os impactos ambientais associados ao processamento de prompts se agravarão continuamente, a corroborar com a literatura (Jegham et al., 2025; Van der Woude et al., 2025).

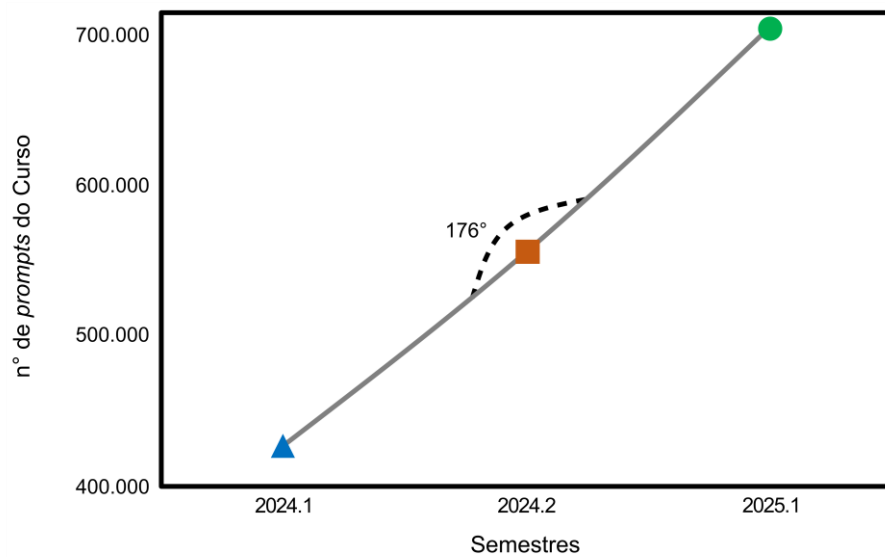
Tabela 4 – N° de *prompts* e a Pegada Ecológica pelo curso de graduação em Ciências Ambientais, por semestre pelo uso do ChatGPT (total de discentes = 280).

Ano	Prompts	Consumo		Emissão	Débito Ambiental
		Água (L)	Energia (kWh)	CO ₂ (kg)	n° de árvores a serem plantadas
2024.1	427.000	12.810	192,15	76,86	8
2024.2	558.880	16.767	251,49	100,59	12
2025.1	700.280	21.009	315,13	126,06	15

*280 alunos ativos

Fonte: Elaborada pela Autora.

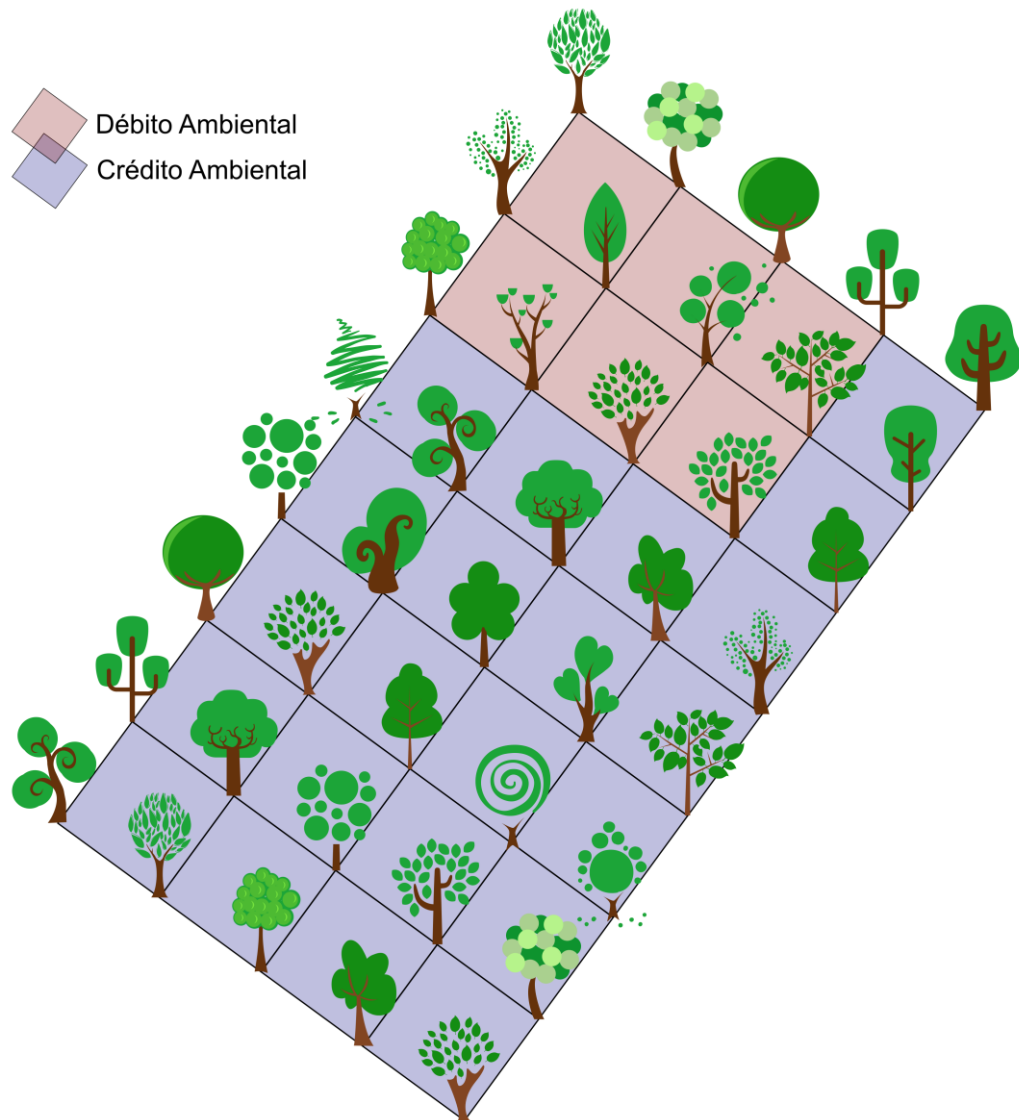
Figura 3 – N° de *prompts* requisitados ao ChatGPT pelo curso de graduação em Ciências Ambientais nos semestres analisados.



Fonte: Elaborada pela Autora.

A partir dos dados calculados, a proposta de compensação ambiental (revegetação com espécies arbóreas) foi a seguinte: 1° Cada ingressante do Curso (\pm 40 discentes), como atividade da Aula Magna (por semestre), plante uma espécie arbórea nativa, segundo o Manual de Arborização Urbana (Orientações e Procedimentos Técnicos Básicos para a Implantação e Manutenção da Arborização da Cidade do Recife) (SMAS, 2013); 2° Contabilize as árvores que estão pagando os Débitos Ambientais (pegada ecológica por uso do ChatGPT); e 3° As árvores excedentes sejam disponibilizadas como Créditos Ambientais para cobrir pegadas ecológicas advindas de outras ações do curso (e.g. deslocamento em atividades de campo) (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de revegetação semestral por cada ingressante no Curso, com áreas que equilibram os débitos e geram créditos ambientais.



Fonte: Elaborada pela Autora.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos confirmam a hipótese inicial de que o uso da inteligência artificial generativa (IAG), ChatGPT, por discentes do curso de Ciências Ambientais implica custos ambientais mensuráveis, expressos no consumo de água, energia e emissões de CO₂ por prompt requisitado. A análise dos dados revelou que, embora o impacto individual pareça reduzido, o efeito cumulativo — considerando o número de discentes e a frequência crescente de uso — torna-se ambientalmente significativo. Esse cenário reforça a necessidade de incorporar a dimensão ambiental no uso cotidiano das tecnologias digitais na universidade, tornando o conhecimento ambiental aplicado também à prática pedagógica e tecnológica.

Dessa forma, a proposta de compensação ambiental baseada na revegetação com espécies nativas, articulada à formação acadêmica, mostrou-se uma estratégia viável e educativa para mitigar os impactos ecológicos do uso da IAG. A criação de um sistema de Débitos e Créditos Ambientais vinculados ao uso do ChatGPT integra sustentabilidade e educação ambiental, estimulando nos discentes a consciência de que toda ação tecnológica possui um custo ecológico. Tal proposta, além de contribuir para o sequestro de carbono e a recarga hídrica local, também fortalece o papel das Ciências Ambientais na construção de uma cultura digital ecologicamente responsável. Assim, o estudo evidencia que a convivência entre inovação tecnológica e sustentabilidade é não apenas possível, mas necessária, consolidando o princípio de que a responsabilidade socioambiental deve acompanhar cada avanço científico e pedagógico no ensino superior.

REFERÊNCIAS

- ARXIV. **Computer Science > Machine Learning**. (2025). Disponível em <https://arxiv.org/> Acesso em Jan 2025.
- BHATIA, M. ET AL. Digital technologies and carbon neutrality goals: An in-depth investigation of drivers, barriers, and risk mitigation strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 451, e141946, 2024. Doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141946
- CHATGPT. **Por onde começamos**. (2025). Disponível em <https://chatgpt.com/> Acesso em Jan 2025.
- DAUVERGNE, P. Is artificial intelligence greening global supply chains? Exposing the political economy of environmental costs. **Review of International Political Economy**, v. 29, n. 3, SI, p. 696–718, maio 2022. Doi: 10.1080/09692290.2020.1814381
- D'CRUZ, E. Spatial dynamics of environmental offsetting in cities: Response to Koenraad Danneels (2024), 'Compensation landscapes'. **Landscape Research**, v. 50, n. 5, SI, p. 798–799, jul. 2025. Doi: 10.1080/01426397.2024.2440593
- DUAN, K. et al. Environmental implications of improving global value chain participation via trade diversification: Offsetting the effects of resource rents. **Journal of Environmental Management**, v. 379, abr. 2025. Doi: 10.1016/j.jenvman.2025.124757
- HASAN, S. M. M. et al. A green inventory model considering environmental emissions under carbon tax, cap-and-offset, and cap-and-trade regulations. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 40, n. 7, p. 538–553, out. 2023. Doi: 10.1080/21681015.2023.2242377
- JEGHAM, N.; ABDELATTI, M.; ELMOUBARKI, L.; HENDAWI, A. How Hungry is AI? Benchmarking Energy, Water, and Carbon Footprint of LLM Inference. **Computers and Society**, Jul. 2025. Doi: 10.48550/arXiv.2505.09598
- KARLSSON, M. Biodiversity Offsetting: Ethical Views within Environmental Organisations in the European Union. **Sustainability**, v. 14, n. 19, out. 2022. Doi: 10.3390/su141912514
- LEE, J. et al. Artificial Intelligence in Undergraduate Medical Education: A Scoping Review. **Academic Medicine**, v. 96, n. 11S, 60TH ANNUA, p. S62–S70, nov. 2021. Doi: 10.1097/ACM.0000000000004291
- LI, P.; YANG, J.; ISLAM, M. A.; REN, S. Making AI Less "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. **Machine Learning**, Mar. 2025. Doi: 10.48550/arXiv.2304.03271
- MERLER, M. The Environmental Costs of Artificial Intelligence: The Debate in The U.S. **Biolaw Journal**, n. 1, p. 591–614, 2025.

MICROSOFT EXCEL 365. (2025). **Office**. Disponível em <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/excel> Acesso em Jan 2025.

MORRISON-SAUNDERS, A.; SANCHEZ, L. Conceptualising project environmental impact assessment for enhancement: no net loss, net gain, offsetting and nature positive. **Australasian Journal of Environmental Management**, v. 31, n. 4, p. 386–403, out. 2024. Doi: 10.1080/14486563.2024.2400899

REN, S. et al. Reconciling the contrasting narratives on the environmental impact of large language models. **Scientific Report**, v. 14, e26310 (2024). Doi: 10.1038/s41598-024-76682-6

ROCHA, T. A. et al. Pegada de carbono em uma instituição educacional e potencial de compensação em florestas urbanas. **Desenvolvimento Ambiental**, v. 46, p. 100860, 2023. Doi:10.1016/j.evdev.2023.100860

RONDONI, A.; GRASSO, S. Consumers behaviour towards carbon footprint labels on food: A review of the literature and discussion of industry implications. **Journal of Cleaner Production**, v. 301, jun. 2021. Doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127031

SAJJA, R. et al. End-to-End Deployment of the Educational AI Hub for Personalized Learning and Engagement: A Case Study on Environmental Science Education. **IEEE Access**, v. 13, p. 55169-55186, 2025. Doi: 10.1109/ACCESS.2025.3554222

SANTANA, O. A. Minimum age for clear-cutting native species with energetic potential in the Brazilian semi-arid region. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 47, p. 411-417, 2017. Doi: 10.1139/cjfr-2016-0392

SANTANA, O. A.; CUNIAT, G.; IMAÑA-ENCINAS, J. Contribuição da vegetação rasteira na evapotranspiração total em diferentes ecossistemas do bioma cerrado, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 269-281, 2010. Doi: 10.5902/198050981851

SMAS - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE — PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Manual de arborização urbana**: orientações e procedimentos técnicos básicos para a implantação e manutenção da arborização da cidade do Recife. Recife: Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SMAS. 2013.

SCHMID, T. et al. The AI Methods, Capabilities and Criticality Grid A Three-Dimensional Classification Scheme for Artificial Intelligence Applications. **Kunstliche Intelligenz**, v. 35, n. 3–4, p. 425–440, nov. 2021. Doi: 10.1007/s13218-021-00736-4

SPELDA, P.; STRITECKY, V. The future of human-artificial intelligence nexus and its environmental costs. **Futures**, v. 117, mar. 2020. Doi: 10.1016/j.futures.2020.102531

SOUSA, S.; CRAVINO, J.; MARTINS, P. Challenges and Trends in User Trust Discourse in AI Popularity. **Multimodal Technologies and Interaction**, v. 7, n. 2, fev. 2023. Doi: 10.3390/mti7020013

VAN DER WOUDE, D. et al. Artificial intelligence in biocapacity and ecological footprint prediction in latin America and the caribbean. **Environment Development and Sustainability**, v. 27, n. 9, p. 22925–22946, set. 2025. Doi: 10.1007/s10668-024-05101-7

WANG, Q.; SUN, T.; LI, R. Does artificial intelligence (AI) reduce ecological footprint? The role of globalization. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 59, p. 124416–124424, dez. 2023. Doi: 10.1007/s11356-023-31076-5

WANG, Y. et al. Does artificial intelligence affect the ecological footprint? -Evidence from 30 provinces in China. **Journal of Environmental Management**, v. 370, nov. 2024. Doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122458

WANG, Q.; LI, Y.; LI, R. Ecological footprints, carbon emissions, and energy transitions: the impact of artificial intelligence (AI). **Humanities & Social Sciences Communications**, v. 11, n. 1, ago. 2024. Doi: 10.1057/s41599-024-03520-5

WEISS, P. V.; SCHEIBLICH, M.; BUZATU ALEXANDRU-ILIE AND COSTACHE, I. C. **Green Business Model Innovation: Enhancing Business Processes Through Application of Artificial Intelligence in Order to Reduce The Ecological Footprint**. (V. Dinu, Ed.) 2019 The BASIQ International Conference on "New Trends in Sustainable Business and Consumption. **Anais...**: Proceedings of BASIQ. Editura ASE: Bucuresti, 2019.

ZHANG, Y.; LIU, Y.; WANG, X. Enhancing anti-plagiarism literacy practices among undergraduates with AI. **Interactive Learning Environments**, out. 2025. Doi: 10.1080/10494820.2025.2492783