

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICIAG**

PEDRO EMÍDIO GONÇALVES VAZ

**QUANTIFICAÇÃO E NEUTRALIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA DO 11º SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS (SICAA)**

MONTE CARMELO

2026

PEDRO EMÍDIO GONÇALVES VAZ

**QUANTIFICAÇÃO E NEUTRALIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA DO 11º SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS (SICAA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, *campus* Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Vicente Toledo Machado de Moraes Junior

Coorientador: Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França

MONTE CARMELO

2026

PEDRO EMÍDIO GONÇALVES VAZ

**QUANTIFICAÇÃO E NEUTRALIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA DO 11º SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS (SICAA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Florestal, *campus*
Monte Carmelo, da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, 03 de março de 2026

Banca Examinadora

Prof. Dr. Vicente Toledo Machado de Moraes Junior
Orientador (UFU)

Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França
Coorientador (UFU)

Ms. Jocimar Caiafa Milagre
Membro da Banca

MONTE CARMELO
2026

*Dedico este trabalho, em primeiro lugar, à
minha família, pelo encorajamento,
discernimento e paciência que me deram as
condições e o amparo necessários para que eu
chegasse até aqui. Dedico-o também a todos
aqueles que vieram antes de mim e que, com
rigor e dedicação, pavimentaram a estrada do
conhecimento.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador Prof. Dr. Vicente Toledo Machado de Moraes Junior e ao meu coorientador Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França, pela confiança, pelas orientações técnicas e pelo rigor científico que conduziram este trabalho, o apoio constante, pelas contribuições críticas e pela paciência ao longo de todas as etapas do estudo.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), instituição pública de ensino, pesquisa e extensão, expresso minha gratidão pela formação acadêmica e pela infraestrutura que viabilizou o desenvolvimento desta pesquisa, reafirmando a relevância da universidade pública para a produção de conhecimento e para o avanço de soluções voltadas ao interesse coletivo.

Ao NUPLAMFLOR (Núcleo de Estudos, Pesquisa e Extensão em Planejamento e Manejo da Paisagem Florestal), do qual faço parte, agradeço pelo ambiente de aprendizado, pelas trocas científicas e pelo suporte institucional que fortaleceram a execução do trabalho e a consolidação das atividades de campo e análise.

À Prefeitura de Monte Carmelo e a Secretária de Agronegócio e Meio Ambiente, registro meu agradecimento pela liberação da área destinada ao plantio das mudas e por todo o suporte operacional fornecido, incluindo insumos e apoios necessários para a implementação da ação de neutralização, fundamentais para a viabilização prática do estudo.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq), e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia (PROPP/UFU), pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa, no âmbito do EDITAL DIRPE Nº 1/2024, proposta nº 6449239.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, em especial à Comissão Carbono Neutro, pelo comprometimento na organização e coleta de informações, e a todos que participaram do plantio e das atividades de apoio em campo. Cada colaboração foi essencial para transformar este trabalho em um esforço coletivo, com propósito científico e impacto positivo.

*“É melhor acender uma vela do que
praguejar contra a escuridão.”*

(Sagan, 2006, **O mundo assombrado pelos
demônios: a ciência vista como uma vela no
escuro**, p. 8).

RESUMO

O estudo quantificou e neutralizou as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do 11º Simpósio de Ciências Agrárias Ambientais (SICAA) da Universidade Federal de Uberlândia, além de avaliar o desempenho inicial do plantio de neutralização. O inventário de emissões foi elaborado conforme o Programa Brasileiro GHG Protocol, definindo limites organizacionais e operacionais e classificando as fontes emissoras nos escopos 1, 2 e 3. Dados de combustão móvel e estacionária, consumo de energia elétrica, resíduos sólidos, efluentes e adubação foram coletados e convertidos em toneladas de CO₂e. Para neutralizar as emissões, considerou-se o estoque futuro de carbono do Bioma Cerrado, estimado em 0,044461 tCO₂e .ind⁻¹ com base na densidade arbórea e no estoque médio por hectare. Após 5 meses de plantio foi realizada a avaliação de sobrevivência e de estoque de carbono das mudas com equação alométrica. O inventário resultou em 3,89 tCO₂e e de emissões totais, com predominância dos escopos 1 e 3 associadas ao principalmente a combustão móvel. Para a compensação foi feito o plantio de 99 mudas de 11 espécies nativas no Parque da Matinha, em Monte Carmelo (MG). O monitoramento cinco meses após o plantio apontou taxa de sobrevivência de 65 %, inferior à margem de segurança prevista, ressaltando a necessidade de replantio e maior manutenção. As espécies como *Ceiba speciosa*, *Myrocarpus frondosus* e *Libidibia ferrea* tiveram maior crescimento em diâmetro e altura, elevando a estocagem de carbono e sendo recomendadas para projetos futuros, enquanto *Dipteryx alata* e *Inga edulis* demonstraram menor desempenho inicial. -Conclui-se que a integração entre diagnóstico, neutralização e monitoramento fortalece a gestão e sensibilização climática em eventos, e que a seleção de espécies e o planejamento operacional influenciam a eficácia das ações de mitigação.

Palavras-chave: Restauração Florestal; Reporte climático; Remoção de carbono, Descarbonização.

ABSTRACT

The study quantified and neutralized the greenhouse gas (GHG) emissions from the 11th Symposium of Agrarian and Environmental Sciences (SICAA) at the Federal University of Uberlândia, while also evaluating the initial performance of the neutralization planting. The emissions inventory was developed following the Brazilian GHG Protocol Program, defining organizational and operational boundaries and classifying emission sources into Scopes 1, 2, and 3. Data on mobile and stationary combustion, electricity consumption, solid waste, effluents, and fertilization were collected and converted into tons of CO₂e. To neutralize the emissions, the future carbon stock of the Cerrado Biome was considered, estimated at 0.044461 tCO₂e .ind⁻¹ based on tree density and average stock per hectare. Five months after planting, a survival assessment and carbon stock evaluation of the seedlings were conducted using an allometric equation. The inventory resulted in 3.89 tCO₂e of total emissions, with a predominance of Scopes 1 and 3, primarily associated with mobile combustion. For compensation, 99 seedlings of 11 native species were planted in Parque da Matinha, in Monte Carmelo (MG). Monitoring five months post-planting indicated a 65% survival rate, which is lower than the projected safety margin, highlighting the need for replanting and increased maintenance. Species such as *Ceiba speciosa*, *Myrocarpus frondosus*, and *Libidibia ferrea* showed greater growth in diameter and height, increasing carbon storage and making them recommended for future projects, while *Dipteryx alata* and *Inga edulis* showed lower initial performance. It is concluded that the integration of diagnosis, neutralization, and monitoring strengthens climate management and awareness at events, and that species selection and operational planning directly influence the effectiveness of mitigation actions.

Keywords: Forest Restoration; Climate report, Carbon Removal, Descarbonization.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1	Inventário de Emissões de GEE	12
2.1.1	<i>Definição dos limites organizacionais e operacionais do inventário.....</i>	<i>13</i>
2.1.2	<i>Coleta de dados</i>	<i>15</i>
2.1.2.1	<i>Escopo 1.....</i>	<i>15</i>
2.1.2.2	<i>Escopo 2.....</i>	<i>18</i>
2.1.2.3	<i>Escopo 3.....</i>	<i>20</i>
2.2	Neutralização de emissões	21
2.3	Monitoramento do plantio para estoque de carbono	24
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
3.1	Inventário de Emissões.....	26
3.2	Neutralização de Emissões	27
3.3	Monitoramento do plantio para estoque de carbono	31
4	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, atividades como o desmatamento e a queima de combustíveis fósseis intensificaram o efeito estufa (FILONCHYK et al., 2024). Como consequência, observa-se a maior ocorrência de eventos extremos, como secas, inundações e queimadas gerando impactos socioambientais como perda de biodiversidade e riscos à segurança alimentar (NASA, 2021).

Em resposta a essa crise, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) estabeleceu, entre outros marcos, o Protocolo de Quioto (1997) e o Acordo de Paris (2015), que propõem estabilizar as concentrações dos GEE. De acordo com o (IPCC, 2023); é necessário atingir o net zero global de CO₂ até 2050, para limitar o aquecimento a 1,5°C. As ações de adaptação e mitigação que incluem a quantificação das emissões, sua neutralização e a restauração de ecossistemas degradados, são essenciais para atingir tais metas (ARTAXO, 2022). Para o sucesso das metas de mitigação climáticas são necessários projetos operacionais de redução na concentração de gases de efeito estufa (GEE) da atmosfera.

A Lei nº 15.042 institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), estabelecendo o marco regulatório do mercado de carbono no Brasil (BRASIL, 2024). A legislação é baseada no modelo “cap-and-trade” impondo teto de emissões e cotas negociáveis de carbono, estimulando investimentos em tecnologias de descarbonização (GODOY, 2015). Os programas de monitoramento, relato e verificação (MRV) são pré-requisitos para estruturar um mercado com maior disponibilidade e qualidade de informações sobre emissões de GEE (LUO, 2024).

O inventário de emissões é uma ferramenta de gestão climática que permite mapear e quantificar as emissões de GEE (HICKMAN, 2017). O GHG Protocol é um padrão amplamente utilizado para mensuração das emissões de GEE, criado pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e pelo World Resources Institute (WRI) (GHG Protocol, 2024). O Programa Brasileiro GHG Protocol foi desenvolvido em 2008, adaptado ao contexto nacional, garantindo sua aplicabilidade e reconhecimento internacional (MELO, 2018).

Após a quantificação das emissões de CO₂ por meio do inventário, torna-se necessário estabelecer estratégias de mitigação. A restauração florestal com o plantio de espécies nativas em áreas degradadas constitui uma estratégia eficaz de neutralização de emissões de GEE e de recuperação de serviços ecossistêmicos (MORAIS JUNIOR et al., 2020). O Brasil comprometeu-se a restaurar 12 milhões de hectares até 2030, e o estado de Minas Gerais prevê

a recuperação de 3 milhões de hectares de áreas de vegetação (MINAS GERAIS, 2023; BRASIL, 2024). Assim, o carbono estocado nas áreas restauradas podem gerar VCU's (Verified Carbon Unit) do escopo Arborização, Reflorestamento e Revegetação (ARR) no mercado voluntário de carbono (GRANDINI, 2025). Já no âmbito do mercado regulado de carbono no Brasil podem gerar Certificado de Remoção ou Redução Verificada de Remoções (CRVE) (VIEIRA, 2025).

Segundo Terra et al. (2022), o Cerrado é considerado um *hotspot* global de biodiversidade, possui elevado potencial de estocagem de carbono e pagamentos por serviços ambientais. Contudo, enfrenta intensa pressão socioambiental devido à expansão da fronteira agropecuária e apresenta elevado grau de conflitos de uso da terra, tornando-o estratégico na mitigação climática (CARTOLANO, 2022; DE MORAIS JUNIOR, 2024). Os mecanismos de créditos de carbono via mercado voluntário ou regulado, atuam na remuneração do sequestro de CO₂ pela restauração florestal, criando um incentivo econômico para a recomposição do bioma (BRANCALION et al., 2012).

A estimativa do estoque de carbono é fundamental para monitoramento de projetos de restauração, passando pela valoração de créditos de carbono florestal, até o subsídio a políticas climáticas (SATO, 2025; DE ALMEIDA, 2020). Para o sucesso das estimativas de incremento de biomassa em áreas de restauração florestal têm se aplicado equações alométricas baseadas em medidas dendrométricas (SOUZA, Y. F. 2020). No presente trabalho, a estimativa de estoque de carbono das mudas plantadas baseia-se em equação desenvolvida para plantios jovens em Viçosa/MG, adequada a áreas degradadas e a espécies do bioma (Moraes Júnior *et al.* 2021).

Apesar do crescente rigor nas políticas de mitigação climática, as instituições de ensino superior (IES) e seus eventos técnico-científicos ainda representam um desafio para a gestão de emissões. Em estudos recentes, como o realizado na Universidade Nacional da Colômbia (CANO et al., 2022) e no Instituto Federal do Espírito Santo (MILAGRE et al., 2023), o Escopo 3 representou a maior parte das emissões totais, respectivamente, com forte dominância do transporte. No contexto específico de conferências e eventos científicos, o panorama é semelhante, visto que as viagens de pesquisadores e participantes se destacam de forma expressiva na geração do impacto climático (SILVA et al., 2022).

A realização de inventários de GEE em eventos acadêmicos, associada a plantios de mudas para neutralização, contribui para a mitigação climática e representa uma estratégia para fortalecer a produção de conhecimento científico aplicado ao tema (MORAIS JUNIOR, 2022;

JACOVINE; TORRES, 2022). No entanto, ainda são escassos os estudos que integram a quantificação e a neutralização de emissões em eventos técnico-científicos, especialmente no que se refere às práticas de neutralização por meio de plantios com espécies nativas. Ao integrar diagnóstico, monitoramento e ações efetivas de mitigação climática, as IES cumprem o papel como catalisadoras de políticas públicas e da inovação voltada à ação climática (BRIANEZI, 2014).

Diante disso, este estudo buscou de forma integrada a quantificação e a neutralização das emissões de GEE de um evento técnico-científico universitário. Para a quantificação, adotou-se a metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol, mapeando e classificando as fontes emissoras nos escopos 1, 2 e 3. A neutralização das emissões foi efetivada por meio do plantio de mudas nativas, dimensionado com base no estoque futuro de carbono estimado a partir do crescimento da biomassa florestal e dos aspectos ecológicos do bioma Cerrado. O monitoramento visou avaliar o desempenho inicial do plantio aos 5 meses de idade, realizando medições dendrométricas e utilizando equações alométricas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A quantificação de emissões de GEE aconteceu durante a realização do evento 11º SICAA – Simpósio de Ciências Agrárias Ambientais no campus da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em Monte Carmelo, entre os dias 4 e 7 de novembro de 2024. Além do campus, houve atividades de responsabilidade direta do evento em outros locais na cidade, como “minicursos com experiências práticas de campo” e o “Boteco do SICAA”. Portanto, a abrangência do inventário de GEE considerou outros locais externos ao campus da UFU Monte Carmelo (Figura 1).

No estudo, o plantio de neutralização aconteceu no dia 22 de fevereiro de 2025 em uma área próxima ao fragmento florestal conhecido popularmente como “Parque da Matinha” (-18.7469, 47.5142). Essa área não está legalmente institucionalizada como uma Unidade de Conservação e foi destinada pela Secretaria do Agronegócio e Meio Ambiente de Monte Carmelo. Ela encontra-se sob diversas pressões antrópicas pela proximidade com a zona urbana. A medição dos dados dendrométricas aconteceu em campo em julho de 2025, cinco meses após o plantio das mudas.

2.1 *Inventário de Emissões de GEE*

A elaboração do inventário de emissões de GEE do 11º SICAA – UFU baseou-se na metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol, derivada do padrão Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Esse referencial foi desenvolvido pelo WBCSD e pelo WRI, no contexto brasileiro, foi adaptado pelo FGVces, em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) (WRI; WBCSD, 2004; FGV EAESP, 2024).

A aplicação dessa metodologia buscou, adicionalmente, atender aos requisitos da ISO 14064-1 e às demais diretrizes relacionadas da família ISO 14064, assegurando maior consistência, rastreabilidade e comparabilidade na quantificação e no reporte das emissões (ABNT, 2015). O Programa Brasileiro GHG Protocol também utiliza referenciais técnicos internacionalmente reconhecidos, como o (IPCC, 2019).

Conforme o *GHG Protocol: Corporate Accounting and Reporting Standard*, após o estabelecimento dos limites do inventário, a elaboração das estimativas de emissões seguiu as etapas de: (i) seleção da abordagem de cálculo, (ii) definição de limite organizacional e operacional, (iii) coleta de dados de atividade, (iv) aplicação de ferramentas de cálculo e (v)

consolidação (“roll-up”) das emissões. As metodologias e fatores de emissão foram baseadas na ferramenta de cálculo do Programa Brasileiro da GHG Protocol ciclo 2024 (FGV EAESP, 2024).

2.1.1 Definição dos limites organizacionais e operacionais do inventário

A definição dos limites do inventário de GEE deve ser conduzida em duas etapas sequenciais, conforme o *GHG Protocol: Corporate Accounting and Reporting Standard*: (i) estabelecimento do limite organizacional e (ii) estabelecimento do limite operacional (WRI; WBCSD, 2004).

O limite organizacional foi definido como o conjunto de unidades e instalações contempladas pelo inventário, adotando-se o campus da UFU em Monte Carmelo por sediar a programação principal do 11º SICAA, incluindo sua infraestrutura e serviços associados. Ações paralelas nos espaços Fazenda Santa Bárbara Cafés Especiais, Viveiro de Mudanças do IEF, Parque da Matinha e o espaço de festas o Pelicano Eventos (Figura 1). Essa delimitação assegurou que o inventário contemplasse as emissões decorrentes das operações vinculadas à execução do evento, incluindo atividades realizadas fora do campus quando caracterizadas como parte da programação oficial e sob coordenação da organização.

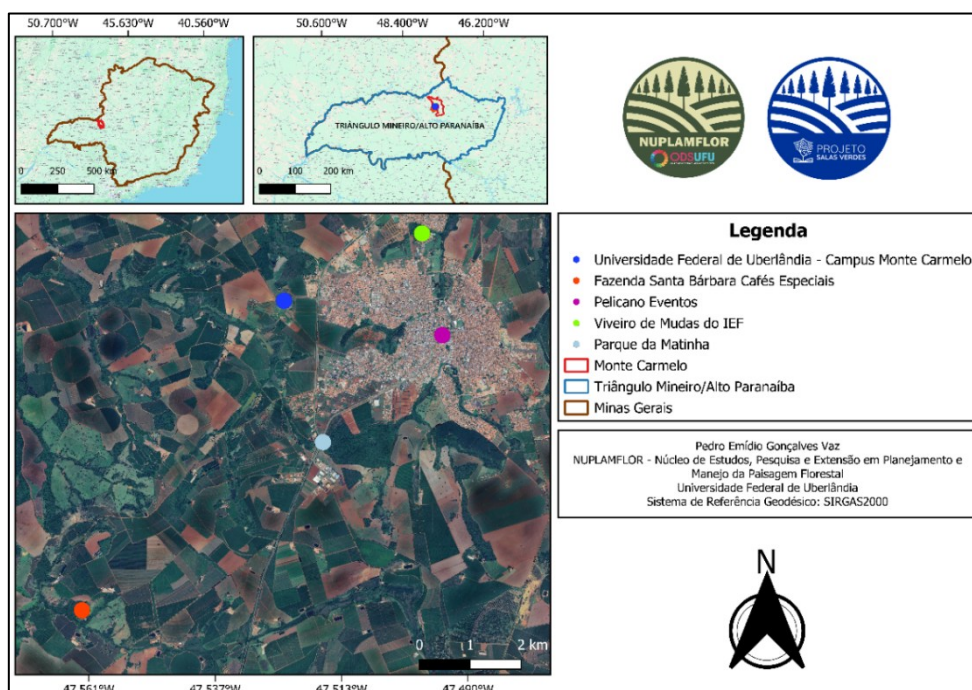


Figura 1. Mapa de localização apresentando a abrangência do Inventário de GEE. Estão representados no mapa o Campus de Monte Carmelo da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Pelicano Eventos, Fazenda Santa Bárbara, Viveiro de mudas do IEF e Parque da Matinha.

O limite operacional foi estruturado pela classificação das fontes emissoras nos Escopos 1, 2 e 3, conforme o GHG Protocol, de modo a distinguir emissões diretas e indiretas e explicitar a responsabilidade do evento sobre cada categoria inventariada. No 11º SICAA, adotou-se o critério de controle operacional, definindo-se o limite operacional a partir do mapeamento e quantificação das emissões de responsabilidade do evento.

Tabela 1. Escopos e descrições das fontes emissoras.

Escopo	Definição
Escopo 1 Emissões diretas	São as relativas a fontes que pertencem ou são de controle da organização, ou seja, emissões originadas dentro dos limites organizacionais.
Escopo 2 Emissões indiretas	Emissões provindas da geração de energia elétrica (rede) e do processo de tratamento de água e esgoto. Essas emissões acontecem em outras áreas fora dos limites organizacionais do evento.
Escopo 3 Outras emissões indiretas	São outras emissões causadas por atividades que acontecem na cadeia de valor da organização do evento. São oriundas de fontes que não pertencem ou não são controladas pela organização do evento.

Com base no delineamento dos limites organizacionais e operacionais, identificaram-se as principais fontes emissoras associadas ao 11º SICAA (Figura 2). As fontes foram agrupadas em 6 categorias: combustão estacionária, combustão móvel, energia elétrica, consumo de água tratada, adubação nitrogenada para a neutralização e geração de resíduos de sólidos e material gráfico.



Figura 2. Fontes emissoras de GEE mapeadas para coleta de dados durante o 11º SICAA.

2.1.2 Coleta de dados

A coleta de dados do inventário de emissões do 11º SICAA foi conduzida a partir da criação da Comissão Carbono Neutro, composta por discentes e docentes da UFU – Campus Monte Carmelo, responsável por organizar, padronizar e executar o levantamento das informações das principais fontes emissoras associadas ao evento (Figura 3). A comissão realizou reuniões semanais para definir cronogramas, atribuir responsabilidades e estabelecer procedimentos de coleta por categoria (p. ex., deslocamento, energia, resíduos e efluentes), assegurando consistência e rastreabilidade dos registros.



Figura 3. Integrantes da Comissão Carbono Neutro responsáveis pela coleta de dados do inventário de emissões do 11º SICAA.

Após a obtenção dos dados primários junto aos setores envolvidos e aos responsáveis operacionais do evento, as informações foram sistematizadas e processadas em planilhas do Microsoft Excel, mantidas em drive compartilhado pela equipe, o que possibilitou a atualização contínua, controle de versões e consolidação dos dados para posterior etapa de cálculo e análise do inventário.

2.1.2.1 Escopo 1

Combustão móvel

São as emissões de GEE provenientes da queima de combustível, utilizada para produzir movimento e percorrer um trajeto. Foram levantados dados de atividade referentes (i) ao

deslocamento dos palestrantes desde o município de origem até o local de realização do evento e (ii) ao transporte de mudas destinadas ao plantio de neutralização.

A delimitação dessa fonte emissora foi conduzida a partir do levantamento dos deslocamentos associados a essas duas atividades, registrando-se, quando aplicável, a participação de veículos terrestres e de deslocamentos aéreos para alguns palestrantes. As distâncias percorridas foram utilizadas para estimar o combustível consumido, expresso em litros, e esse dado foi empregado como base para a conversão em emissões (CO₂e) por meio de fatores de emissão.

Os deslocamentos terrestres dos palestrantes totalizaram 6.928,50 km, obtidos a partir do somatório das viagens realizadas durante o período do evento. Para converter a distância total em volume consumido, foi adotado um consumo médio de 13,4 km L⁻¹, resultando em um consumo estimado de 517,05 L de combustível. Considerando a composição do combustível utilizado, o volume total foi desagregado em 377,45 L de gasolina automotiva pura e 139,60 L de etanol anidro, conforme a proporção adotada no inventário.

Além dos deslocamentos terrestres, foram contabilizados deslocamentos aéreos realizados por parte dos palestrantes. Para esses casos, foi utilizado o consumo médio de combustível adotado no inventário, contabilizando-se 211,30 L de querosene de aviação (QAV).

Para o cálculo de emissões da atividade foi utilizado a Equação 01:

$$E = Q * FE \quad \text{Eq. 01}$$

Em que: E = Emissão de GEE, em toneladas; Q = Quantidade consumida de combustível, em litros; FE = Fator de emissão de GEE por tipo de combustível.

Combustão estacionária

A combustão estacionária se refere as emissões de GEE provenientes da queima de combustível em equipamentos fixos, sem fins para deslocamento. A energia gerada foi utilizada para produzir calor para preparação das refeições. Durante a realização do evento foram realizados “Coffe Break” no período da manhã e à tarde. Também houve a venda de refeições durante o almoço da Feira Tecnológica de Ciências Agrárias e Ambientais” (FEAGRO), além do jantar na festa de encerramento “Boteco do SICAA”. A atividade registrada pela empresa do buffet gerou o consumo total de 149 kg de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). As emissões de GEE da atividade foram calculadas pela Equação 02:

$$E = Q * FE \quad \text{Eq. 02}$$

Em que: E = Emissão de GEE, em toneladas; Q = Quantidade consumida de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), em toneladas; FE = Fator de emissão de GEE por consumo de GLP.

Resíduos sólidos

As emissões resultantes de resíduos inorgânicos e orgânicos gerados em função do SICAA também fizeram parte do inventário. Foram realizadas pesagens diárias dos resíduos gerados nos locais onde aconteciam o evento no campus, utilizando-se uma balança digital de precisão (0,01 g). As principais coletas foram realizadas durante os intervalos dos “Coffee Breaks”, com a geração de plástico (garrafas de refrigerante), papelão (embalagens de comida), além de resíduos orgânicos (Figura 4). Além disso, os materiais de divulgação do evento, como blocos de notas, crachá e pastas também foram considerados.

As pesagens diárias dos resíduos registradas no Escopo 1 do inventário totalizaram 328 kg. Desse total, 78 kg foram provenientes das atividades do evento e 250 kg dos materiais de divulgação, sendo sua composição de 70% de papéis/papelão e 30% de resíduos alimentares. No evento, os resíduos não foram separados por tipologia de materiais, sendo dispostos de forma misturada e destinados para o aterro sanitário do município. Para o cálculo das emissões de metano (CH_4) na disposição final de resíduos sólidos em aterros, em toneladas, utilizou-se a equação 03:

$$EM = \sum (RSU * FCM * COD * COD_r * FEM * 16/12 - R) * (1 - OX) \quad \text{Eq. 03}$$

Em que: EM = Emissão de metano total, em toneladas; RSU = Quantidade de resíduos sólidos, em toneladas; FCM = Fator de Correção de Metano; COD = Carbono Organicamente Degradável; COD_r = Fração do carbono que realmente se degrada; FEM = Fração de carbono Emitida como Metano; 16/12 = Taxa de conversão, em peso molecular, de carbono para metano; R = Metano recuperado; OX = Fator de Oxidação.

Atividades Agrícolas

No plantio de mudas para neutralização das emissões foi feita a aplicação de fertilizantes nitrogenados, que constitui uma importante fonte de emissões diretas de óxido nitroso (N_2O), gás com elevado Potencial de Aquecimento Global (PAG = 298). No plantio, foi adotado como fonte principal o fertilizante mineral NPK 20-5-20, cuja formulação contém 20% de nitrogênio.

Considerando a aplicação de 150 g por muda, tem-se que 30 g correspondem à fração nitrogenada.

Adotando a taxa padrão de emissão de N₂O de 1% do nitrogênio aplicado, conforme diretrizes do IPCC (2019), a emissão individual estimada por muda foi de 0,3 g de N₂O, totalizando 29,7 g de N₂O para o plantio de 99 mudas, o que equivale a 0,0000297 t de N₂O. Ao multiplicar este valor pelo fator de conversão de 298 (PAG do N₂O), a emissão resultante é de 0,008506 tCO_{2e}.

Para efeito de arredondamento e adequação à ferramenta do GHG Protocol. Esse cálculo segue metodologia reconhecida pelo Programa Brasileiro GHG Protocol (2024), utilizado como referência em inventários corporativos de GEE no país, além de estar alinhado com os princípios de relevância e exatidão da ISO 14064-1. Tal abordagem foi adotada em outros inventários e neutralização de GEE de eventos em outras instituições de ensino superior federal no Brasil (MORAIS JÚNIOR, 2020).

2.1.2.2 Escopo 2

Consumo de energia elétrica

As emissões de GEE dessa fonte são resultantes do consumo de energia elétrica, diretamente relacionado ao percentual de combustíveis fósseis utilizados na geração de energia, o que está associado principalmente a operação de bombas hidrelétricas. Consequentemente, as mesmas fontes de energia consideradas renováveis geram emissões de GEE durante o seu funcionamento.

Para quantificar os GEE associados ao consumo de energia elétrica, é fundamental determinar o consumo de energia elétrica em MWh. Para o evento identificou-se os equipamentos em funcionamento e registrou o tempo de funcionamento, permitindo assim o cálculo estimado do consumo em MWh. Portanto, o consumo de energia elétrica consumido durante o evento foi estimado utilizando a equação 04:

$$CDE = [P/1000] \times H \quad \text{Eq. 04}$$

Em que: CDE = Consumo de energia elétrica dos equipamentos (em MWh); P = Potência de cada equipamento quantificado (em Watts); H= horas estimadas de funcionamento de cada equipamento.

No espaço de festa “Pelicano Eventos” onde se realizou o "Boteco do SICAA" foi possível realizar a leitura direta no padrão de medição de energia (Figura 4), aferindo-se a leitura no início e ao final do evento, conforme a equação 05:

$$CDE = CDEf - CDE0 \quad \text{Eq. 05}$$

Em que: CDE = Consumo de energia elétrica dos equipamentos (em kWh); CDEf = Leitura do consumo de energia elétrica aferida no padrão no final do evento (em kWh); CDE0 = Leitura do consumo de energia elétrica aferida no padrão no início do evento (em kWh).

Com base no levantamento das horas de uso e da potência nominal dos equipamentos, o consumo estimado foi de 1,27 MWh. O consumo direto registrado no Pelicano Eventos totalizou 0,05 MWh. A partir desses dados, as emissões foram calculadas pela Equação 06:

$$E = Q * FE \quad \text{Eq. 06}$$

Em que: E = Emissão de GEE, em toneladas; Q = Quantidade consumida de energia elétrica, em kWh; FE = Fator de emissão de GEE por consumo de energia elétrica.

Geração de Efluentes

A descarga direta de esgotos em corpos hídricos contribui para emissões de CH₄ e N₂O devido à degradação anaeróbica. Atualmente, no município de Monte Carmelo, o efluente é majoritariamente destinado ao canal de esgoto municipal e, posteriormente, ao curso d'água. Contudo, considerando a ausência de metodologias adaptadas à realidade brasileira que incorporam essa particularidade, optou-se, no presente estudo, por pressupor que todo o volume de efluente gerado seja direcionado à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Assim, foi considerado que o tratamento anaeróbico do efluente fosse integralmente realizado (Brianezi, 2012).

Dessa forma, foi realizada a quantificação das emissões provenientes da geração de efluentes nas instalações da UFU, no espaço de realização do “Boteco do SICAA” e nos banheiros químicos. Para a obtenção desses dados, foram realizadas leituras dos hidrômetros no local de operação do evento (Figura 4) e com base nas estimativas de quantidade de água utilizada por banheiro químico (20 litros de água por banheiro químico). Com isso foi possível observar um lançamento de 83 m³ de efluentes líquidos. A estimativa da liberação de GEE ao ambiente dessa fonte emissora foi feita a partir da equação 07:

$$EE = (TO * FE) - R \quad \text{Eq. 07}$$

Em que: EE = Emissões de Efluentes - Quantidade de metano gerada, em toneladas de CH₄; TO = Efluente orgânico total, em t DQO ou t DBO; FE = Fator de emissão, em t CH₄/t DQO ou t CH₄/t DBO; R = metano recuperado, em toneladas de CH₄.

2.1.2.3 Escopo 3

Combustão móvel

Foi considerado o deslocamento de palestrantes, expositores e outros envolvidos utilizando veículos que participaram da FEAGRO (Feira Tecnológica de Ciências Agrárias e Ambientais), uma feira associada e integrada dentro da programação do SICAA - UFU. Neste escopo, foram levantados os dados dos deslocamentos para montagem da estrutura da feira e o deslocamento de empresas responsáveis pela FEAGRO. Isso foi classificado como uma fonte de emissão do Escopo 3 por se tratar de uma emissão indireta, que ocorre fora dos limites organizacionais do evento, mas que está diretamente relacionada à sua realização (Figura 4). Assim a combustão móvel vinculada à FEAGRO totalizou 9.144 km de deslocamento.

Para quantificação das emissões foram realizadas a coleta da distância de deslocamentos para estimar o consumo de combustível durante a feira (Equação 08).

$$E = Q * FE \quad \text{Eq. 08}$$

Em que: E = Emissão de GEE, em toneladas; Q = Quantidade consumida de combustível, em litros; FE = Fator de emissão de GEE por tipo de combustível.

Resíduos sólidos

Os resíduos gerados em função da FEAGRO também fizeram parte do inventário de emissões. Durante a realização das atividades da feira houve o descarte de lixo, ocasionados da venda de comida e bebida no local, além dos resíduos das atividades da feira. Sendo necessária a pesagem de todo o lixo gerado desde os descartados para as montagens das estruturas até os que foram descartados pelos participantes. A pesagem dos resíduos sólidos da FEAGRO durante a realização da feira totalizou 66,6 kg, com sua composição sendo de 70% de resíduos alimentares e 30% de papéis /papelão. Para o cálculo das emissões de metano (CH₄) na disposição final de Resíduos Sólidos em aterros, em toneladas, utilizou-se a equação 09:

$$EM = \sum (RSU * FCM * COD * CODr * FEM * 16 \cdot 12 - R) * (1 - OX) \quad \text{Eq.09}$$

Em que: EM = Emissão de metano total (em toneladas); RSU = Quantidade de resíduos sólidos, em toneladas; FCM = Fator de Correção de Metano; COD = Carbono Organicamente Degradável; COD_r = Fração do carbono que realmente se degrada; FEM = Fração de carbono Emitida como Metano; 16/12 = Taxa de conversão, em peso molecular, de carbono para metano; R = Metano recuperado; OX = Fator de Oxidação.

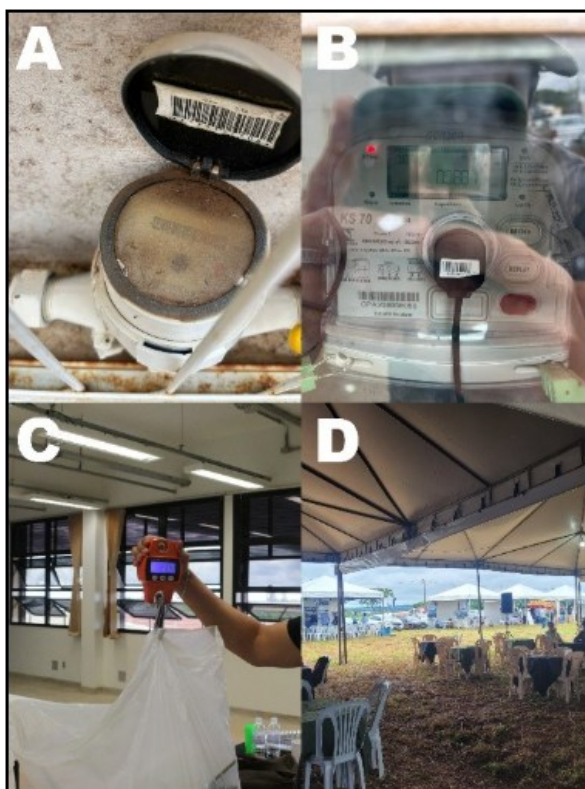


Figura 4. Coleta de dados de diferentes fontes de emissão: A – Realização da leitura de hidrômetro para emissões de efluentes pelo consumo de água. B – A aquisição de energia elétrica a partir da constatação de consumo no padrão de energia durante os dias de evento. C – Pesagem do lixo gerado nos coffe breaks para emissões de resíduos. D – Infraestrutura e estandes da FEAGRO responsáveis por emissões na categoria combustão móvel.

2.2 Neutralização de emissões

A neutralização das GEE por meio do plantio de árvores ocorre através da remoção de carbono presente na atmosfera pelo processo de fotossíntese. As árvores absorvem dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e armazenam o carbono em sua biomassa (tronco, galhos, folhas e raízes) e no solo. Esse procedimento tem sido utilizado como alternativa para neutralização das emissões de GEE em eventos, pois esse processo reduz a quantidade de CO₂ na atmosfera, possibilitando assim em longo prazo zerar as emissões líquidas de eventos (MORAIS JUNIOR et al., 2022).

No estudo, o plantio de neutralização aconteceu em área de borda do fragmento florestal conhecido popularmente como “Parque da Matinha” (-18.7469, 47.5142) (Figura 5). A área não está legalmente institucionalizada como uma Unidade de Conservação e encontra-se sob diversas pressões antrópicas pela proximidade com a zona urbana. Essa área foi destinada pela Secretaria do Agronegócio e Meio Ambiente do Município de Monte Carmelo.



Figura 5. Localização do plantio de neutralização das emissões de GEE do 11º Simpósio de Integração Acadêmica e Científica de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo.

O local é caracterizado por bacias e coberturas sedimentares fanerozóicas nas unidades de relevo definidas como “Chapadas de Uberlândia – Araguari” na categoria “Pediaplano Degradado Etchplanado” (SEMAD, 2025). O tipo de solo presente na área é Latossolo vermelho distrófico (IDESISEMA, 2025). A pluviosidade acumulada da estação meteorológica mais próxima (Uberlândia) foi de 606 mm entre janeiro e julho de 2026 e 407 mm para o período de implantação do plantio até a primeira medição (SEMAD, 2025).

O domínio fitogeográfico do município é “Cerrado”. As classificações da vegetação do fragmento ao lado da área do plantio englobam cinco fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual, Cerradão, Vegetação secundária de Floresta Semidecidual, Mata de Galerias e Cerrado stricto sensu, além de regiões de clareira e pastagem (LOPES et al., 2011), resultados de pressão antrópica histórica na área. No fragmento ao lado da área de estudo já foram encontradas espécies de 4 espécies ameaçadas de extinção, sendo estratégicas para conservação

da biodiversidade (LOPES et al., 2011; FRANÇA et al., 2024). A área de estudo é uma área de cerca de 1,0 ha com elevado grau de degradação ambiental por conta da forte presença de gramíneas exóticas invasoras, baixo potencial de regeneração natural e solo degradado.

Para a neutralização das emissões de GEE estimadas neste inventário, adotou-se o valor médio de 35,475 tCO₂/ha como referência para o estoque de carbono em áreas de Cerrado em estágio clímax ecológico aos 30 anos. Essa média está metodologicamente alinhada com os fatores de remoção propostos pelo IPCC para savanas tropicais, que indicam valores em torno de 34,64 tCO₂/ha (IPCC, 2006). O resultado é corroborado por dados empíricos da literatura científica, incluindo estudos em áreas do Cerrado de Grace et al. (2006), Kauffman et al. (1994), Abdala et al. (1998) e Santos (1988), conforme apresentado na Tabela 2, que trata da produtividade e dos fluxos de carbono em savanas tropicais.

Tabela 2. Referências para estimativa de carbono estocado na área de Cerrado no Parque da Matinha Kauffman et al., (1994) Abdala et al., (1998), Santos (1988) Kauffman et al., (1994).

Fitofisionomia	Estoque de carbono aéreo (tC/ ha)	Estoque de carbono radicular (tC/ ha)	Estoque de carbono total (tC/ha)
Brasil, Cerrado <i>sensu stricto</i>	2,22	-	2,22
Brasil, Cerrado <i>sensu stricto</i>	15,90	2,60	18,50
Brasil, Cerrado <i>sensu strico</i>	14,50		14,50
Brasil, campo sujo	3,48		3,48
Média de estoque de Carbono (tC/ha)			9,68
Média de estoque de CO₂ (tCO₂/ha)			35,48
Média de estoque de CO₂ (tCO₂/ha). indivíduo⁻¹			0,044461

A densidade de indivíduos arbóreos empregada neste inventário foi obtida por meio de análise fitossociológica na área da Matinha, totalizando 798 indivíduos ha⁻¹ (PRADO JÚNIOR et al., 2012). Com base nessa densidade indivíduos e no estoque médio de carbono por ha, a estimativa foi de 0,044461 tCO₂.ind⁻¹ ao atingir o clímax ecológico do bioma Cerrado no período de (~30 anos). Assim, o número de árvores a serem plantadas para neutralizar as emissões totais resulta da razão entre o volume de emissões inventariado e a taxa individual de remoção de carbono, garantindo coerência técnica com os fatores de remoção adotados pelo IPCC e com a realidade ecológica do local.

O plantio das 99 mudas de espécies nativas do Cerrado, foi esquematizado sob desenho amostral para remoção de dióxido de carbono, com 11 espécies nativas e 9 indivíduos aleatorizados em 3 blocos e 3 linhas. Portanto, foi implementado no plantio experimental 9 indivíduos de cada espécie, três em cada linha. Foram plantadas mudas com qualidade similar, já que foram produzidas no mesmo local e tinham padrões similares antes do plantio como, altura próximo de 20 cm e vigorosas.

Para o estudo, o número de mudas estimado para neutralizar as emissões do evento foi acrescido em 15% como margem de segurança, com o objetivo de reduzir o risco associado a perdas por mortalidade no estabelecimento inicial, que pode provocar incertezas no estoque futuro de carbono. Essa decisão foi adotada em função das condições ambientais específicas do plantio, especialmente por ter sido realizado no final da estação chuvosa e em área degradada, com alta presença de matocompetição e formigas, o que aumenta a chance de falhas de pegamento.

2.3 Monitoramento do plantio para estoque de carbono

O monitoramento foi realizado com a medição da altura e o diâmetro ao nível do solo (DAS) no campo foi efetuada em julho de 2025, cinco meses após o plantio, que ocorreu em fevereiro de 2025 (Figura 6).



Figura 6. Medições de altura e diâmetro ao nível do solo das mudas ao quinto mês após o plantio.

A taxa de sobrevivência de cada espécie (SV_j) foi calculada com base no número de indivíduos sobreviventes (Nf_j) em relação ao número inicial de indivíduos plantados ($N0_j$), utilizando a seguinte fórmula:

$$SV_j = (Nf_j/N0_j) \times 100 \quad \text{Eq. 10}$$

Para a estimativa de estoque de carbono (C_{ij}) do i -ésimo indivíduo da j -ésima espécie, foi utilizada a equação desenvolvida por (MORAIS JUNIOR et al. 2019):

$$C_{ij} = [0,000353 \times (DAS1,202424) \times (H0,781883)] \quad \text{Eq. 11}$$

Onde: C_{ij} é o estoque de carbono do indivíduo (kg); DAS é o diâmetro ao nível do solo (mm);
H é a altura da planta (cm).

A utilização dessa equação se justifica, pois, as alturas e diâmetros, estão dentro dos limites utilizados para ajuste de equação de estoque de carbono do estudo supracitado. Além disso, as espécies e os métodos de implantação do plantio se assemelham ao que foi utilizado pelos autores supracitados do estudo realizado em plantio de restauração florestal no município de Viçosa, no mesmo estado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Inventário de Emissões

O inventário de emissões do 11º SICAA quantificou 3,89 tCO₂e de emissões totais, além de 0,55 tCO₂e classificadas como emissões biogênicas, utilizando a ferramenta de cálculo do Programa Brasileiro da GHG Protocol ciclo 2024. A maior contribuição relativa concentra-se na mobilidade com os deslocamentos de palestrantes, comissão organizadora e equipe de apoio, por via rodoviária e, quando aplicável, aérea. Em contrapartida, categorias como consumo de energia elétrica, gestão de resíduos sólidos e efluentes representam parcelas complementares, associadas à infraestrutura do campus e à operação cotidiana do evento. (Tabela 3).

Tabela 3. Análise Geral das Emissões do evento.

		Emissões totais (tCO₂e)	Emissões biogênicas (tCO₂e)
Escopo 1	Combustão Estacionária	0,437	-
	Combustão Móvel	1,43	0,213
	Resíduos Sólidos	0,504	0,056
	Adubação do plantio de neutralização	0,0085	-
Total		2,384	0,269
Escopo 2	Aquisição de energia elétrica	0,092	-
	Descarte de efluentes	0,064	-
Total		0,156	-
Escopo 3	Combustão Móvel (FEAGRO)	1,151	0,281
	Resíduos Sólidos (FEAGRO)	0,14	-
Total		1,291	0,281
Total Geral		3,89	0,55

A estimativa de público foi de 782 pessoas, considerando inscritos, palestrantes, comissão organizadora, avaliadores e visitantes da FEAGRO. Com base no total inventariado, a pegada média foi estimada em 4,97 kg CO₂e por pessoa. Esse indicador sintetiza a intensidade de emissões do evento e oferece uma referência para comparações entre edições futuras, desde que sejam mantidos critérios equivalentes de abrangência e de categorias inventariadas.

A distribuição das emissões observada no 11º SICAA também indica a importância de uma lógica de priorização de fontes dominantes ou *hotspots* de emissões. Em geral,

intervenções direcionadas às categorias de maior contribuição tendem a gerar reduções marginais mais expressivas do que ações dispersas em fontes de baixa representatividade.

O predomínio das emissões associadas à mobilidade combustão móvel nos Escopos 1 e 3, que representaram a maior parcela da pegada de carbono do 11º SICAA, corrobora o padrão observado em diversas instituições de ensino superior. Em inventários institucionais, o deslocamento e o transporte frequentemente despontam como os principais gargalos climáticos. (CANO et al. 2022), ao avaliarem os campi urbanos da Universidade Nacional da Colômbia, constataram que o Escopo 3 respondeu por 83,13% das emissões totais, sendo o transporte de veículos o maior contribuinte isolado, representando 49,74% da pegada. De forma semelhante, Milagre et al. (2023) relataram que o deslocamento para o campus do IFES em Nova Venécia representou mais de 93% do total de GEE inventariado.

Nesse contexto, a mobilidade se confirma como eixo central de mitigação, assim como observado em outros estudos envolvendo inventário de GEE em instituições de ensino (MILAGRE et al., 2025). Estratégias como planejamento logístico, eventos híbridos, incentivo ao transporte coletivo e a caronas e, quando compatível com os objetivos técnico-científicos do evento, adoção de formatos híbridos podem reduzir deslocamentos de longa distância. A relevância das emissões de Escopo 3 reforça a necessidade de incorporar elementos de governança e engajamento dos responsáveis pela FEAGRO, com critérios operacionais e orientações de compra/contratação voltados à redução de emissões associadas a materiais, logística e prestação de serviços.

Essa convergência demonstra que, seja na operação anual de um campus ou na realização de um evento técnico-científico concentrado, a dependência de combustíveis fósseis para o transporte exige a adoção de estratégias de descarbonização. Tais evidências justificam fortemente as recomendações apontadas neste estudo, como o planejamento logístico, o incentivo ao transporte coletivo e a caronas e, quando aplicável, a adoção de formatos híbridos para eventos acadêmicos futuros visando a redução de emissões

3.2 Neutralização de Emissões

A neutralização foi dimensionada com base nas emissões totais do evento (3,89 tCO₂e) e no valor de estoque futuro de carbono médio por indivíduo em condição de clímax ecológico, estimado em 0,044461 tCO₂e·indivíduo⁻¹. A razão entre a emissão total e o potencial de estoque de carbono por árvore resultou em necessidade de 87 mudas para neutralização, sendo adotada

margem adicional de 15% para contingenciar perdas por mortalidade, totalizando 99 mudas. Esse procedimento buscou conferir robustez ao planejamento frente às incertezas inerentes ao estabelecimento inicial em campo, especialmente pela janela de implantação ao final da estação chuvosa.

A seleção de espécies descritas na Tabela 4, foi feita com base em inventário florestal realizado no Parque Municipal da Matinha (LOPES et al., 2011) e a disponibilidade de mudas no Viveiro do Instituto Estadual de Florestas (IEF) local, integrando espécies dos grupos funcionais de recobrimento e diversidade, o que é pertinente para conciliar estabelecimento inicial e trajetória sucessional, além de ampliar benefícios ecossistêmicos associados à restauração.

Tabela 4. Lista de espécies nativas selecionadas para o plantio de neutralização de emissões de GEE realizado em área de borda no Parque Municipal da Matinha em Monte Carmelo – MG, informações coletadas no (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2026).

Nome popular	Nome científico	Grupo funcional	Status de ameaça	Bioma de ocorrência
jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Diversidade	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Mata Atlântica, Amazônia
ipê-roxo	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Recobrimento	Quase ameaçada (NT)	Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica
pau-ferro	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Diversidade	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga
paineira	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Mata Atlântica
angico-vermelho	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	Diversidade	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga

Nome popular	Nome científico	Grupo funcional	Status de ameaça	Bioma de ocorrência
ingá-de-metro	<i>Inga edulis</i> Mart.	Recobrimento	Não avaliada (NE)	Amazônia, Cerrado
Baru	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Diversidade	Quase ameaçada (NT)	Cerrado
pau-de-bálsamo	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	Diversidade	Vulnerável (VU - ICMBio)	Cerrado, Mata Atlântica
ipê-branco	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Pantanal
ipê-amarelo	<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga
ipê-verde	<i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga

O espaçamento de plantio adotado foi de 3 m × 2 m, o que resultou em uma área total de 594 m². A manutenção da matocompetição foi realizada na semana anterior ao plantio de forma mecanizada, com o auxílio de trator, incluindo a remoção da camada superficial do solo para o controle de plantas invasoras, limpeza do terreno e abertura de covas com 30 cm de profundidade (Figura 7). Também foram aplicadas iscas formicidas visando ao manejo de formigas cortadeiras, além da utilização de garrafas pets como barreira física contra as formigas. A adubação ocorreu no momento do plantio, e garrafas PET foram adaptadas como barreiras físicas para proteção das mudas. As irrigações seguiram frequência periódica, com a aplicação de 2 litros de água por unidade.



Figura 7. Plantio das 99 mudas de espécies nativas para estoque de carbono realizado em 22 de fevereiro de 2025 no Parque Municipal da Matinha em Monte Carmelo, Minas Gerais.

O dimensionamento adotado explicita uma premissa central: a neutralização por plantio depende do horizonte temporal e da permanência do carbono estocado. Assim, a efetividade climática não se resume ao ato de plantar, mas à manutenção, à sobrevivência e ao crescimento das mudas, que determinam o estoque de carbono ao longo do tempo. Assim, o plantio constitui simultaneamente uma ação de compensação e um ativo experimental, cuja performance deve

ser acompanhada por monitoramento para reduzir incertezas e aprimorar parâmetros de projetos futuros.

3.3 Monitoramento do plantio para estoque de carbono

A análise dos dados coletados aos 5 meses de idade do plantio demonstra informações fundamentais sobre a performance das espécies. Essas informações podem ser utilizadas para subsidiar programas de estoque de carbono com foco na restauração por meio do plantio de espécies nativas do bioma Cerrado. As espécies com taxas de sobrevivências baixas, não é recomendado para projetos de carbono, pois podem comprometer o sucesso do estoque futuro planejado no horizonte temporal de remoção do plantio.

Observa-se que a sobrevivência geral das espécies após 5 meses foi elevada para algumas espécies, com taxas variando entre 60% a 100%. Espécies como *L. ferrea* (77%); *C. speciosa* (100%); *H. impetiginosus* (77%); *H. courbaril* (67%); *L. incuriale* (77%); *M. frondosus* (67%); *T. roseo-alba* (77%). Portanto, essas espécies devem ser utilizadas em futuros replantios na área e podem ser utilizadas em outros projetos de estoque de carbono e restauração florestal na região (Figura 8). Com o intuito de suprir essas perdas de forma mais eficiente, recomenda-se que essa reposição priorize as espécies que demonstraram as melhores performances de adaptação e crescimento inicial, a exemplo da *L. ferrea*.

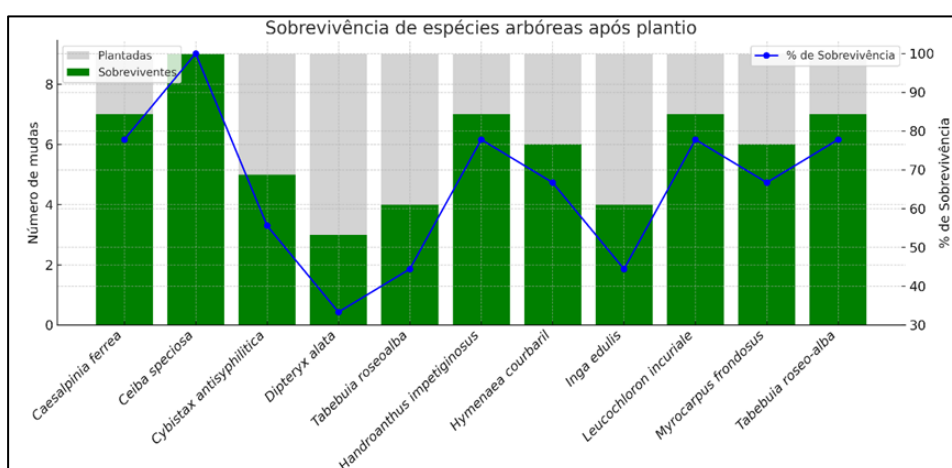


Figura 8. Sobrevivência aos 5 meses de idade de espécies plantadas em plantio de estoque de carbono em Monte Carmelo-MG.

As espécies *C. antisiphilitica* (56%); *D. alata* (33%); *H. albus* (44%); e *I. edulis* (44%) tiveram as menores performances relacionadas a Sv do plantio. Essas espécies não são

recomendadas inicialmente para projetos de neutralização pela baixa sobrevivência verificada em campo, podendo ser utilizadas para enriquecimento após o crescimento da copa das outras plantas. Portanto, embora *D. alata* possui relevância estratégica para a conservação da biodiversidade, porém sua adaptação ficou comprometida na análise da performance de sobrevivência aos 5 meses. A causa dessa mortalidade mais acentuada para essas espécies estão relacionadas as altas temperaturas verificadas na área e o déficit hídrico observado.

A taxa de sobrevivência do plantio de neutralização avaliado neste estudo aproxima-se dos valores relatados em plantios similares por (MORAIS JUNIOR et al. 2020). No entanto, o replantio é fundamental para potencializar o estoque de carbono a longo prazo. A consideração do status de ameaça das espécies na seleção para projetos de carbono agrega valor conservacionista à iniciativa, contribuindo tanto para a sensibilização quanto para a proteção efetiva da flora brasileira. Nesse sentido, destaca-se que *D. alata* e *M. frondosus*, utilizadas no plantio, figuram em categorias de ameaça que reforçam a relevância de sua inclusão em ações de restauração e compensação florestal.

Com relação as variáveis de crescimento avaliadas, observa-se que o plantio teve um DAS médio de 9,3 mm.indivíduo⁻¹ enquanto a H média foi de 49 cm.indivíduo⁻¹ (Tabela 5). Entre as espécies com maior destaque em crescimento em altura e DAS, sobressaem-se *C. speciosa* e *M. frondosus*, com valores superiores à média do plantio. Espécies de crescimento mais rápido são estratégicas para o estoque de carbono, pois removem CO₂ da atmosfera mais rapidamente e superam com maior facilidade a matocompetição o principal limitador da restauração florestal, resultando em menores custos de manutenção (Croce et al., 2022).

Tabela 5. Diâmetro a Altura do Solo (DAS) médio em mm. indivíduo⁻¹ e Altura (H) média em cm. indivíduo⁻¹

Espécie	DAS médio (mm)	H média (cm)
<i>Ceiba speciosa</i>	21,7	63,2
<i>Myrocarpus frondosus</i>	9,9	63,2
<i>Lidibia férrea</i>	9,2	55,6
<i>Hymenaea courbaril</i>	9,1	59
<i>Inga edulis</i>	7,7	54,5
<i>Handroanthus albus</i>	7,1	34,5
<i>Leucochloron incuriale</i>	6,7	45,4
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	6,4	54
<i>Dipteryx alata</i>	6	30,3
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	5,4	30,6

Espécie	DAS médio (mm)	H média (cm)
<i>Cydistax antisiphilitica</i>	4,3	27,4
Total Geral	9,3	49

O conhecimento da estratégia de crescimento das espécies é passo primordial para planejamento de plantios de neutralização de emissões e restauração. Esses indicadores devem ser acompanhados ao longo da trajetória da restauração para delimitar as curvas da remoção de carbono em nível de espécies, permitindo refinar os indicadores de mitigação climática (MORAIS JUNIOR et al., 2020).

Nesse sentido, os resultados obtidos nesse estudo sobre a estocagem de carbono em nível de espécie torna-se um indicador chave para demonstrar o potencial de remoção de dióxido de carbono pelas plantas em seus primeiros meses após a implantação. Cada espécie possui um ritmo de remoção de dióxido de carbono da atmosfera, que está relacionada ao ritmo de crescimento de cada espécie, como descrito por (SHIMAMOTO et al., 2014). As estratégias ecológicas de remoção de carbono estão relacionadas ao estágio sucessional das espécies, aquelas espécies dos estágios iniciais da sucessão ecológica possui uma remoção de carbono mais acelerada no início em contrapartida entram em senescência mais cedo em florestas.

Espécies de estágios sucessionais mais tardios estocam carbono de forma mais lenta, porém permanecem por mais tempo na floresta, acumulando maiores estoques a longo prazo (POOTER et al., 2008). Isso reforça a importância de combinar espécies de diferentes grupos funcionais nos plantios de neutralização. Estudos como este são primordiais para identificar as espécies mais adequadas para cada condição. A implantação em duas etapas pode ser uma alternativa viável ecológica e economicamente, uma vez que espécies mais sensíveis à matocompetição e à exposição solar intensa podem não se adaptar às condições predominantes no Brasil, como observado para *D. alata*, *H. albus* e *I. edulis*, que apresentaram menor taxa de sobrevivência.

As espécies de maiores estocagem de carbono foram: *C. speciosa*, *M. frondosus*, *L. ferrea* (Figura 9). Essas espécies também possuíram sobrevivência elevada (>67%), indicando que essas são as espécies que possuíram as melhores performances de sobrevivência e estocagem de carbono até os cinco meses do plantio, sendo, portanto, interessantes para serem utilizadas em outros plantios de neutralização.

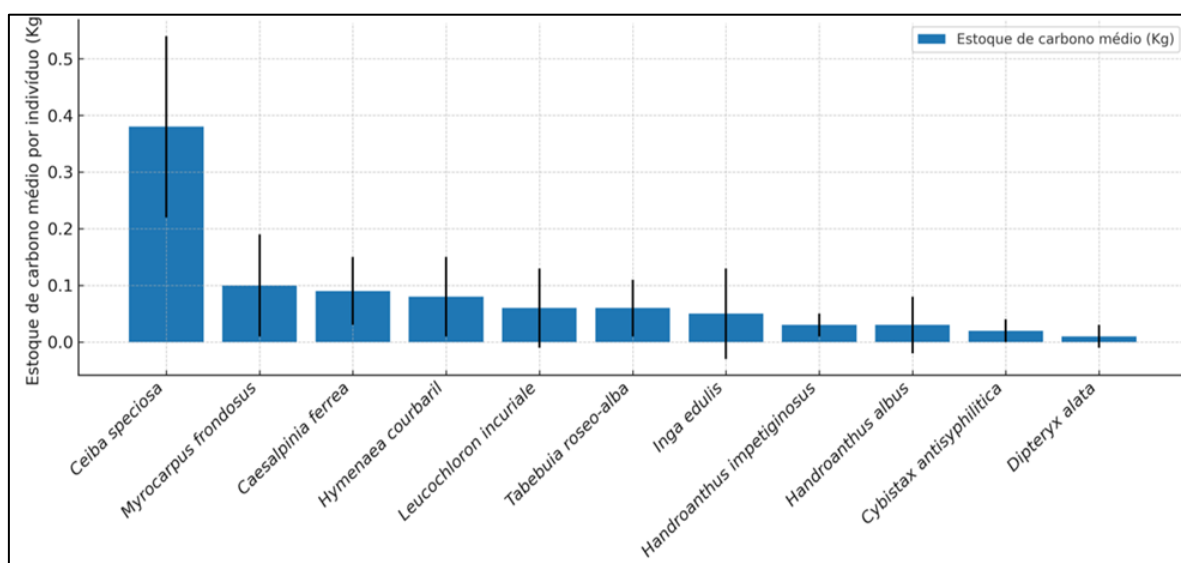


Figura 9. Estoque de carbono (C) aos 5 meses de idade de espécies plantadas em plantio de mudas nativas do Cerrado em Monte Carmelo-MG.

É importante destacar que a performance de estocagem de carbono, pode ser avaliada e testada em nível de espécies utilizando outras técnicas de restauração florestal (nucleação e condução da regeneração natural), dados dessas performances são incipientes (SHIMAMOTO et al., 2018; BECHARA et al., 2021; LIU et al., 2023). Além disso, recomenda-se também avaliações e investigações de plantios com mudas de maior porte.

Ao avaliar a sobrevivência geral do plantio, que atingiu 65%, nota-se que a margem de segurança de 15% estabelecida no planejamento inicial não foi suficiente para compensar a mortalidade das mudas em campo. Diante desse resultado, sugere-se que, em plantios onde o objetivo é o estoque de carbono, com condições ambientais e de implantação semelhantes, a margem de segurança seja ampliada para valores próximos à taxa de falhas observada de 35%, a fim de garantir o volume de remoção projetado no longo prazo. Além disso, para assegurar a efetiva compensação climática do evento estudado, faz-se necessária a realização de um replantio na próxima época chuvosa.

Os resultados obtidos estão em consonância com estudos que enfatizam a importância de se conhecer a performance de espécies em plantios jovens. A experimentação e avaliação das performances é primordial para validação de testes pilotos e subsídios para implantação de plantios de neutralização sob áreas degradadas em larga escala (CROCE et al., 2022). A medição de indicadores como altura, diâmetro e estoque de carbono é importante para a tomada de decisões em projetos de restauração, conforme apontado por Moraes Junior et al. (2022) e (MORAIS JUNIOR et al. 2020). Tais informações são necessárias para o planejamento de

plantios de neutralização de carbono e pode ser uma base importante para a elaboração de projetos no âmbito do mercado regulado de carbono no Brasil, fornecendo dados consistentes para a valoração dos créditos de carbono.

4 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O estudo foi o primeiro na Universidade Federal de Uberlândia a integrar as três etapas da gestão climática aplicada a um evento acadêmico: a quantificação das emissões de gases de efeito estufa associadas ao 11º SICAA, a neutralização dessas emissões por meio do estoque futuro de carbono do plantio de mudas nativas do Cerrado e o monitoramento inicial do estabelecimento e do estoque de carbono do plantio aos cinco meses. A abordagem adotada está alinhada aos sistemas de MRV, conectando diagnóstico (inventário), mitigação (neutralização) e avaliação (monitoramento) no contexto da restauração e gestão climática no bioma Cerrado.

No componente de inventário, observou-se predominância de emissões nos Escopos 1 e 3, influenciada principalmente pela combustão móvel, com contribuições relevantes de resíduos e combustão estacionária. A redução dessas emissões poderia ser alcançada por meio do incentivo a modelos híbridos de palestras, a adoção de energia renovável e da gestão adequada de resíduos. Esses resultados sustentaram a caracterização do inventário como um procedimento replicável para a gestão de emissões em eventos, com implicações formativas ao sistematizar fontes emissoras e orientar prioridades de mitigação, além de fortalecer a sensibilização e o reporte climático no âmbito universitário.

Com a compensação, observou-se aos cinco meses de idade, a sobrevivência geral foi de 65%, valor inferior à margem de segurança adotada no dimensionamento afetando no estoque futuro de carbono planejado. Em termos de desempenho relativo, *Ceiba speciosa*, *Myrocarpus frondosus* e *Libidibia ferrea* se destacaram por maiores incrementos de diâmetro, altura e maior estoque de carbono estimado, com ênfase para o crescimento inicial superior observado no plantio. Enquanto *Dipteryx alata* e *Inga edulis* apresentaram baixa adaptabilidade inicial, atribuída no estudo a condições ambientais desfavoráveis no período de estabelecimento.

Para o sucesso da neutralização das emissões do evento e outras iniciativas futuras, recomenda-se o fortalecimento de um plano operacional, com margens de segurança superiores às inicialmente adotadas, coerentes a mortalidade observada, estratégias de replantio, maior intensidade de manutenção das mudas para reduzir perdas no estabelecimento e seleção de espécies priorizando o maior desempenho inicial de estoque de carbono no bioma Cerrado.

REFERÊNCIAS

ABDALA, G. C. et al. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, n. 1, p. 11–23, 1998.

ARTAXO, P. Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil: a construção de uma sociedade minimamente sustentável requer esforços da sociedade com colaboração entre a ciência e os formuladores de políticas públicas. **Ciência e Cultura**, v. 74, n. 4, p. 1-14, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14064: guia de implementação: gestão de emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE). Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BRANCALION, P. H. S. et al. Finding the money for tropical forest restoration. **Unasylva**, v. 63, n. 239, p. 41–50, 2012. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i2890e/i2890e07.pdf>. Acesso em: 3 dez 2025.

BRASIL. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 11 dez. 2024. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L15042.htm. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Secretaria Nacional de Biodiversidade, Florestas e Direitos Animais. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) 2025–2028: rota estratégica para recuperação de 12 milhões de hectares**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbio/dflo/plano-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa-planaveg>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRIANEZI, D. et al. Balanço de emissões e remoções de gases de efeito estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 182–191, 2014.

CANO, N. et al. Assessing the carbon footprint of a Colombian University Campus using the UNE-ISO 14064-1 and WRI/WBCSD GHG Protocol Corporate Standard. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], 2022.

CARTOLANO, R. T. et al. Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica: análise de decisão multicritério como instrumento para o planejamento ambiental. Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2023.

CROCE, J. et al. Experimental approaches to select tree species for forest restoration: effects of light, water availability and interspecific competition in degraded areas. **Journal of Forestry Research**, v. 33, p. 1197–1207, 2022.

DE ALMEIDA, D. R. et al. A new era in forest restoration monitoring. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 1, p. 8–11, 2020.

FILONCHYK, M. et al. Greenhouse gases emissions and global climate change: examining the influence of CO₂, CH₄ and N₂O. **Science of the Total Environment**, v. 935, art. 17335, 2024.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Flora e Funga do Brasil**. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Continuamente atualizado. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 23 mar. 2026.

FRANÇA, L. C. J. et al. Nota técnica: registro de ocorrência de *Langsdorffia hypogaea* (Balanophoraceae) no município de Monte Carmelo, Minas Gerais. **Regnella Scientia**, v. 10, n. 3, p. 74–86, 2024.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Programa Brasileiro GHG Protocol**. São Paulo: FGV EAESP, 2008. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 27 mar. 2025.

GODOY, Sara Gurfinkel Marques de; SAES, Maria Sylvia Macchione. Cap-and-trade and project-based framework: how do carbon markets work for greenhouse emissions reduction?. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 1, p. 135-154, 2015.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. **About us**. 2024. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/about-us>. Acesso em: 4 out. 2024.

GRACE, J.; SAN JOSÉ, J.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 387–400, 2006.

GRANDINI, G. A. C.; DOS SANTOS, J. A.; MARJOTTA-MAISTRO, M. C. Desafios e estratégias para o reflorestamento no Brasil: capacidade produtiva e mercado de créditos de carbono pós-Acordo de Paris. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 5, p. e4906, 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023: Synthesis Report: Summary for Policymakers**. Geneva: IPCC, 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 4 fev. 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)**. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 4 fev. 2026.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, n.03, p. 519–531, 1994.

LIU, J. et al. A bibliometric analysis of the impact of ecological restoration on carbon sequestration in ecosystems. **Forests**, v. 14, art. 1442, 2023.

LOPES, S. F. et al. Diagnóstico ambiental para implementação do Parque Municipal da Matinha (Monte Carmelo, MG): implicações à conservação da biodiversidade. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, p. 58–80, 2011.

LUO, X.; YAN, R.; WANG, S. After five years' application of the European Union monitoring, reporting, and verification (MRV) mechanism: Review and perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, p. 140006, 2024.

MELO, V. S.; SINFRÔNIO, F. S. M. A importância dos inventários do programa GHG Protocol para a gestão das emissões ambientais: estudo de caso do Maranhão. **Natural Resources**, v. 8, n. 2, p. 38–51, 2018.

MILAGRE, Jocimar Caiafa et al. A review of greenhouse gas emissions and their removal by green areas in Brazilian higher education institutions. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 30, p. e20240105, 2025.

MINAS GERAIS. **Plano Estadual de Ação Climática: versão final: diretrizes e ações estratégicas**. [Belo Horizonte]: Governo do Estado de Minas Gerais, 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). **IDESISEMA**. 2025. Disponível em: <https://geoportal.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 4 fev. 2026.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. et al. Monitoring of areas in conflict with the Legislation for the Protection of Native Vegetation in Brazil: opportunity for large-scale forest restoration and for the Brazilian global agenda. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 11, p. 1113, 2024.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. de; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E. **Programa carbono zero (UFV): um legado de 10 anos**. Guarujá, SP: Científica Digital, 2022.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. et al. Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. **Ecological Indicators**, v. 117, art. 106514, 2020.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. de et al. Performance of Five Native Atlantic Forest Species Planted in Containers of Different Size for Restoring Degraded Areas in Minas Gerais. **Forests**, v. 11, n. 9, p. 937, 2020.

MORAIS JUNIOR, V. T. M. de et al. Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 854–860, 2019.

NASA. **Extreme Makeover: Human activities are making some extreme events more frequent or intense**. 2023. Disponível em: <https://science.nasa.gov/earth/climate-change/extreme-makeover-human-activities-are-making-some-extreme-events-more-frequent-or-intense/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

POORTER, L. et al. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five Neotropical forests. **Ecology**, v. 89, n. 7, p. 1908–1920, 2008.

PRADO JÚNIOR, J. A. do et al. Fitossociologia, caracterização sucessiona e síndromes de dispersão da comunidade arbórea de remanescente urbano de Floresta Estacional Semidecidual em Monte Carmelo, Minas Gerais. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 489–499, 2012.

SATO, A. A. de S. A. Modelagem de cenários futuros de estoque e sequestro de carbono gerados por serviços ecossistêmicos nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal de Mato Grosso do Sul. 2025. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2025.

SANTOS, J. R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor “Thematic Mapper” do satélite Landsat. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

SHIMAMOTO, C. Y.; BOTOSSO, P. C.; MARQUES, M. C. M. How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v. 329, p. 1–9, 2014.

SILVA, L. A. da et al. Trends in research: carbon footprint reduction in universities as a way to achieve a green campus. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 24, n. 3, p. 584-601, 2023.

HICKMANN, T. Voluntary global business initiatives and the international climate negotiations: a case study of the Greenhouse Gas Protocol. **Journal of Cleaner Production**, v. 169, p. 94–104, 2017.

TERRA, M. C. N. et al. Brazilian savannas capture five times more carbon belowground than aboveground. **Science of the Total Environment**, v. 838, art. 161320, 2022.

VIEIRA, A. C. P. et al. O mercado regulado de carbono no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 39, n. 114, p. e39114141, 2025.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI); WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **The greenhouse gas protocol: a corporate accounting and reporting standard**. Revised edition. Washington, DC; Conches-Geneva: World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development, 2004.