

EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E REMOÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM IMÓVEIS RURAIS COM PRODUÇÃO DE TABACO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND CARBON DIOXIDE REMOVAL IN RURAL PROPERTIES WITH TOBACCO PRODUCTION IN THE STATE OF PARANÁ, BRAZIL

LETICIA CHIAPETTI VENDRAME

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, Erechim, RS, Brasil
Graduada em Ciências Biológicas. E-mail: leticiachiapetti006@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-9661-3911>

JEAN CARLOS BUDKE

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, Erechim, RS, Brasil
Doutor em Botânica. E-mail: jean@uricer.edu.br
<https://orcid.org/0000-0003-2035-962X>

Submissão: 11-09-2024 - Aceite: 09-06-2025

RESUMO: A produção de culturas agrícolas demanda práticas que podem gerar emissões de gases de efeito estufa. De acordo com sua origem, as emissões geradas em propriedades rurais podem ser classificadas como emissões de escopo 1, 2, 3 ou como biogênicas. Por outro lado, as áreas de vegetação nativa presentes nessas propriedades contribuem para a remoção de dióxido de carbono da atmosfera, reduzindo temporariamente sua concentração. O objetivo deste estudo foi quantificar as emissões de gases de efeito estufa dos escopos 1 e 2, bem como as emissões biogênicas provenientes da produção de tabaco, e mensurar a remoção de dióxido de carbono promovida por áreas de vegetação nativa. A análise foi realizada em seis propriedades rurais localizadas no Paraná, tendo o ano de 2021 como referência. Para quantificar as emissões, foi utilizada a “Metodologia do GHG Protocol da Agricultura”, enquanto, para calcular as remoções, utilizaram-se os procedimentos descritos na SCM0003 “Methodology for Carbon Removal in Private Conservation Areas”, versão 1.0. Os resultados foram submetidos à análise de média e desvio padrão com o uso do software PAST 4.03. As emissões totais foram de 530,29 tCO₂eq, sendo 95,02% provenientes de emissões biogênicas, 3,90% do escopo 1 e 1,07% do escopo 2. A remoção total pela vegetação elegível nas propriedades foi de 101,03 tCO₂. Os resultados evidenciam a importância da preservação da vegetação nativa em propriedades rurais para a redução de gases de efeito estufa na atmosfera e demonstram a viabilidade de alinhar produtividade e sustentabilidade na produção de tabaco.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças Climáticas. Aquecimento Global. Balanço de Carbono. Floresta Ombrófila Mista.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

ABSTRACT: The production of agricultural crops requires practices that can generate greenhouse gas (GHG) emissions. According to their origin, emissions generated on rural properties can be classified as Scope 1, 2, or 3 emissions, or as biogenic emissions. On the other hand, native vegetation areas present on these properties contribute to the removal of carbon dioxide from the atmosphere, temporarily reducing its concentration. The objective of this study was to quantify greenhouse gas emissions from Scopes 1 and 2, as well as biogenic emissions from tobacco production, and to measure the carbon dioxide removal promoted by native vegetation areas. The analysis was conducted on six rural properties located in Paraná, using the year 2021 as the reference period. To quantify emissions, the “GHG Protocol Agricultural Guidance” methodology was applied, while carbon removals were calculated using the procedures described in SCM0003 – “Methodology for Carbon Removal in Private Conservation Areas,” version 1.0. The results were analyzed using mean and standard deviation with the aid of PAST software version 4.03. Total emissions amounted to 530.29 tCO₂eq, with 95.02% attributed to biogenic emissions, 3.90% to Scope 1, and 1.07% to Scope 2. The total removal by eligible vegetation on the properties was 101.03 tCO₂. The findings highlight the importance of preserving native vegetation on rural properties to reduce atmospheric greenhouse gas concentrations and demonstrate the feasibility of aligning productivity with sustainability in tobacco farming.

KEYWORDS: Climate Change. Global Warming. Carbon Balance. Mixed Ombrophilus Forest.

Introdução

O efeito estufa é um fenômeno natural que consiste na retenção de parte do calor irradiado pela superfície terrestre, mantendo o planeta aquecido e permitindo a ocorrência da vida. Este fenômeno só é possível devido aos gases de efeito estufa (GEE) presentes na atmosfera, dentre os quais destacam-se o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (Kruger, 2022). No entanto, a emissão demasiada desses gases acarreta nas mudanças climáticas globais, caracterizadas como transformações a longo prazo nos padrões de clima e temperatura (Nações Unidas Brasil, 2022).

Dentre os GEE, o CO₂ possui o maior impacto nas mudanças climáticas por ser encontrado em altas quantidades no ambiente e permanecer por pelo menos 100 anos na atmosfera. É utilizado como base para calcular o Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential - GWP) dos demais GEE, medida relacionada à capacidade de absorver calor na atmosfera em um determinado tempo. Dessa forma, as emissões de GEE são padronizadas em uma unidade específica denominada dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) (Albuquerque, 2012; IPCC, 2006).

De acordo com as diretrizes do Programa Brasileiro GHG Protocol (Monzoni *et al.*, 2008), as emissões de GEE são categorizadas em escopo 1, escopo 2, escopo 3, e emissões biogênicas. O escopo 1 abrange as emissões diretas, provenientes de fontes pertencentes ou sob controle direto. O escopo 2 compreende as emissões resultantes do consumo de energia térmica e elétrica. O escopo 3 abrange as emissões indiretas, decorrentes de atividades relacionadas, mas que ocorrem em fontes que não estão sob posse ou controle direto (Monzoni *et al.*, 2008). As emissões biogênicas são oriundas da queima de material biológico e consideradas neutras em

termos de impacto climático, visto que o CO₂ liberado neste processo não é gerado por um ciclo geológico, mas por um ciclo biológico curto (WRI Brasil, 2020). Por outro lado, a remoção biogênica é a fixação biológica do carbono por meio da fotossíntese, reduzindo temporariamente a concentração de CO₂ da atmosfera (WRI Brasil, 2020). Nesse contexto, as florestas podem capturar e manter o carbono fixado por décadas, diferente de outros vegetais com ciclos de vida mais curtos (Brasil, 2006).

Em 2023, pelo quarto ano consecutivo, as emissões agropecuárias brasileiras foram as mais altas já registradas para o setor. Desde 1970, a agropecuária nacional praticamente triplicou suas emissões de GEE, passando de 211,4 milhões de toneladas para 631,2 milhões de toneladas de CO₂eq em 2023 (GWP AR5). Apesar da maior parte dessas emissões ser proveniente da pecuária, a agricultura também apresenta um aumento em suas emissões, atribuído especialmente ao crescimento na aplicação de insumos nitrogenados e na calagem do solo (SEEG, 2024). Segundo Telles *et al.* (2021), as fontes de emissão da agricultura também incluem a modificação nos estoques de carbono no solo, os resíduos, a queima da palhada e o uso de combustíveis fósseis no maquinário agrícola.

Nos últimos 50 anos, a cultura da soja apresentou o maior crescimento dentre a produção agrícola brasileira, com um aumento de mais de 1000% na produção, enquanto a área cultivada expandiu aproximadamente 400% no mesmo período, refletindo um expressivo ganho de produtividade (Embrapa, 2023). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2025), na safra 2024/25 o Brasil produziu mais de 168 milhões de toneladas de soja, mantendo o país na posição de maior produtor e exportador mundial da oleaginosa (Maisagro, 2025). No entanto, estima-se que, para cada quilograma de soja colhida, sejam emitidos aproximadamente 0,56 quilogramas de CO₂e, evidenciando o impacto climático associado ao processo produtivo (Kemerich; Dotto; Silva, 2018).

Na produção de tabaco, o Brasil lidera há mais de 30 anos a exportação mundial e representa o segundo maior produtor global da cultura, atrás apenas da China. A atividade concentra-se principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, e contribui para a geração de emprego, renda e arrecadação fiscal (Sinditabaco, 2025). O tabaco apresenta grande importância para pequenos produtores rurais por oferecer grande rentabilidade em áreas reduzidas, sendo cultivado em 284 mil hectares(ha) distribuídos por 133.265 propriedades rurais, o que representa uma média inferior a 3 ha por família (Afubra, 2025). Além disso, a cultura também é importante para minimizar o índice de abandono do campo, mantendo os jovens na sucessão familiar (Maliszewski, 2019).

Entretanto, durante o processo da produção de tabaco ocorre a emissão de diferentes GEE, principalmente na etapa de cura das folhas, onde faz-se necessário a queima de um alto volume de lenha (Welter *et al.*, 2017). Estima-se que para secar 1 tonelada de tabaco é preciso cerca de 2,7 toneladas de biomassa florestal, emitindo na atmosfera GEE de categoria biogênica. Além disso, na etapa de lavoura e plantio, normalmente são utilizados fertilizantes fosfatados e nitrogenados, capazes de liberar N₂O, CO₂ e CH₄. Por fim, o transporte de tabaco seco, por meio de máquinas agrícolas e caminhões, também emitem diferentes GEE para a atmosfera terrestre (Oliveira, 2020).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar as emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) oriundas da atividade produtiva de tabaco e as remoções de dióxido

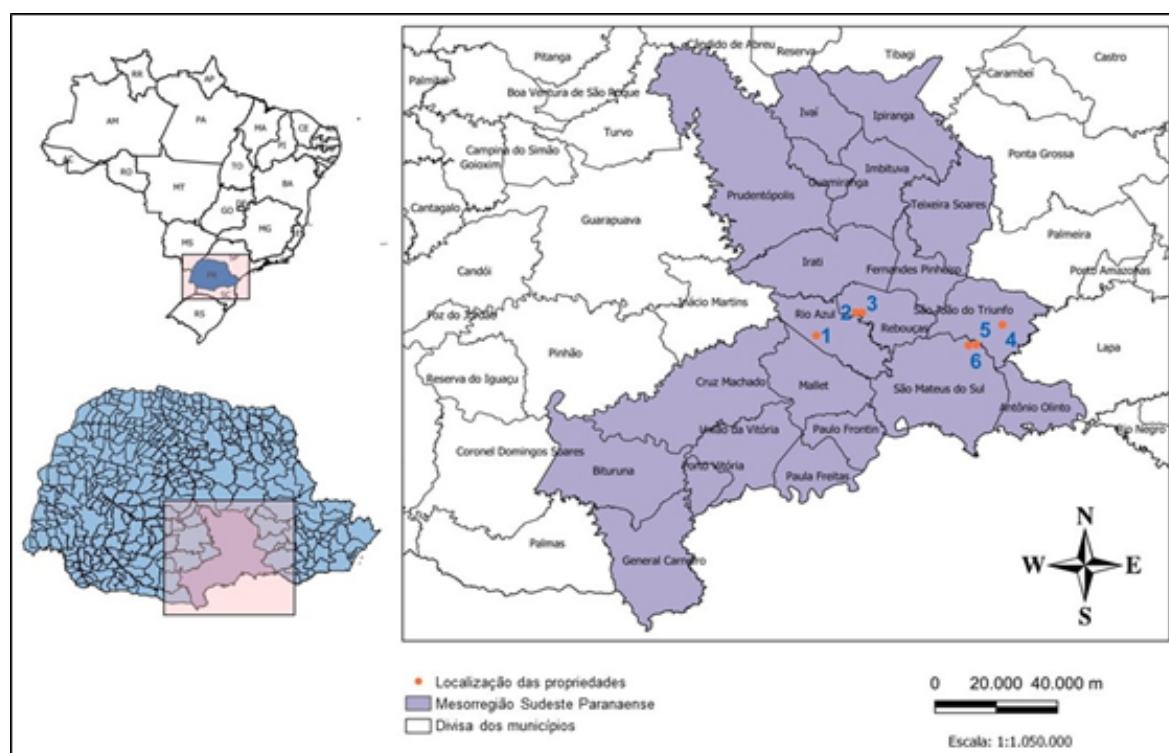
de carbono (CO₂) pelas áreas de vegetação nativa elegíveis, no âmbito de seis propriedades rurais do Estado do Paraná, usando o ano de 2021 como referência. Assim, foi testada a hipótese de que o total de CO₂ removido da atmosfera pela vegetação nativa elegível em cada propriedade será maior do que o total de emissões de CO₂eq geradas pela produção da cultura, considerando os escopos 1 e 2.

Metodologia

Área de estudo

O estudo foi realizado em seis propriedades rurais localizadas na mesorregião Sudeste Paranaense, pertencentes às microrregiões de Irati e São Mateus do Sul (IBGE, 2021a). As seis propriedades estão distribuídas pelos municípios de Rebouças, Rio Azul, São João do Triunfo e São Mateus do Sul, no estado do Paraná (Figura 1).

Figura 1: Localização das propriedades rurais nos municípios pertencentes à mesorregião Sudeste Paranaense, no sul do Brasil.



Fonte: IBGE (2021b), adaptado pela autora.

O clima da mesorregião é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfb), com geadas severas frequentes e verões frescos, sem estações secas. A temperatura média anual é de 16°C, apresentando nos meses mais quentes uma temperatura média inferior a 22°C e nos meses mais frios, inferior a 18°C. A mesorregião não apresenta deficiência hídrica, com acúmulo de precipitação anual entre 1.600 e 1.900 mm e umidade relativa do ar de 85% (IPARDES, 2004).

A cobertura florestal original pertence ao bioma Mata Atlântica e corresponde às tipologias florestais de Floresta Ombrófila Mista (90,20%), Campos Naturais (7,70%) e Floresta Estacional Semidecidual (2,10%) (IPARDES, 2006). A região está localizada em sua maior parte no Segundo Planalto Paranaense, exibindo uma paisagem com relevo de baixa declividade, variando de suave a ondulado. Na mesorregião Sudeste Paranaense destacam-se quatro tipos de solos: latossolos, nitossolos, cambissolos e argissolos (Wolff, 2014). Devido à suscetibilidade erosiva, 46% do total da região apresenta solos com potencial para degradação, localizados basicamente em relevos acidentados (IPARDES, 2006).

Os dados referentes à emissão de GEE e remoção de CO₂ foram coletados a partir de visitas às propriedades rurais durante o mês de outubro de 2022, período em que os produtores já dispunham de todas as informações necessárias relativas ao ano anterior. Foram obtidos os limites geográficos das áreas de cultivo de tabaco e de vegetação nativa, por meio de croquis feitos em imagens de satélite com o suporte dos produtores e da documentação da propriedade, utilizando o software Google Earth Pro (Tabela 1). Posteriormente, realizou-se um aerolevante dentro dos limites das propriedades com drone DJI Phantom 4, a fim de obter imagens de suas situações atuais.

Tabela 1: Localização municipal das propriedades rurais, com área de cultivo de tabaco (ha), vegetação nativa (ha) e vegetação nativa elegível (ha).

Propriedade	Município	Área de cultivo (ha)	Vegetação nativa (ha)	Vegetação nativa elegível (ha)
RA	Rio Azul	12,97	12,37	10,00
RE-01	Rebouças	7,75	14,89	13,36
RE-02	Rebouças	2,47	3,10	2,31
SJT	São João do Triunfo	2,73	10,14	9,19
SMT-01	São Mateus do Sul	4,90	9,30	7,44
SMT-02	São Mateus do Sul	3,21	14,06	12,91

Emissões

Para a quantificação das emissões de CO₂eq na atividade de produção de tabaco, foi aplicada a metodologia do *GHG Protocol* – ‘Metodologia do GHG Protocol da agricultura’ (WRI Brasil; Unicamp, 2015). As emissões fósseis foram classificadas nos escopos 1 e 2, além de serem consideradas as emissões biogênicas:

- Escopo 1: inclui todas as emissões diretas de GEE, provenientes de fontes que pertencem à organização ou que são controladas por ela (WRI Brasil; Unicamp, 2015).

- Escopo 2: inclui as emissões indiretas provenientes da aquisição de energia térmica e elétrica consumida pela empresa. Refere-se às emissões de GEE relativas à geração de energia elétrica comprada pela organização (WRI Brasil; Unicamp, 2015);

- Emissões biogênicas: são as emissões de CO₂ provenientes da queima de material biológico composto por hidrogênio, carbono e oxigênio, ou seja, provenientes da queima de lenha (WRI Brasil; Unicamp, 2015).

Todas as fontes de emissão da produção de tabaco foram identificadas e estavam vinculadas especialmente a: adubação nitrogenada sintética; aplicação de fertilizante nitrogenado sintético; consumo de energia elétrica; operações mecanizadas e queima de biomassa vegetal. Com o auxílio do produtor, foram levantados os insumos com potencial de emissão utilizados na cultura de tabaco em 2021, bem como seus respectivos consumos, incluindo a quantidade total de diesel, energia elétrica e lenha empregada em cada propriedade. Os valores obtidos estão detalhados na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidades dos insumos utilizados na produção de tabaco nas propriedades rurais em 2021, com suas respectivas unidades de medida e classificados em escopo 1 (E1), escopo 2 (E2) e emissões biogênicas (Bi).

			Propriedade						
	Insumo	Teor de N (%)	Unidade de medida	RA	RE-01	RE-02	SJT	SMT-01	SMT-02
E1	Adubo	10	kg/ha	166,00	187,00	1.174,00	366,00	429,00	576,00
	Fertilizante Hidrossolúvel	18	kg/ha	0,00	0,77	45,34	0,00	1,63	2,49
	Salitre do Chile	15	kg/ha	42,41	58,06	222,67	36,63	102,04	155,76
	Salitre Nacional	15	kg/ha	42,41	58,06	222,67	36,63	102,04	155,76
E2	Diesel (B-10)	–	L	800,00	800,00	250,00	500,00	800,00	1.000,00
	Energia elétrica	–	MWh	5,40	4,31	9,54	4,56	12,61	8,56
Bi	Lenha	–	t	64,90	32,45	44,25	41,30	47,20	47,20

Para padronização, os consumos de energia elétrica e lenha foram convertidos para CO₂eq por meio da Ferramenta GHG Protocol, versão 1.2 (GHG Protocol, 2020), enquanto os consumos dos insumos com potencial de emissão foram convertidos em CO₂eq com o auxílio da Ferramenta de Cálculo Brasil – Agricultura, versão 3.10 (WRI Brasil, 2020), com base teórica na equação 1.

$$ECO_2eq = Ef_f \cdot GEE \cdot PAGGEE \quad (1)$$

Onde:

ECO₂eq - emissões do gás de efeito estufa expressa em CO₂eq (kg);

Ef_f GEE - emissões de gás de efeito estufa para a fonte f;

PAGGEE - potencial de aquecimento global para o tipo de GEE.

Os resultados das emissões de escopo 1, escopo 2 e emissão biogênica de CO₂eq foram submetidos à análise de média e desvio padrão utilizando o software PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

Remoções

Para a quantificação das remoções de CO₂, realizada nas áreas de vegetação nativa, foi aplicada a metodologia descrita em SCM0003: ‘Methodology for Carbon Removal in Private Conservation Areas’, versão 1.0 (Jataí, 2022). De acordo com o item 3 da SCM0003, a vegetação das propriedades rurais foi classificada como Formação Secundária, enquadrando-se como: cobertura vegetal em que as atividades humanas causaram mudanças significativas em

suas características originais de estrutura e composição, mas sem conversão para uso alternativo do solo, nem degradação que tenha causado uma regressão em seu status de sucessão ecológica.

Foi realizada uma análise temporal com o fim de cumprir o requisito de no mínimo 10 anos de permanência, a fim de determinar as áreas de vegetação nativa elegíveis. Esse critério de elegibilidade garante que, nos últimos 10 anos (no caso, 2011-2021) não houve conversão de floresta para uso alternativo da terra (Jataí, 2022). Os dados foram obtidos por meio de processamento, análise e contabilização em SIG (Qgis) com base nas imagens raster de uso e ocupação da terra disponibilizadas pela plataforma MapBiomas (2022), sendo posteriormente revisadas com a utilização de imagens históricas disponíveis no software Google Earth Pro. As áreas de vegetação nativa total e vegetação nativa elegível (ou seja, cobertura florestal desde 2011) são apresentadas na Tabela 1.

Para a definição dos valores médios de remoção de CO₂ por hectare de área de vegetação nativa das propriedades rurais, utilizaram-se os valores de referência do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) de 2022 (Vibrans *et al.*, 2022). Segundo o mesmo, para a Floresta Ombrófila Mista (FOM), adotou-se um valor de remoção médio de 2,50 tC/ha em 5 anos, ou seja, 0,50 tC/ha por ano. Foram considerados apenas os valores de remoção para a FOM por corresponder a mais de 90% da tipologia florestal da mesorregião Sudeste Paranaense. Posteriormente, foram aplicados os parâmetros anuais de incremento de carbono, com base teórica na equação 2:

$$(AI^C \times 44 / 12) \times A = RV \quad (2)$$

Onde:

A = Área de vegetação nativa (ha);

AI^C = Incremento Anual de carbono (tC/ha);

RV = Remoção de carbono durante o ano (tCO₂/ano).

Os resultados de remoção anual de CO₂ foram submetidos à análise de média e desvio padrão utilizando o software PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados e discussão

Emissões

A emissão total do escopo 1, considerando as seis propriedades amostradas, foi de 20,71 tCO₂eq, variando de 1,97 tCO₂eq a 4,32 tCO₂eq. A média de emissão desse escopo foi de 3,72 tCO₂eq, com um desvio padrão de 0,86 tCO₂eq. Em relação ao escopo 2, a emissão total foi de 5,68 tCO₂eq, variando de 0,54 tCO₂eq a 1,59 tCO₂eq. A média de emissão do escopo 2, considerando as seis propriedades rurais, foi de 0,88 tCO₂eq, com um desvio padrão de 0,42 tCO₂eq. Considerando a emissão biogênica, o total foi de 503,90 tCO₂eq, variando de 58,97 tCO₂eq a 117,93 tCO₂eq. A média de emissão biogênica, considerando as seis propriedades rurais, foi de 83,09 tCO₂eq, com um desvio padrão de 19,37 tCO₂eq (Tabela 3). As variações nas emissões entre as seis propriedades rurais analisadas estão associadas às diferenças no tamanho da área cultivada, bem como às quantidades distintas de insumos utilizados na produção.

Tabela 3: Emissões totais de gases de efeito estufa (tCO₂eq) das seis propriedades rurais analisadas, considerando o Escopo 1 (emissões diretas), Escopo 2 (emissões indiretas por eletricidade) e emissões biogênicas (queima de biomassa).

Propriedade	Emissões (tCO ₂ eq)		
	Escopo 1	Escopo 2	Biogênicas
RA	3,99	0,68	117,93
RE-01	3,52	0,54	58,97
RE-02	2,99	1,21	80,41
SJT	1,97	0,58	75,05
SMT-01	3,92	1,59	85,77
SMT-02	4,32	1,08	85,77
Total	20,71	5,68	503,90

As liberações biogênicas representaram a maior parte das emissões de 2021, correspondendo a aproximadamente 95,02% (503,90 tCO₂eq) devido à grande quantidade de lenha queimada durante a cura das folhas de tabaco — processo que libera quantidades significativas de GEE à atmosfera. Dados da FAO (*Food and Agriculture Organization*, 2024) indicam que, nos últimos anos, a remoção mundial de madeira em tora alcançou cerca de 4 bilhões de metros cúbicos por ano, sendo que aproximadamente metade foi utilizada como combustível. O material lenhoso ainda é considerado uma das fontes de energia de maior acesso e confiança (FAO, 2024).

Nos termos do Protocolo de Quioto, o uso de lenha como combustível é considerado uma importante contribuição para a contenção das emissões de GEE (WRI Brasil; Unicamp, 2015). O CO₂ emitido neste processo é o mesmo sequestrado pelas plantas durante a fotossíntese, diferente do uso de combustíveis fósseis que liberam CO₂ considerado separadamente do ciclo global do carbono, adicionando novas moléculas à quantidade total em circulação na atmosfera e biosfera (Lucier; Miner, 2010). Entretanto, a queima de lenha provoca um aumento na concentração de gases poluentes e dificulta a assimilação do carbono devido à redução da massa fotossinteticamente ativa. Além disso, em um cenário em que as mudanças climáticas representam ameaças ao planeta, cada ação para a mitigação de seus efeitos é crucial (Fearnside, 2005; Campello, 2011).

Estudos conduzidos por Oliveira (2020) relatam que o processo de cura das folhas de tabaco resultou em valores significativos para o potencial de aquecimento global. Corroborando os resultados obtidos, o estudo também conclui que a secagem do tabaco é a principal causa das maiores emissões de GEE, como CO₂, N₂O e CH₄, além da liberação de CO (monóxido de carbono) durante seu cultivo. De acordo com a pesquisa realizada por Pasa *et al.* (2022), que analisou a implementação de pellets no processo de secagem das folhas de tabaco como uma estratégia para uma economia de baixo carbono, a substituição da lenha por pellets pode mitigar em até 61,58% as emissões de GEE, além de minimizar em 61,14% o consumo de biomassa. Outra possibilidade é a aquisição de estufas solares, que têm a capacidade de reduzir a

quantidade de lenha consumida durante a cura do tabaco e, conseqüentemente, as emissões de CO₂eq (Maliszewski, 2020).

Devido às suas fontes emissoras distintas, o escopo 1 apresentou a segunda maior emissão de CO₂eq na área de estudo em 2021, cerca de 3,90% do total (20,71 tCO₂eq). Neste escopo, foram identificadas cinco fontes de emissão: consumo de diesel no maquinário agrícola; aplicação de adubo; fertilizante hidrossolúvel; salitre do Chile; e salitre nacional, sendo esses quatro últimos caracterizados como insumos nitrogenados. As emissões de CO₂eq de cada fonte do escopo 1, escopo 2 e biogênicas, podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4: Emissões de gases de efeito estufa (tCO₂eq) das seis propriedades rurais analisadas, discriminadas por fonte emissora, conforme o escopo 1 (emissões diretas), escopo 2 (emissões indiretas por eletricidade) e emissões biogênicas (queima de biomassa).

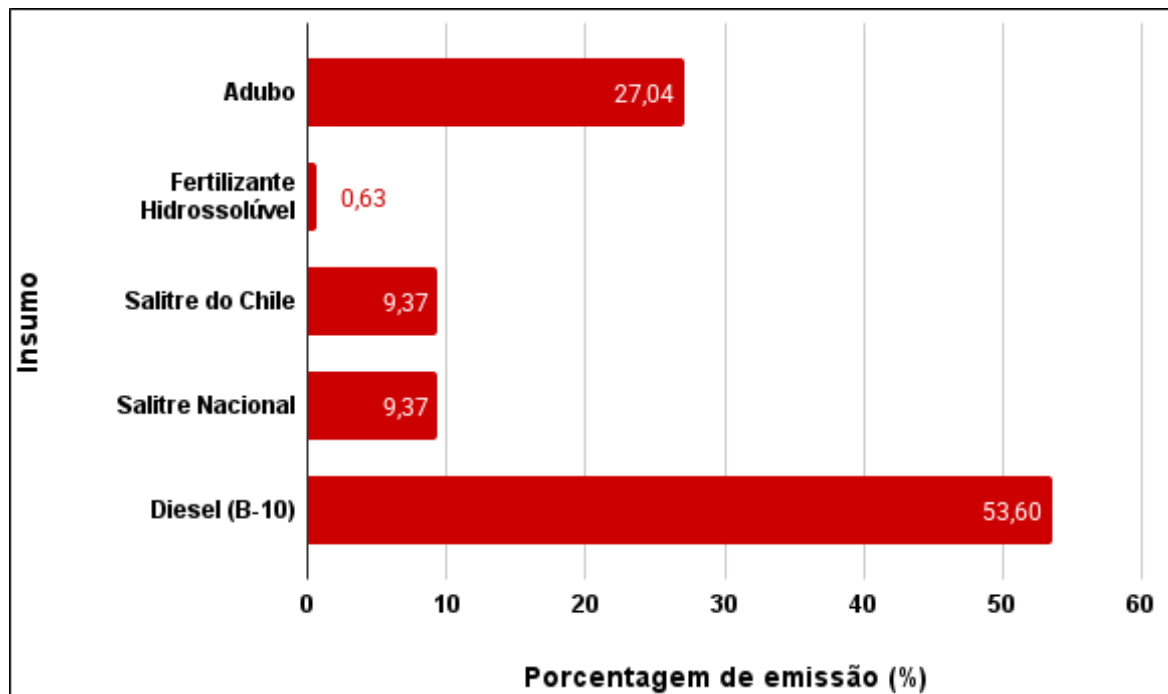
Emissão em tCO ₂ eq por propriedade								
	Insumo	Teor de N (%)	RA	RE-01	RE-02	SJT	SMT-01	SMT-02
E1	Adubo	10	1,05	0,71	1,42	0,49	1,03	0,90
	Fertilizante Hidrossolúvel	18	0,00	0,01	0,10	0,00	0,01	0,01
	Salitre do Chile	15	0,40	0,33	0,40	0,07	0,37	0,37
	Salitre Nacional	15	0,40	0,33	0,40	0,07	0,37	0,37
	Diesel (B-10)	–	2,14	2,14	0,67	1,34	2,14	2,67
E2	Energia elétrica	–	0,68	0,54	1,21	0,58	1,59	1,08
Bi	Lenha	–	117,93	58,97	80,41	75,05	85,77	85,77

Por se tratar de um combustível-chave nas operações mecanizadas realizadas nas propriedades rurais, o diesel foi responsável pela maior parcela das emissões do Escopo 1, representando 53,60% do total, o equivalente a 11,10 tCO₂eq (Figura 2). Oliveira Junior *et al.* (2015), ao inventariar as emissões de GEE na cafeicultura, concluíram que o uso da mecanização agrícola, como o emprego de tratores e caminhões, está associado à maior parcela das emissões de GEE, sendo o diesel o combustível com maior contribuição, respondendo por cerca de 86% do total. Os autores destacam que ocorreu uma intensificação da mecanização nas operações agrícolas, desde a etapa de plantio até a colheita, e que a mitigação dessas emissões está diretamente relacionada à eficiência na gestão das operações mecanizáveis, otimizando a produção e reduzindo custos.

De acordo com Cummins (2022), a queima de diesel produz CO₂, NO_x (óxidos de nitrogênio), CO, fuligem e outros poluentes, todos conhecidos por sua capacidade de prejudicar a saúde humana e comprometer a qualidade do ar. O autor salienta que o diesel nunca será um combustível de baixo carbono, por esse motivo é essencial que os veículos movidos a esse insumo sejam adaptados. Ainda assim, motores a diesel modernos apresentam maior eficiência no consumo de combustíveis e possuem menor impacto no aquecimento global e na poluição atmosférica. Para reduzir as emissões originadas pelo consumo de diesel, Milex (2023) sugere a adição de aditivos ao combustível, uma vez que esses melhoram sua qualidade e aumentam a eficiência do motor, além de serem uma solução simples e econômica que pode ser empregada em tratores, caminhões, ônibus e demais veículos pesados. Outras estratégias consistem em reduzir

o peso dos veículos, com o objetivo de diminuir o consumo de combustíveis, e a manutenção preventiva, garantindo que operem em condições adequadas.

Figura 2: Contribuição percentual de cada insumo emissor de gases de efeito estufa no total das emissões do escopo 1, considerando as seis propriedades rurais analisadas.



Considerando que as fontes adubo, fertilizante hidrossolúvel, salitre do Chile e salitre nacional são categorizadas como aplicação de insumos agrícolas nitrogenados, por serem compostas majoritariamente por NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), observa-se que, no Escopo 1, aproximadamente 46,41% das emissões de GEE foram originadas por essa categoria, representando 9,61 tCO₂eq. Os resultados assemelham-se àqueles encontrados por Pereira, Cecílio Filho e La Scala Júnior (2020), os quais, ao estimarem as emissões diretas e indiretas de GEE e a pegada de carbono em hortaliças produzidas nos sistemas de consórcio e monocultivo, concluíram que os fertilizantes (NPK, calcário e adubo orgânico) representaram 42,20% das emissões nos consórcios e 33,10% nos monocultivos, ficando atrás apenas dos materiais utilizados na infraestrutura.

Quando os insumos nitrogenados são aplicados no solo, parte do nitrogênio é convertido em N₂O, um GEE caracterizado por seu alto potencial de aquecimento global e por sua permanência de mais de 100 anos na atmosfera (Cortez, 2020). De acordo com o SEEG (2024), os solos manejados foram responsáveis pela maior parte das emissões diretas da agricultura brasileira em 2023, totalizando 187,8 MtCO₂e, compostas principalmente por N₂O. Desse total, cerca de 20% (37,6 MtCO₂e) foram originados pelo uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Além de impulsionar as mudanças climáticas, o nitrogênio em excesso se apresenta como um perigoso poluente ambiental, capaz de envenenar corpos d'água, a flora, a fauna e a saúde humana (Zandonai, 2020). Estratégias para diminuir o consumo de insumos de nitrogênio nas lavouras incluem a adoção de práticas agroecológicas e sistemas de produção

orgânica, que permitem elevar o teor de matéria orgânica do solo por meio da reciclagem e do sequestro de carbono (Souza; Prezotti; Guarçoni, 2012).

Quanto às emissões totais do escopo 2, estas foram as menores observadas, representando apenas cerca de 1,07% do total (5,68 tCO₂eq), o que pode ser atribuído à metodologia de cálculo adotada. Os fatores de emissão médios utilizados na geração de energia elétrica consideram todas as usinas hidrelétricas existentes no Brasil para estimar a geração de CO₂eq, tornando a matriz energética brasileira predominantemente limpa (Carvalho; Van Elk; Romanel, 2017). De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional Interativo de 2021, cerca de 64% da energia consumida no Brasil foi gerada por fontes hidráulicas. Além disso, o Brasil utiliza 83% de fontes renováveis para a produção de energia, enquanto a média mundial é de 25% (EPE, 2021).

O baixo percentual de emissão associado ao Escopo 2 na área de estudo em 2021 corrobora os dados encontrados por Moreira *et al.* (2016), os quais, ao avaliarem as emissões de GEE provenientes de solos cultivados com café, observaram que o consumo de eletricidade nas fazendas analisadas também resultou em emissões relativamente baixas, em comparação com os demais escopos de emissão.

Remoções

A vegetação nativa elegível presente nas seis propriedades amostradas apresentou o potencial de remover cerca de -101,03 tCO₂ da atmosfera anualmente, variando de -4,23 tCO₂ a -24,45 tCO₂, conforme a Tabela 5. A média de remoção foi de -17,56 tCO₂ com um desvio padrão de 7,42 tCO₂. A variação no total de CO₂ removido entre as propriedades analisadas deve-se principalmente à diferença de tamanho das áreas de vegetação nativa elegível em cada uma das seis propriedades rurais. Considerando que a área de estudo apresenta um total de 55,21 hectares de vegetação nativa elegível, cada hectare apresentou a capacidade de remover cerca de 1,82 tCO₂ em 2021.

Tabela 5 - Remoção anual de gases de efeito estufa (tCO₂) pela vegetação nativa elegível em cada uma das seis propriedades rurais analisadas e total removido considerando toda a área de estudo.

Propriedade	Remoção anual de CO ₂ (t)
RA	-18,30
RE-01	-24,45
RE-02	-4,23
SJT	-16,82
SMT-01	-13,61
SMT-02	-23,62
Total	-101,03

Desconsiderando a emissão biogênica, a quantidade total de CO₂ removido da atmosfera pela vegetação nativa elegível nas seis propriedades rurais (-101,03 tCO₂), foi maior do que o total de CO₂eq emitido pelas fontes identificadas nos escopos 1 e 2 da produção de tabaco

(26,39 tCO₂eq), corroborando a hipótese inicial. Além disso, ao analisar cada propriedade individualmente quanto à sua emissão durante a produção de tabaco e a área de vegetação nativa elegível, todas apresentaram um potencial maior em remover CO₂ do que emitir CO₂eq.

Os resultados deste estudo estão de acordo com aqueles encontrados por Costa Junior *et al.* (2019), que avaliaram o balanço das emissões e remoções de GEE na agricultura familiar, encontrando um balanço negativo em que a remoção foi maior do que a emissão nos sistemas de produção de cacau e pecuária. Outro estudo realizado em 17 fazendas no estado do Mato Grosso, com o objetivo de estimar as emissões e remoções de GEE provenientes da produção de soja, concluiu que a área de cultivo resultou em uma emissão média de 0,57 Mg C/ha⁻¹, enquanto a remoção alcançou -2,24 Mg C/ha⁻¹, gerando um balanço de carbono benéfico, no qual mais carbono é removido da atmosfera do que emitido. Além disso, o estudo também quantificou o carbono estocado na vegetação nativa, totalizando 1.220.485,64 Mg C, equivalente a 4.475.114,02 Mg CO₂. Dessa forma, as áreas de vegetação nativa, além de contribuírem para o sequestro de CO₂ atmosférico, são fundamentais como reservatórios de carbono em sua biomassa (Aprosoja, 2022).

Além de contribuírem para a remoção de carbono da atmosfera e regulação do clima, a vegetação nativa é essencial para a prestação de diversos serviços ecossistêmicos. De acordo com o OGA Brasil (Observatório de Governança das Águas), a conservação dos remanescentes florestais da Mata Atlântica se faz necessária para assegurar a manutenção do fluxo dos mananciais e do ciclo hidrológico, para gerar fertilidade ao solo e prevenir erosão. Além disso, a presença de vegetação nativa está associada a melhora na produtividade agrícola, pois manter a vegetação próxima às áreas cultivadas maximiza a polinização, resultando em maior retorno monetário para a agricultura brasileira (Braga, 2021).

É importante destacar que, apesar de não ter sido considerado neste estudo, existe ainda o escopo 3 e a quantificação das suas emissões pode impactar nas emissões totais da produção de tabaco e, consequentemente, no balanço de carbono das propriedades. Dessa forma, são necessários estudos futuros que avaliem também as emissões advindas deste escopo.

Considerações finais

A sustentabilidade na produção de tabaco está integrada à conservação ambiental e à adoção de práticas agrícolas eficientes. A presença de vegetação nativa nas propriedades rurais, além de contribuir para a redução da concentração de CO₂ na atmosfera, é fundamental para a prestação de serviços ecossistêmicos. Paralelamente, a implantação de práticas agrícolas mais eficientes colabora para a redução de custos operacionais e a mitigação das emissões de GEE.

Diante da viabilidade de conciliar produtividade e sustentabilidade no cultivo do tabaco, infere-se que essa mesma abordagem pode ser aplicada a outras culturas agrícolas. Tal perspectiva representa um caminho promissor para a redução das emissões anuais do setor agrícola no Brasil.

Referências

- ALBUQUERQUE, L. **Análise crítica das políticas públicas em mudanças climáticas e dos compromissos nacionais de redução de emissão de gases de efeito estufa no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- AFUBRA. **Associação fumicultura.** 2025. Disponível em: <https://afubra.com.br/associacao/fumicultura/>. Acesso em: 30 mai. 2025.
- APROSOJA. Estimativa das emissões e remoções de gases de efeito estufa da produção da soja no mato grosso: safra 2020/2021. 2022. Disponível em: https://aprosojabrasil.com.br/wp-content/uploads/2022/08/01-CBPS-Apresentacao_balanco-Carbono.pdf. Acesso em: 03 jun. 2025.
- BRAGA, V. S. Vegetação nativa próxima às áreas cultivadas maximiza a polinização e melhora a produtividade. **EcoDebate**, 2021. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2021/08/25/vegetacao-nativa-proxima-as-areas-cultivadas-maximiza-a-polinizacao-e-melhora-a-productividade/>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças nos estoques de florestas plantadas: relatórios de referência: primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília: MCT, p. 44, 2006. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/807>. Acesso em: 10 out. 2022.
- CAMPELLO, F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: A questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da região do Araripe- Pe.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2011.
- CARVALHO, J. P. A. F. de; VAN ELK, A. G. H. P.; ROMANEL, C. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Campus Gávea da PUC-Rio. *SciELO*, v. 22, P. 591-595, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017155865
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Portal de Informações Agropecuárias.** 2025. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 08 jun. 2025.
- CORTEZ, H. Uso intensivo de fertilizantes nitrogenados ameaça o clima. **EcoDebate**, 2020. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2020/10/20/uso-intensivo-de-fertilizantes-nitrogenados-ameaca-o-clima/>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- COSTA JUNIOR, C. *et al.* Balanço das emissões e remoções de gases de efeito estufa na agricultura familiar. **Imaflora**, São Félix Do Xingu, 2019. Disponível em: https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/balanco_emissoes_e_remocoes_-_sfx.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

CUMMINS INC. Comparando as reduções de emissões entre combustíveis alternativos. 2022. Disponível em: <https://www.cummins.com/pt/news/2022/10/03/comparing-emission-reductions-across-alternative-fuels>. Acesso em: 03 jun. 2025.

EMBRAPA. Brasil lidera e é referência no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para produção de soja. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81613580/brasil-e-referencia-no-desenvolvimento-de-tecnologias-sustentaveis-para-producao-de-soja>. Acesso em 01 jun. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional Interativo. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 25 nov. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. The state of the world's forests 2024. 2024. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/768ba59e-c692-47c3-9a13-3c3c10993396/content/src/html/wood-production-record-levels.html#gsc.tab=0>. Acesso em: 29 mai. 2025.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e consequências. **Revista Megadiversidade**, v. 1, p. 7-19, 2005. Disponível em: https://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2022/Destruicao-v1/Destruicao-v1%20e%20Conservacao-da-Floresta-Amazonica.pdf#page=7. Acesso em: 01 nov. 2022.

GHG PROTOCOL. Ferramenta GHG Protocol. **FGV EAESP**, v. 1.2, 2020. Disponível em: <http://ferramenta.ghgprotocolbrasil.com.br/index.php?r=site/ferramenta>. Acesso em: 05 nov. 2022.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal**, 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 29 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Portal Cidades**, 2021a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>. Acesso em: 05 out. 2022.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Leituras regionais: Mesorregião Geográfica Sudeste Paranaense**. Curitiba, 2004. Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/leituras_reg_meso_sudeste.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Referências ambientais e socioeconômicas para o uso do território do Estado do Paraná: uma contribuição ao zoneamento ecológico-econômico – ZEE**. 2. ed. Curitiba, 2006. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/ipardes_2006.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **IPCC**, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Acesso em: 15 jun. 2022.

JATAÍ. SCM0003: Methodology for Carbon Removal in Private Conservation Areas. **SocialCarbon**, v. 1.0, 2022. Disponível em: https://static1.squarespace.com/static/6161c89d030b89374bec0b70/t/626e923a15fb316524644003/1651413562933/SCM0003-v.1.0-public_consultation.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

KEMERICH, P. D. D. C.; DOTTO, A. R. F.; SILVA, M. G. da. Estimativa dos gases de efeito estufa do cultivo da Soja em uma localidade em Caçapava do Sul-RS. **Revista Técnico-Científica**, n. 14, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328913787_estimativa_dos_gases_de_efeito_estufa_do_cultivo_da_soja_em_uma_localidade_em_cacapava_do_sul-rs. Acesso em: 05 jun. 2025.

KRUGER, E. Efeito estufa e mudanças climáticas. **WWF**, [s. l.], 2022. Disponível em: https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/educacaoambiental/conceitos/efeitoestufa_emudancasclimaticas/. Acesso em: 30 mai. 2022.

LUCIER, A.; MINER R. **Biomass Carbon Neutrality in the Context of Forest based**. 2010.

MAISAGRO. Soja 2024/25: como está o andamento da colheita?. 2025. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/mercado-e-safra/soja-2024-25-como-esta-o-andamento-da-colheita>. Acesso em: 05 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Coleção 7.0, Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 16 nov. 2022.

MALISZEWSKI, E. A importância social do tabaco. **Agrolink**, 2019. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/a-importancia-social-do-tabaco_427747.html. Acesso em: 13 mai. 2022.

MALISZEWSKI, E. Fumicultores usam estufa com energia solar para curar tabaco. **Agrolink**, [s. l.], nov. 2020. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/fumicultores-usam-estufa-com-energia-solar-para-curar-tabaco_441911.html#:~:text=A%20estufa%20solar%20reduz%20em,que%20vai%20fazer%20a%20cura. Acesso em: 12 dez. 2022.

MILEX ADDITIVES. Reduzindo a emissão de carbono do transporte nacional com aditivos para diesel. 2023. Disponível em: <https://milexadditives.com.br/milex-news/blog/como-reduzir-a-emissao-de-carbono-no-transporte-nacional-saiba-mais/>. Acesso em: 27 mai. 2025.

MONZONI, M *et al.* Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **FGV SB**, 2008. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/15413>. Acesso em: 08 ago. 2022.

MOREIRA, C. S. *et al.* Gases do efeito estufa avaliação da produção café verde brasileiro: um estudo de caso do estado de Minas Gerais. **SBICafé**, 2016. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9795>. Acesso em: 05 nov. 2022.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **O que são as mudanças climáticas?**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>. Acesso em: 02 mai. 2022.

OBSERVATÓRIO DE GOVERNANÇA DAS ÁGUAS. **Os serviços ambientais da Mata Atlântica: segurança hídrica, regulação do clima e diversidade biológica**. 2020. Disponível em:

<https://observatoriodasaguas.org/wp-content/uploads/2020/07/Os-Servic%C3%A7%C3%B5es-Ambientais-da-MA-1-1.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2025.

OLIVEIRA, P. F. de. *et al.* Impactos ambientais da produção agrícola do tabaco orgânico e convencional no sul do Brasil. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 20, n. 3, p. 903-922, 2020. DOI: 10.14488/1676-1901.v20i3.3793.

OLIVEIRA JUNIOR, G. G. de. **Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Cultura do Cafeeiro**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária) - Universidade José do Rosário Vellano, Minas Gerais, 2015.

PASA, D. L. *et al.* **Implementação de uma economia de baixo carbono na secagem do tabaco por meio do uso de biomassa florestal**. *Advances in Forestry Science*, v. 9, n. 2, p. 1781-1789, 2022. Disponível em: (PDF) Implementação de uma economia de baixo carbono na secagem do tabaco por meio do uso de biomassa florestal. Acesso em: 29 mai. 2025.

PEREIRA, B. D. J. CECÍLIO FILHO, A. B.; LA SCALA JÚNIOR, N. Emissão de gases de efeito estufa e pegada de carbono na produção de pepino, tomate e alface em dois sistemas de cultivo. **Repositório Unesp**, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/4491c2f4-3683-4fc5-adc9-baad4c2c6192>. Acesso em: 30 mai. 2025.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil. SEEG Relatório Analítico, n. 12. **Observatório do Clima**, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2025.

SINDITABACO. **Relevância para a economia regional**, 2025. Disponível em: <https://www.sinditabaco.com.br/relevancia-para-a-economia-regional>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SOUZA, J. L. de; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Idesia (Arica)**, v. 30, n. 1, p. 7-15, 2012. DOI: 10.4067/S0718-34292012000100002.

TELLES, T. S. *et al.* **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2021. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/240832>. Acesso em: 7 jun. 2025.

VIBRANS, A. C. *et al.* Estimativas das taxas de mudanças de atributos florestais das florestas catarinenses, com base nos dados do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. **FURB**, 2022. DOI:10.13140/RG.2.2.31066.21449

WELTER, C. A. *et al.* **Uso da biomassa florestal como estratégia de redução dos gases de efeito estufa: estudo de caso na fumicultura do sul do Brasil/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

WOLFF, M. H. **Relatório geológico \ hidrogeológico**. Prefeitura Municipal De Rebouças, 2014. Disponível em:

https://www.justica.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/migrados/File/Licitacao/Reboucas/geotecnica/relatoriofacao/Relatorio.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

WRI BRASIL. Ferramenta de Cálculo Brasil. **Greenhouse Gas Protocol**, v. 3.10, 2020. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/agriculture-guidance>. Acesso em: 05 nov. 2022.

WRI BRASIL; UNICAMP. Metodologia do GHG Protocol da agricultura. **Greenhouse Gas Protocol**, 2015. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/Metodologia.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ZANDONAI, R. Fertilizantes: desafios e soluções. **ONU**, 2020. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/fertilizantes-desafios-e-solucoes>. Acesso em 01 jun. 2025.