

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS URUTAÍ

NATANY CORREA FERREIRA

RELAÇÃO ENTRE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) E O USO DOS BIOINSUMOS NA
AGRICULTURA: UM RELACIONAMENTO FRENTE À MERCADOS GLOBAIS
EXIGENTES

NATANY CORREA FERREIRA

**RELAÇÃO ENTRE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) E O USO DOS BIOINSUMOS NA
AGRICULTURA: UM RELACIONAMENTO FRENTE À MERCADOS GLOBAIS
EXIGENTES**

Nota técnica apresentada à Banca
Examinadora do Curso de Pós-Graduação
Lato Sensu em Bioinsumos Instituto Federal
Goiano como exigência parcial para obtenção
do título de Especialista em Bioinsumos.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Gonçalves de Jesus

ERRATA

FERREIRA, Natany. **Relação entre gases de efeito estufa (gee) e o uso dos bioinsumos na agricultura: um relacionamento frente à mercados globais exigentes**. 2026. 28 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Bioinsumos Campus Urutaí do IF Goiano, Urutaí, 2026.

Elemento	Onde se lia	Leia-se
Pós-textual	Ausência da ata de defesa	Ata de defesa anexada na páginas 8 e 9

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

C824	Correa Ferreira, Natany Relação entre gases de efeito estufa (GEE) e o uso dos bioinsumos na agricultura: Um relacionamento frente à mercados globais exigentes / Natany Correa Ferreira. Urutaí 2025. 28f. il. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira. Coorientador: Prof. Dr. Flávio Gonçalves de Jesus. Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de 0130426 - Especialização em Bioinsumos - Urutaí (Campus Urutaí). I. Título.
------	--

NATANY CORREA FERREIRA

**RELAÇÃO ENTRE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) E O USO DOS BIOINSUMOS
NA AGRICULTURA: UM RELACIONAMENTO FRENTE À MERCADOS GLOBAIS
EXIGENTES**

Nota técnica apresentada à Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Bioinsumos Campus Urutaí do IF Goiano como exigência parcial para a obtenção do título de Especialista em Bioinsumos.

Urutaí, 20 de Setembro de 2025

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☒ Monografia (especialização)
☐ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo: _____

Nome completo do autor: _____

Natany Correa Ferreira

Matrícula: _____

2024101304260012

Título do trabalho: _____

Relação entre gases de efeito estufa (GEE) e o uso dos bioinsumos na agricultura: um relacionamento frente à mercados globais emergentes

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 21 / 09 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente

NATANY CORREA FERREIRA
Data: 17/10/2025 12:44:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Urutai

Local

20 / 09 / 2025

Data

Assinatu

Documento assinado digitalmente

autorais

Ciente e de acordo: _____


ALEXANDRE IGOR DE AZEVEDO PEREIRA
Data: 08/07/2026 14:47:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a) _____



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 1/2025 - CEBIO/DAIT-REI/PROPPI-REI/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos vinte dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 11 horas da manhã, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira (orientador, CEO CEBIO), Dra. Carmen Rosa da Silva Curvêlo (professora do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí) e Dr. João Batista Coelho Sobrinho (Bolsista CEBIO de Pós-Doutorado da URB CB de Pragas em Urutaí), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado **“Relação entre gases de efeito estufa (GEE) e o uso dos bioinsumos na agricultura: um relacionamento frente a mercados globais exigentes”**, de **Natany Correa Ferreira**, estudante da Lato Sensu em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Urutaí, sob matrícula nº 2024101304260012.

A palavra foi concedida ao(à) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição pela Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante.

Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Urutaí, 26 de setembro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira
Orientador/Presidente da Banca

(Assinado eletronicamente)

Profª. Dra. Carmen Rosa da Silva Curvêlo
Membro da Banca

(Assinado eletronicamente)

Prof. Dr. João Batista Coelho Sobrinho
Membro da Banca

Observação:

() O (a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alexandre Igor de Azevedo Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 05/10/2025 00:25:56.
- **João Batista Coelho Sobrinho, 2025101344560001 - Discente**, em 06/10/2025 13:57:51.
- **Carmen Rosa da Silva Curvelo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 07/10/2025 10:39:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/10/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 751323

Código de Autenticação: dc043d9a4d



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Reitoria

Rua 88, 310, Setor Sul, GOIANIA / GO, CEP 74.085-010

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu força e perseverança para superar os desafios desta jornada acadêmica.

À minha família, especialmente ao meu pai Celio, minha mãe Sebastiana e à minha querida Débora, pelo apoio incondicional, compreensão nos momentos de ausência e pelo incentivo constante durante todo o percurso. Vocês foram meu alicerce e inspiração para seguir em frente.

Ao meu orientador, Prof. Dr Alexandre Igor Azevedo Pereira pela dedicação, paciência e valiosas contribuições que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos, pela oportunidade de aprendizado e crescimento profissional, bem como pelo suporte institucional oferecido durante todo o curso. Ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano), pelo excelente ambiente acadêmico e infraestrutura que possibilitaram o desenvolvimento desta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo apoio financeiro e institucional que viabilizou a execução deste trabalho.

À Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE), pelo suporte administrativo e financeiro essencial para a realização das atividades de pesquisa.

Ao Centro de Excelência em Bioeconomia (CEBIO), pelo apoio técnico e científico fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

Aos professores do programa, que compartilharam seus conhecimentos e experiências, fundamentais para minha formação.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, minha sincera gratidão.

BIOGRAFIA DO ALUNO

Meu nome é Natany Correa Ferreira, tenho 28 anos e nasci em Orizona. Sou formada em Técnico em Agropecuária e, posteriormente, completei minha graduação em Agronomia. Sempre tive uma paixão pela área rural e, atualmente, estou em busca de novas oportunidades de crescimento profissional. Estou trabalhando na área da educação, onde tenho a chance de compartilhar meu conhecimento e experiência com outras pessoas. Meu compromisso com o desenvolvimento sustentável e a formação de futuras gerações é algo que me motiva diariamente. Estou sempre em busca de me aprimorar e explorar novos caminhos, com o objetivo de contribuir positivamente para a sociedade

RESUMO

Este estudo analisa a relação entre o uso de bioinsumos e a redução de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura, com enfoque na cadeia produtiva do algodão brasileiro. Utilizando metodologias como balanço de carbono, avaliação do ciclo de vida (ACV) e modelos matemáticos DAYCENT e DNDC, a pesquisa demonstra que sistemas de manejo biológico podem reduzir as emissões de GEE em até 25% comparados aos sistemas convencionais. Os resultados indicam que a substituição de insumos químicos por bioinsumos promove o sequestro de carbono no solo (0,5-2 t CO₂/ha/ano), reduz emissões de N₂O e diminui a pegada de carbono total da produção. Além dos benefícios ambientais, a adoção de bioinsumos oferece vantagens econômicas como redução de custos e acesso a mercados internacionais exigentes, fortalecendo a posição do Brasil como produtor de algodão sustentável. Conclui-se que a integração de bioinsumos nas práticas agrícolas representa uma estratégia eficaz para mitigar mudanças climáticas e aumentar a competitividade do agronegócio brasileiro no cenário global.

Palavras-chave: Bioinsumos 1. Gases de efeito estufa 2. Algodão 3. Sustentabilidade 4. Agricultura de baixo carbono 5.

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between the use of bioinputs and the reduction of greenhouse gases (GHG) in agriculture, focusing on the Brazilian cotton production chain. Using methodologies such as carbon balance, life cycle assessment (LCA), and mathematical models DAYCENT and DNDC, the research demonstrates that biological management systems can reduce GHG emissions by up to 25% compared to conventional systems. The results indicate that replacing chemical inputs with bioinputs promotes soil carbon sequestration (0.5-2 t CO₂/ha/year), reduces N₂O emissions, and decreases the total carbon footprint of production. Beyond environmental benefits, the adoption of bioinputs offers economic advantages such as cost reduction and access to demanding international markets, strengthening Brazil's position as a sustainable cotton producer. It is concluded that the integration of bioinputs into agricultural practices represents an effective strategy to mitigate climate change and increase the competitiveness of Brazilian agribusiness in the global scenario.

Keywords: Bioinputs 1. Greenhouse gases 2. Cotton 3. Sustainability 4. Low-carbon agriculture 5.

LISTA DE TABELAS/ ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- Ciclo do carbono	19
GRÁFICO 1-Balanço de carbono	19
GRÁFICO 2- Comparação dos impactos ambientais	20
TABELA 1- Resumo executivo	21
TABELA 2-Parametros de entrada.....	22
TABELA 3- Resultados simulados.....	22
TABELA 4-Equações chave.....	22
TABELA 5- Calibração.....	23
TABELA 6- Cenários.....	23
TABELA 7- Emissões de GEE.....	24
TABELA 8- Emissões por sistema de irrigação.....	24
TABELA 9-Manejo de residuos.....	24
TABELA 10-Estrategias de Mitigação.....	25

SUMÁRIO

1-IMPORTÂNCIA E RELEVÂNCIA.....	16
2-BIOINSUMOS E A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂.....	16
3-METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE GEE: O BALANÇO DE CARBONO.....	18
3.1- Como Funciona o Balanço de Carbono.....	18
3.2- Entradas de Carbono.....	18
3.3 Saídas de Carbono.....	19
4- METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV).....	20
5 - METODOLOGIA DE MODELOS MATEMÁTICOS DAYCENT E DNDC.....	21
5.1- Modelo DAYCENT.....	21
5.2- Modelo DNDC.....	23
6- MANEJO BIOLÓGICO VS. MANEJO QUÍMICO: IMPACTOS NAS EMISSÕES DE GEE.....	25
7- ESTUDOS E INICIATIVAS NA ÁREA.....	25
8- O CASO DO ALGODÃO BRASILEIRO.....	26
9- BENEFÍCIOS PARA O AGRICULTOR E O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO.....	26
10-CONCLUSÃO.....	27
11- REFERENCIA.....	28

1. IMPORTÂNCIA E RELEVÂNCIA

A agricultura moderna enfrenta um duplo desafio: atender à crescente demanda por alimentos e fibras, ao mesmo tempo em que reduz seu impacto ambiental, especialmente no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa (GEE). Diante desse cenário, os bioinsumos emergem como uma solução promissora, alinhando produtividade e sustentabilidade. Esses insumos de origem biológica, que incluem microrganismos, biofertilizantes e extratos vegetais, têm o potencial de transformar práticas agrícolas, reduzindo a dependência de insumos químicos e mitigando as emissões de GEE (EMBRAPA, 2021).

Neste contexto, este trabalho explora a relação entre o uso de bioinsumos e a redução das emissões de GEE, com ênfase no papel do manejo biológico como alternativa ao manejo químico tradicional. Além disso, analisa como essa integração pode beneficiar o agricultor e o agronegócio brasileiro, especialmente em cadeias produtivas estratégicas, como a do algodão, onde a sustentabilidade é um fator crítico para a competitividade no mercado global (FAO, 2020).

O algodão brasileiro, do qual 70% da produção é exportada, serve como um estudo de caso emblemático. Com o aumento das barreiras comerciais e a exigência de selos de sustentabilidade cada vez mais rigorosos, a adoção de bioinsumos e práticas de manejo biológico pode não apenas reduzir as emissões de GEE, mas também fortalecer a posição do Brasil como líder mundial na produção de algodão sustentável (ABRAPA, 2022).

Esta nota técnica busca, portanto, elucidar como a sinergia entre bioinsumos e redução de GEE pode impulsionar a agricultura brasileira, garantindo acesso a mercados exigentes e promovendo um modelo de produção mais sustentável e resiliente (IPCC, 2019; LAL, 2020).

2. BIOINSUMOS E A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂

Os bioinsumos têm se mostrado uma ferramenta essencial para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na agricultura, especialmente em cadeias produtivas de alto valor, como a do algodão. A produção de algodão, que é uma das culturas mais importantes para o agronegócio brasileiro, enfrenta desafios significativos relacionados à sustentabilidade, especialmente devido às exigências de mercados globais que demandam práticas ambientalmente responsáveis. Nesse contexto, os bioinsumos surgem como uma solução estratégica, não apenas para aumentar a eficiência produtiva, mas também para reduzir a pegada de carbono da cadeia algodoeira.

A produção convencional de algodão é frequentemente associada ao uso de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos, cuja fabricação e aplicação emitem grandes quantidades de CO₂ e outros gases de efeito estufa (GEE). A produção de fertilizantes nitrogenados, por

exemplo, é um processo altamente dependente de combustíveis fósseis, emitindo entre 1,5 e 2 toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e) por tonelada de fertilizante produzido. Ao substituir parcial ou totalmente esses insumos por bioinsumos, é possível reduzir significativamente as emissões associadas. Além disso, os bioinsumos promovem a saúde do solo, aumentando seu teor de matéria orgânica e estimulando a atividade microbiana. Solos saudáveis e ricos em carbono orgânico atuam como sumidouros de CO₂, sequestrando o carbono da atmosfera e armazenando-o por longos períodos. Estudos indicam que solos manejados com bioinsumos podem sequestrar entre 0,5 e 2 toneladas de CO₂ por hectare/ano, o que é particularmente relevante para a cultura do algodão, que ocupa grandes extensões de terra no Brasil.

Outro benefício dos bioinsumos é o aumento da eficiência no uso de nutrientes pelas plantas, o que reduz perdas por lixiviação e volatilização. Isso minimiza a emissão de óxido nitroso (N₂O), um gás de efeito estufa com potencial de aquecimento global 298 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 2019). Na cadeia do algodão, onde a aplicação de fertilizantes nitrogenados é comum, a adoção de bioinsumos pode contribuir para uma redução significativa das emissões de GEE.

A quantificação desses benefícios pode ser realizada por meio de metodologias como o balanço de carbono, que mede as entradas e saídas de carbono no sistema, e a avaliação do ciclo de vida (ACV), que compara o impacto ambiental de sistemas com bioinsumos versus sistemas convencionais. Modelagens matemáticas, como os modelos DAYCENT e DNDC, também são utilizadas para simular as emissões de GEE em diferentes cenários de manejo. Além disso, o monitoramento direto, com a instalação de sensores e câmaras de fluxo em campo, permite medir as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O em tempo real. Estudos conduzidos pela Embrapa em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) demonstraram reduções de até 30% nas emissões de GEE com o uso de bioinsumos (Embrapa, 2021).

Na cadeia do algodão brasileiro, onde 70% da produção é destinada à exportação, a adoção de bioinsumos tem se mostrado um diferencial competitivo. Um estudo conduzido pela Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (Abrapa) demonstrou que propriedades que adotaram bioinsumos e práticas de manejo biológico reduziram as emissões de GEE em 25%, em comparação com sistemas convencionais (Abrapa, 2022). Além disso, essas propriedades apresentaram maior sequestro de carbono no solo, o que contribui para a mitigação das mudanças climáticas e para a obtenção de certificações de sustentabilidade, como o selo "Algodão Brasileiro Responsável" (ABR). Essas certificações são cada vez mais exigidas por mercados internacionais, como os da Europa e Ásia, que buscam produtos com menor impacto ambiental.

A integração de bioinsumos na cadeia do algodão não apenas reduz as emissões de CO₂, mas também fortalece a posição do Brasil como líder mundial na produção de algodão sustentável. Ao atender às demandas de mercados globais por práticas ambientalmente responsáveis, os bioinsumos ajudam a garantir o acesso do algodão brasileiro a mercados premium, aumentando a competitividade do setor. Além disso, a redução dos custos de produção, devido à menor dependência de insumos químicos, e o aumento da resiliência dos sistemas agrícolas são benefícios adicionais que favorecem diretamente o agricultor.

Em resumo, os bioinsumos representam uma solução viável e eficaz para a redução das emissões de CO₂ na cadeia do algodão. Ao substituir insumos convencionais, promover a saúde do solo e aumentar a eficiência no uso de nutrientes, eles contribuem para a mitigação das mudanças climáticas e para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro. A quantificação desses benefícios por meio de metodologias como balanço de carbono, ACV e modelagem matemática é essencial para validar esses impactos e embasar políticas públicas e certificações sustentáveis, garantindo que o algodão brasileiro continue a ser um produto de destaque no mercado global.

3. METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE GEE: O BALANÇO DE CARBONO

A quantificação das emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) é fundamental para avaliar o impacto ambiental das práticas agrícolas e promover a sustentabilidade. Na cadeia produtiva do algodão, uma das metodologias mais utilizadas é o balanço de carbono, que permite calcular a diferença entre o carbono que entra e o carbono que sai de um sistema. Essa abordagem é essencial para identificar se o sistema é uma fonte ou um sumidouro de carbono, além de embasar estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

3.1 Como Funciona o Balanço de Carbono

O balanço de carbono é baseado na equação:

$$\text{Balanço de Carbono} = \text{Entradas de Carbono} - \text{Saídas de Carbono}$$

3.2 Entradas de Carbono

- Fotossíntese: O algodoeiro absorve CO₂ da atmosfera durante seu crescimento.
- Bioinsumos: A aplicação de microrganismos fixadores de nitrogênio e biofertilizantes aumenta o carbono orgânico no solo.
- Resíduos Vegetais: A palhada deixada no campo após a colheita contribui para o aumento da matéria orgânica do solo.

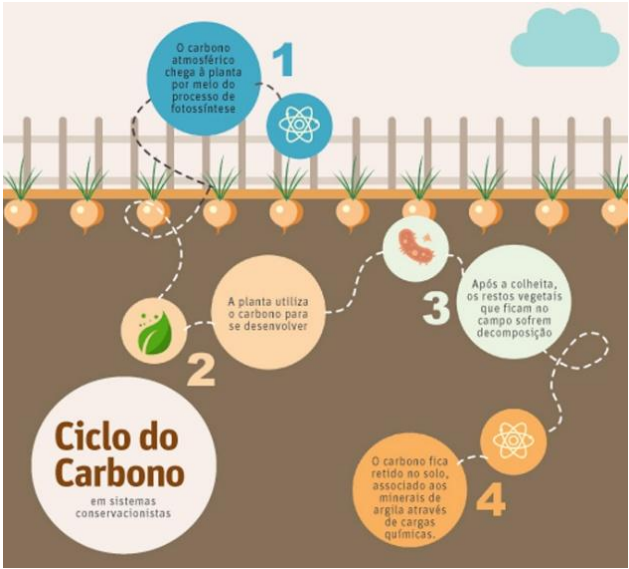
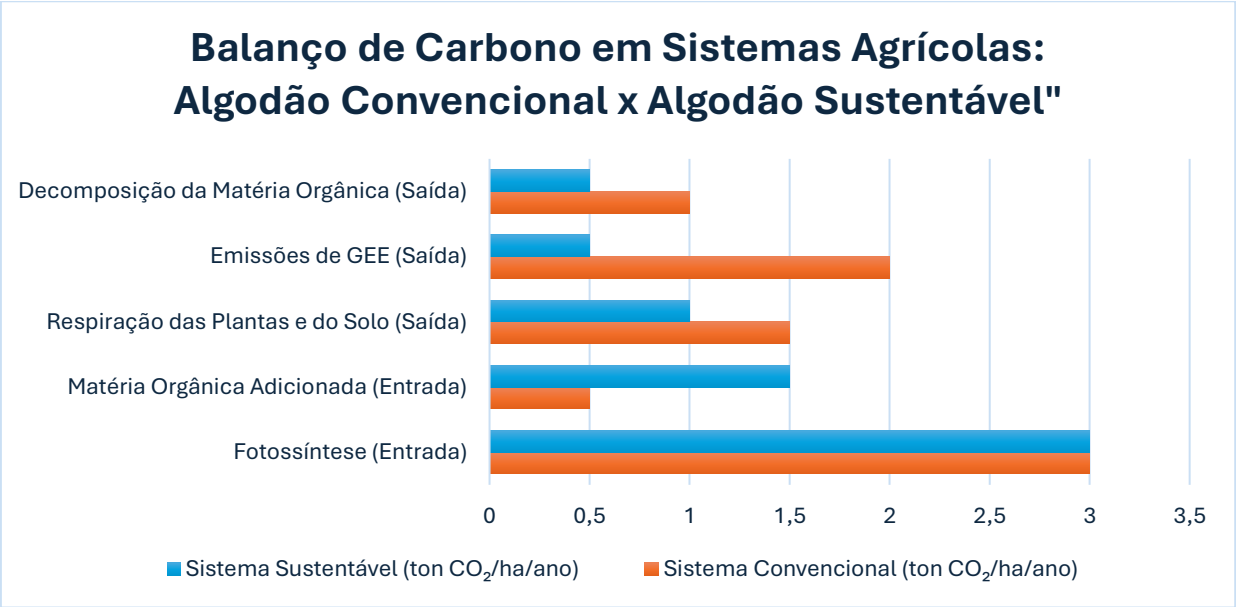


Ilustração de como ocorre o ciclo do carbono
(Fonte: Embrapa,2024)

3.3 Saídas de Carbono

- **Respiração:** Parte do carbono absorvido é liberado pela respiração das plantas e do solo.
- **Emissões de GEE:** A aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais emite N₂O, e o preparo do solo pode liberar CO₂.
- **Decomposição:** A decomposição da palhada e outros resíduos libera CO₂.



(Fonte: Corrêa, 2025)

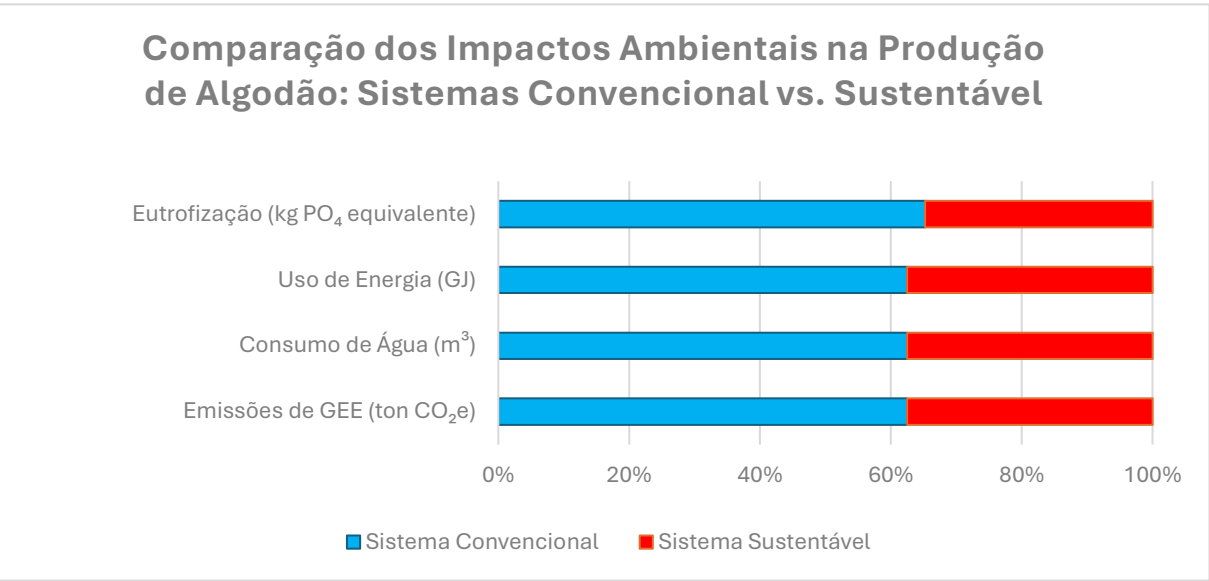
Em sistemas de algodão que utilizam bioinsumos e práticas como plantio direto e rotação de culturas, o balanço de carbono tende a ser positivo, indicando que o sistema sequestra mais carbono do que emite. Estudos mostram que solos manejados com bioinsumos podem

sequestrar entre 0,5 e 2 toneladas de CO₂ por hectare/ano (LAL, 2020).

4. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia amplamente utilizada para avaliar os impactos ambientais de produtos, processos ou serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Essa abordagem é essencial para identificar oportunidades de redução de impactos ambientais, como emissões de gases de efeito estufa (GEE), consumo de recursos naturais e geração de resíduos. Na agricultura, a ACV tem sido aplicada para comparar sistemas convencionais e sustentáveis, como no caso da produção de algodão.

A ACV é uma ferramenta essencial para avaliar e melhorar a sustentabilidade da produção de algodão. Ao comparar sistemas convencionais e sustentáveis, é possível identificar práticas que reduzem as emissões de GEE, o consumo de água e energia, e os impactos sobre os ecossistemas. A aplicação da ACV, aliada a ferramentas visuais como gráficos e diagramas, facilita a comunicação dos resultados e a tomada de decisões estratégicas, fortalecendo a posição do Brasil como líder mundial na produção sustentável de algodão.



(Fonte: Corrêa, 2025)

O gráfico demonstra claramente que o sistema sustentável é mais eficiente em termos ambientais, reduzindo significativamente as emissões de GEE, o consumo de água, o uso de energia e a eutrofização. Esses resultados destacam a importância de adotar práticas sustentáveis na produção de algodão, não apenas para reduzir os impactos ambientais, mas também para atender às demandas de mercados globais cada vez mais exigentes em relação à sustentabilidade.

A adoção de bioinsumos, plantio direto, rotação de culturas e outras práticas sustentáveis pode transformar a cadeia do algodão em um modelo de produção mais eficiente e responsável, fortalecendo a posição do Brasil como líder mundial na produção sustentável de algodão.

5. METODOLOGIA DE MODELOS MATEMÁTICOS DAYCENT E DNDC

Os modelos matemáticos DAYCENT e DNDC representam ferramentas avançadas para análise e previsão de processos agroambientais, com aplicações específicas e complementares na cultura do algodão.

5.1 Modelo DAYCENT:

Princípio de Funcionamento:

Simula dinamicamente os fluxos diários de carbono, nitrogênio e água nos sistemas agrícolas, integrando:

- Decomposição de matéria orgânica
- Crescimento vegetal
- Troca gasosa solo-atmosfera
- Dinâmica de nutrientes

Tabela 1. Resumo das principais práticas de manejo agrícola avaliadas para a cultura do algodão, com foco na redução de gases de efeito estufa (GEE).

RESUMO EXECUTIVO			
Módulo	Impacto no Algodão	Redução GEE	Módulo
Matéria Orgânica	+0.8 t C/há/ano (plantio direto)	-12% CO2eq	Matéria Orgânica
Adubação Nitrogenada	Otimização da dose (80→60 kg N/há)	-35% N2O	Adubação Nitrogenada
Rotação de Culturas	Algodão-Milho-Braquiária	-28% GEE total	Rotação de Culturas
Irrigação	Gotejamento vs aspersão	-15% emissões	Irrigação

Tabela 2. Comparação dos parâmetros operacionais e ambientais entre os sistemas convencional e sustentável de cultivo de algodão.

PARÂMETROS DE ENTRADA				
Parâmetro	Unidade	Convencional	Sustentável	Fonte
Ciclo da cultura	dias	180	170	EMBRAPA
Resíduos culturais	t/ha	3.5	4.2	FAO
Eficiência N-fertilizante	%	40	65	IPCC
Fator de emissão	kg N ₂ O-N/kg N	0.012	0.008	DAYCENT

Tabela 3. Apresenta a evolução temporal (em anos) de três indicadores-chave comparando sistemas convencional sustentável na cultura do algodão.

RESULTADOS SIMULADOS			
Ano	C Solo (t/ha)	N ₂ O (kg/ha)	Produtividade (sc/ha)
1	20.0 → 20.8	5.1 → 3.2	280 → 265 (-5%)
3	21.5 → 24.1	4.8 → 2.7	275 → 285 (+4%)
5	22.0 → 26.5	4.5 → 2.3	270 → 295 (+9%)
10	22.5 → 28.3	4.2 → 2.0	265 → 310 (+17%)

Tabela 4. Apresenta as principais equações matemáticas utilizadas pelo modelo DAYCENT para simular processos críticos no cultivo de algodão.

EQUAÇÕES-CHAVE					
Processo	Fórmula DAYCENT	Variáveis-chave	Processo	Fórmula DAYCENT	Variáveis-chave
Decomposição	$C(t) = C_0 * e^{-(kt)}$	$k=0.0035$ (algodão)	Decomposição	$C(t) = C_0 * e^{-(kt)}$	$k=0.0035$ (algodão)
Emissão N ₂ O	$N_2O = 0.01N_{min} + 0.02N_{org} + 0.5 * PPT$	PPT=precipitação	Emissão N ₂ O	$N_2O = 0.01N_{min} + 0.02N_{org} + 0.5 * PPT$	PPT=precipitação
Crescimento	$dB/dt = PAR * f(T) * f(U) * f(N)$	PAR=radiação	Crescimento	$dB/dt = PAR * f(T) * f(U) * f(N)$	PAR=radiação

Tabela 5. Esta tabela apresenta o processo de calibração de três parâmetros fundamentais para modelagem agrícola no cultivo de algodão.

CALIBRAÇÃO			
Parâmetro	Valor Inicial	Valor Calibrado	Sensibilidade
Taxa decomposição	0.0035	0.0028	Alta
Eficiência H ₂ O	3.2 kg/mm	3.5 kg/mm	Média
Fator N ₂ O	0.012	0.010	Crítica

Tabela 6. Esta tabela compara três estratégias de manejo para a cultura do algodão, avaliando seu desempenho ambiental e econômico.

CENÁRIOS			
Cenário	CO ₂ eq (t/ha)	Δ Carbono	Custo (R\$/ha)
Business-as-usual	4.8	+0.2	1,200
Otimizado DAYCENT	3.1 (-35%)	+0.8	1,050 (-12%)
Máxima mitigação	2.3 (-52%)	+1.2	1,380 (+15%)

Aplicação no Algodão:

- **Otimização de adubação nitrogenada:** O modelo pode prever a liberação de N de resíduos culturais e a demanda da planta em diferentes estádios fenológicos.
- **Sequestro de carbono:** Simula o acúmulo de carbono orgânico no solo em diferentes sistemas de manejo (ex.: plantio direto vs convencional).

Exemplo Prático:

Na região do Cerrado brasileiro, o DAYCENT foi calibrado para prever que a adoção de rotação algodão-milho-feijão com plantio direto pode aumentar o estoque de carbono no solo em 0,8 t C/ha/ano.

5.2 Modelo DNDC

Foco Principal:

Avaliação detalhada das emissões de:

- Óxido nitroso (N₂O)
- Metano (CH₄)
- Dióxido de carbono (CO₂)

Tabela 7. Esta tabela compara o impacto ambiental de diferentes fontes de nitrogênio no cultivo de algodão.

EMISSIONES DE GEE (KG CO ₂ EQ/HA/ANO) EM DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO				
Fonte de Nitrogênio	N ₂ O (kg/ha)	CH ₄ (kg/ha)	CO ₂ (kg/ha)	Total CO ₂ eq*
Uréia	5.2	0.8	1200	2800
Nitrato de Amônio	3.1	0.6	900	1900
Biofertilizantes	1.8	0.3	600	1100
<i>Sem fertilizante</i>	0.9	0.2	400	600
*CO ₂ eq calculado com potenciais de aquecimento global (GWP): N ₂ O = 265, CH ₄ = 28 (IPCC 2013).				

Tabela 8. Esta tabela compara o desempenho ambiental e hídrico de diferentes sistemas de irrigação no cultivo de algodão.

EMISSIONES POR SISTEMA DE IRRIGAÇÃO				
Sistema	N ₂ O (kg/ha)	CH ₄ (kg/ha)	Eficiência Hídrica	Observações
Aspersão	4.5	1.2	60%	Maior perda de água e emissões
Gotejamento	2.3	0.5	85%	Redução de 50% N ₂ O vs aspersão
Subsuperfície	1.8	0.4	90%	Menor oxidação do solo

Tabela 7. Esta tabela compara o impacto ambiental de diferentes práticas de manejo de resíduos do algodão, considerando emissões de GEE e sequestro de carbono.

EMISSIONES DE GEE (KG CO ₂ EQ/HA/ANO) EM DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO				
Fonte de Nitrogênio	N ₂ O (kg/ha)	CH ₄ (kg/ha)	CO ₂ (kg/ha)	Total CO ₂ eq*
Uréia	5.2	0.8	1200	2800
Nitrato de Amônio	3.1	0.6	900	1900
Biofertilizantes	1.8	0.3	600	1100
<i>Sem fertilizante</i>	0.9	0.2	400	600
*CO ₂ eq calculado com potenciais de aquecimento global (GWP): N ₂ O = 265, CH ₄ = 28 (IPCC 2013).				

Tabela 8. Esta tabela compara três estratégias eficazes para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) no cultivo de algodão, destacando seus impactos ambientais e benefícios agrônômicos complementares

MANEJO DE RESÍDUOS CULTURAIS E EMISSÕES			
Prática	N ₂ O (kg/ha)	CO ₂ (kg/ha)	Sequestro de C (kg/ha)
Queima	3.0	2500	-500 (perda)
Incorporação ao solo	2.1	1800	+200
Compostagem	1.5	1200	+350

Aplicações no Algodão:

- **Avaliação de estratégias de mitigação:** Compara emissões entre diferentes fontes de nitrogênio (uréia vs nitrato vs biofertilizantes), sistemas de irrigação (aspersão vs gotejamento) e manejo de resíduos culturais.

6. MANEJO BIOLÓGICO VS. MANEJO QUÍMICO: IMPACTOS NAS EMISSÕES DE GEE

O manejo químico tradicional, baseado no uso intensivo de fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas, está diretamente associado a altas emissões de GEE. A produção de fertilizantes nitrogenados, por exemplo, consome grandes quantidades de energia fóssil e libera óxido nitroso (N₂O), um gás com potencial de aquecimento global 298 vezes maior que o CO₂.

Já o manejo biológico, que prioriza o uso de bioinsumos e práticas agroecológicas, apresenta um perfil de emissões significativamente menor. Microrganismos fixadores de nitrogênio, como as bactérias do gênero *Rhizobium*, podem substituir parcial ou totalmente os fertilizantes nitrogenados, reduzindo as emissões de N₂O. Além disso, o uso de biopesticidas e extratos vegetais diminui a dependência de defensivos químicos, cuja produção e aplicação também contribuem para as emissões de GEE.

Estudos recentes têm demonstrado que sistemas agrícolas baseados em bioinsumos podem reduzir as emissões de GEE em até 30% em comparação com sistemas convencionais. Essa redução é ainda mais significativa quando combinada com práticas como plantio direto, rotação de culturas e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que promovem a conservação do solo e o sequestro de carbono.

7. ESTUDOS E INICIATIVAS NA ÁREA

A pesquisa científica sobre a relação entre bioinsumos e redução de GEE tem avançado rapidamente. No Brasil, instituições como a Embrapa (Empresa Brasileira de

Pesquisa Agropecuária) e universidades públicas têm liderado estudos que demonstram os benefícios do manejo biológico para a mitigação das mudanças climáticas.

Um exemplo é o projeto "Carbono Neutro", que visa quantificar o potencial de sequestro de carbono em sistemas agrícolas que utilizam bioinsumos. Outra iniciativa relevante é o programa "ABC Cerrado", que promove a adoção de práticas sustentáveis, incluindo o uso de biofertilizantes, em propriedades rurais do bioma Cerrado.

No cenário internacional, a União Europeia e os Estados Unidos têm investido em pesquisas sobre bioinsumos e sua relação com a redução de GEE. Esses estudos têm servido de base para a criação de políticas públicas e certificações que incentivam a adoção de práticas sustentáveis na agricultura.

8. O CASO DO ALGODÃO BRASILEIRO: SUSTENTABILIDADE E MERCADO GLOBAL

O algodão brasileiro é um exemplo emblemático de como a integração entre bioinsumos e redução de GEE pode agregar valor a uma cadeia produtiva. O Brasil é o maior exportador mundial de algodão, com 70% da produção destinada ao mercado externo. No entanto, a entrada do produto em alguns países tem sido dificultada por barreiras comerciais e taxas de importação elevadas, sob o argumento de questões ambientais.

Nesse contexto, a certificação sustentável tornou-se um diferencial competitivo. Selos como o "Algodão Brasileiro Responsável" (ABR) e o "Better Cotton Initiative" (BCI) exigem a adoção de práticas que reduzam o impacto ambiental, incluindo a diminuição das emissões de GEE. O uso de bioinsumos na cultura do algodão pode contribuir significativamente para o cumprimento desses requisitos, uma vez que reduz a pegada de carbono da produção e promove a saúde do solo.

Estudos de caso na cadeia do algodão brasileiro têm demonstrado que propriedades que adotam bioinsumos e práticas de manejo biológico conseguem reduzir as emissões de GEE em até 25%, além de aumentar a produtividade e a qualidade da fibra. Esses resultados têm sido fundamentais para garantir o acesso do algodão brasileiro a mercados exigentes, como os da Europa e da Ásia.

9. BENEFÍCIOS PARA O AGRICULTOR E O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

A adoção de bioinsumos e práticas de manejo biológico traz benefícios diretos para o agricultor e para o agronegócio brasileiro como um todo. Em primeiro lugar, reduz os custos de produção, uma vez que diminui a dependência de insumos químicos caros e importados. Em segundo lugar, aumenta a resiliência dos sistemas agrícolas, tornando-os menos vulneráveis às mudanças climáticas e às oscilações do mercado.

Além disso, a certificação sustentável obtida por meio da redução das emissões de GEE abre portas para mercados globais mais exigentes, aumentando a competitividade do agronegócio brasileiro. No caso do algodão, por exemplo, a adoção de bioinsumos pode ajudar a consolidar o Brasil como líder mundial em produção sustentável, atraindo novos compradores e aumentando a rentabilidade do setor.

10. CONCLUSÃO

A integração de bioinsumos e práticas de manejo biológico constitui uma estratégia robusta e eficaz para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura brasileira, alinhando-se simultaneamente aos imperativos de produtividade e sustentabilidade. Os dados evidenciam que a substituição parcial ou total de fertilizantes nitrogenados sintéticos e defensivos químicos por bioinsumos (microrganismos fixadores de nitrogênio, biofertilizantes e extratos vegetais) reduz as emissões diretas e indiretas de GEE, com potencial de redução de até 30% nas emissões totais do sistema, conforme demonstrado em estudos da Embrapa em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).

No contexto específico da cadeia do algodão, que responde por 70% das exportações brasileiras, a adoção dessas tecnologias gera um diferencial competitivo crítico. A redução de 25% nas emissões de GEE observada em propriedades que adotam manejo biológico, combinada com o aumento do sequestro de carbono no solo (entre 0,5 e 2 t CO₂/ha/ano), viabiliza o cumprimento de requisitos de certificações internacionais rigorosas, como o selo Algodão Brasileiro Responsável (ABR) e a Better Cotton Initiative (BCI). Isso permite o acesso a mercados premium na Europa e na Ásia, onde barreiras comerciais baseadas em critérios ambientais são cada vez mais frequentes.

A validação desses impactos por meio de metodologias quantitativas — Balanço de Carbono, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e modelagem com os algoritmos DAYCENT e DNDC — fornece a base científica necessária para políticas públicas e certificações. Os modelos simulados indicam que, em cenários otimizados, a adoção de rotação de culturas (algodão-milho-braquiária) e plantio direto pode aumentar o estoque de carbono no solo em 0,8 t C/ha/ano e reduzir as emissões de N₂O em 35%, sem comprometer a produtividade, que tende a crescer em ciclos de manejo prolongado (até +17% em 10 anos).

Para o agronegócio e o agricultor, a transição ao manejo biológico traduz-se em redução de custos de produção (diminuição da dependência de insumos químicos importados), aumento da resiliência dos sistemas frente às mudanças climáticas e valorização econômica da fibra. Portanto, a sinergia entre bioinsumos e redução de GEE não é apenas uma alternativa ambiental, mas um modelo de produção resiliente e economicamente viável, essencial para consolidar o

Brasil como líder global na produção de algodão sustentável e garantir a segurança alimentar e a competitividade do setor.

11. REFERÊNCIA

ABRAPA. **Associação Brasileira dos Produtores de Algodão**. Algodão brasileiro: sustentabilidade e mercado global. 2022.

CABALLERO, J. Bioinsumos são fundamentais para uma agricultura de baixa emissão de gases de efeito estufa e para a segurança alimentar e nutricional no Brasil. **La Clima**, 2023. Disponível em: <https://www.laclima.org/publicacoes/bioinsumos-s%C3%A3o-fundamentais-para-uma-agricultura-de-baixa-emiss%C3%A3o-de-gases-de-efeito-estufa-e-para-a-seguran%C3%A7a-alimentar-e-nutricional-no-brasil>. Acesso em: 23 março. 2025.

CORRÊA, A. **Metodologia para quantificação de GEE e avaliação do ciclo de vida na cultura do algodão**. 2025.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Bioinsumos e redução de emissões de GEE na agricultura. 2021.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Ilustração do ciclo do carbono na agricultura. 2024.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Sustentabilidade na produção de algodão: desafios e oportunidades globais. 2020.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. Relatório de Avaliação Global sobre Mudanças Climáticas**. Genebra: IPCC, 2019.

LAL, R. **Soil carbon sequestration and bioinsumos: a global perspective**. 2020.
PROENÇA, S. G.; THAME, D. Bioinsumos são fundamentais para uma agricultura de baixa emissão de gases de efeito estufa e para a segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 88, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/75688/42095/375085>. Acesso em: 23 março. 2025.