



Certificações de agricultura mitigadora de gases de efeito estufa (GEE): O caso da soja

Certifications of agriculture that mitigates greenhouse gas (GHG) Emissions: The case of Soybean

 Marcelo Hiroshi Hirakuri ¹,  Alcido Elenor Wander ¹

RESUMO

O agronegócio é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil. Contudo, este setor da economia tem sido impactante nas emissões internas de Gases de Efeito Estufa (GEE), de tal modo que suas cadeias produtivas devem implementar soluções para mitigá-las. Nesse contexto, este estudo buscou apresentar uma estrutura-base para ser utilizada na construção de certificações de agricultura mitigadora de GEE e analisar sua aplicação no Programa Soja Baixo Carbono (PSBC), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). A estrutura-base foi elaborada a partir da avaliação de conteúdos relacionados à temática de aquecimento global e sustentabilidade. O resultado da análise indicou a robustez da estrutura-base desenvolvida, que se aderiu integralmente ao escopo do PSBC, de mitigação de GEE na produção de soja. Nesse sentido, tal estrutura pode ser adotada na construção de certificações de agricultura de baixo carbono, de culturas relevantes do agronegócio nacional, sobretudo aquelas com sistemas de cultivo similares ao sistema de cultivo da soja.

Palavras-chave: Agronegócio; Gases de efeito estufa; Mercados de certificação; Pegada de carbono; Sistemas sustentáveis.

ABSTRACT

Agribusiness is fundamental to Brazil's socioeconomic development. However, this sector of the economy has had a significant impact on domestic greenhouse gas (GHG) emissions, requiring its production chains to implement solutions to mitigate them. In this context, this study sought to present a framework-base for use in developing GHG-mitigating agriculture certifications and analyze its application in the Low Carbon Soybean Program (LSCP) of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa). The framework-base was developed based on the evaluation of content related to the topic of global warming and sustainability. The results of the analysis indicated the robustness of the developed framework-base, which fully adhered to the LSCP's scope of GHG mitigation in soybean production. Therefore, this framework can be adopted in the development of low-carbon agriculture certifications for crops relevant to Brazilian agribusiness, especially those with cultivation systems similar to system of soybean cultivation.

Keywords: Agribusiness; Greenhouse gases; Certification markets; Carbon footprint; Sustainable systems.

¹ Universidade Federal de Goiás;

Autor correspondente Marcelo Hiroshi Hirakuri: marcelo.hirakuri@embrapa.br

Recebido em: 30/10/2025. Aceito em: 09/06/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado. 

1 INTRODUÇÃO

O Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) apontou que a temperatura média no decênio 2011-2020 foi 1,1°C superior à temperatura média do período 1850-1900 (IPCC, 2023). Este quadro decorre do uso insustentável de energia e solo, e a queima de combustíveis fósseis, o que gera a necessidade urgente de se implementar ações em larga escala para a mitigação de gases de efeito estufa (GEE).

As emissões de GEE no Brasil alcançaram 2,3 bilhões de CO₂ equivalente em 2023 (SEEG, 2025). A Mudança de Uso da Terra e Floresta (MUTF) foi a principal responsável por estas emissões, respondendo por 46,25 % deste total, com a agricultura assumindo a segunda posição (27,49%). Enfatiza-se que, além de ser um dos principais emissores individuais, a agricultura também contribui com as emissões de MUTF, quando há transição de determinado uso (e.g. floresta nativa) para produção agropecuária. Nesse sentido, a mitigação de GEE, a partir da agricultura, será essencial para que o país alcance o compromisso firmado de reduzir suas emissões entre 59% e 67%, até 2035, comparado aos níveis de 2005 (Brasil, 2024).

Para que a agricultura gere um impacto relevante em mitigação de GEE, será importante a realização de programas voltados para este fim, tanto na pecuária, que possui uma ampla área de pastagem (Mapbiomas, 2024), quanto na produção de espécies vegetais com extensas áreas de cultivo, como soja, milho, cana-de-açúcar, trigo, feijão, algodão, arroz e sorgo, entre outros (Conab, 2025).

Nesse contexto, o presente estudo consiste em uma Pesquisa Baseada em Design (do inglês, *Design-Based Research* – DBR), que aborda a elaboração de uma estrutura-base para ser adotada na construção de certificações de agricultura mitigadora de GEE e que foi aplicada no Programa Soja Baixo Carbono (PSBC), coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Dessa forma, este trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada e exploratória, com uma abordagem qualitativa que adota análise bibliográfica e documental.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste estudo exigiu um processo de aprendizagem ligado à problemática da mudança do clima, para o desenvolvimento de uma solução, que consiste na estrutura-base para certificação de agricultura mitigadora de GEE. Dessa forma, foi adotada a Pesquisa Baseada em Design (DBR), abordagem metodológica que objetiva resolver problemas práticos reais, por meio de um projeto (design) voltado para o desenvolvimento de um produto ou geração de conhecimento técnico-científico (Reis; Strohschoen, 2023). Dessa forma, como preconizado pela DBR, as etapas metodológicas adotadas neste artigo abrangeram:

- 1) Análise do problema prático: estudo sobre o avanço do debate em mudança do clima, para se ter uma visão crítica do contexto em torno do produto a ser construído;
- 2) Aporte de conhecimento: entendimento sobre definição e aplicação de indicadores de sustentabilidade e construção de certificações agrícolas;
- 3) Desenvolvimento da solução pretendida: construção da estrutura-base, a partir do aporte de conhecimento adquirido, do estabelecimento de premissas e de ciclos de ajustes;
- 4) Estudo de caso: reflexões em torno da solução gerada, pensando em desenvolvimentos e refinamentos futuros.

2.1 O AVANÇO DO DEBATE SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA

O Ocidente entendia o ambiente como fonte inesgotável de recursos, o que dificultava o avanço de debates sobre mudanças do clima (Basso, 2022). Porém, a repercussão de possíveis efeitos dos pesticidas sintéticos na saúde humana e no meio ambiente, gerada a partir do livro “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson (Carson, 1969), combinada a desastres ambientais, como o naufrágio do petroleiro *Torrey Canyon* (1967), o incêndio no Rio *Cuyahoga* (poluído por petróleo) (1969) e a eutrofização do Lago *Erie* (1969), fizeram emergir uma nova visão, de preocupação com os recursos ambientais. A Figura 1 traz uma linha do tempo dos principais eventos e discussões sobre mudanças do clima, a partir deste ponto temporal.

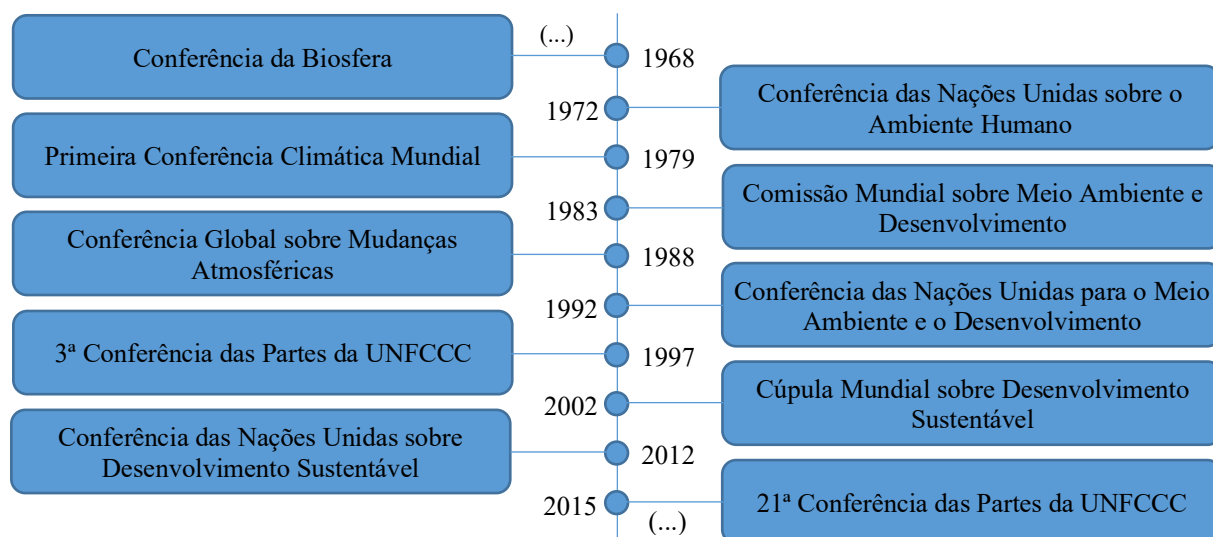


Figura 1. Linha do Tempo dos principais eventos sobre mudanças do clima.

Fonte: elaboração própria.

A Conferência da Biosfera, realizada em 1968, em Paris (França), focou o uso e a conservação da biosfera, e apresentou como resultado, o lançamento do programa “Homem e Biosfera”, em 1971 (Carapiá, 2021; Campelo Junior; Wiziack, 2023). Já a

Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em 1972, em Estocolmo (Suécia), foi a primeira tentativa de tornar a questão ambiental, parte da agenda política das nações e de aproximar direitos humanos e meio ambiente (Ferreira; Carneiro, 2025). Por sua vez, a Primeira Conferência Climática Mundial, realizada em 1979, em Genebra (Suíça), examinou as relações entre clima e atividades humanas, concluindo que as emissões de dióxido de carbono poderiam causar efeitos de longo prazo sobre o clima (Leite, 2015).

Em 1983, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (do inglês, *World Commission on Environment and Development* - WCED). Em 1987, a WCED publicou o relatório “*Our Common Future*”, que definiu desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades (Silva *et al.*, 2022). Dois tratados relevantes foram assinados durante o período 1983-1987 (Carapiá, 2021; Teodoro; Queiroz; Gonçalves, 2024): (a) Convenção de Viena para a proteção da Camada de Ozônio (1985), definindo princípios para promover mecanismos de proteção ao ozônio estratosférico e instar governos a adotarem medidas protetivas jurídico-administrativas apropriadas; (b) Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (1987), definindo medidas, como progressiva redução da produção e consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDO), até sua total eliminação.

A Conferência Global sobre Mudanças Atmosféricas aconteceu em junho de 1988, em Toronto (Canadá), onde definiu-se diretrizes para a preservação do meio ambiente (Leite, 2015; Duarte, 2022). Em 1992, foi realizada a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO-92), no Rio de Janeiro (Brasil), onde houve a definição de princípios gerais sobre meio ambiente e a criação da Agenda 21, plano de ação para alcançar o desenvolvimento sustentável até a virada do século (Basso, 2022). Em 1997, ocorreu a terceira Conferência das Partes da UNFCCC (COP3), em Quioto (Japão), onde foi aprovado o Protocolo de Quioto, o qual determinou metas de redução de GEE para os países desenvolvidos. Por conta de entraves e resistência dos países, o protocolo entrou em vigor somente em 2005, sendo expirado em 2012 (Duarte, 2022).

A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (CMDS), conhecida como Rio+10, foi realizada em 2002, em Joanesburgo (África do Sul). O evento debateu questões sociais, como erradicação da pobreza e saneamento básico. Já a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, denominada Rio+20, ocorreu em 2012, no Rio de Janeiro (Brasil). O evento debateu a economia verde e estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável. Ambos os eventos foram marcados pela falta de compromissos ambientais reais (Dagostim; Jorge, 2022). Por fim, a vigésima primeira Conferência das Partes da UNFCCC (COP21), ocorreu em 2015, em Paris (França), onde foi aprovado o Acordo de Paris, referendado em novembro de 2016. Este trouxe o compromisso de limitar o aquecimento médio do planeta em 1,5 °C até 2100 (Trindade; Alvim, 2022).

2.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E CERTIFICAÇÕES AGRÍCOLAS

Um indicador consiste em uma medida que quantifica ou qualifica determinado insumo, resultado, característica ou desempenho de um processo, serviço, produto ou organização. Dessa forma, um conjunto de indicadores proporciona verificar se os objetivos estabelecidos estão sendo bem conduzidos (avaliação de processo) ou alcançados (avaliação de resultados) (Minayo, 2009; Loiola *et al.*, 2024). De modo geral, os indicadores realizam duas funções básicas (Bonnetfooy; Armijo, 2005):

- Descritiva: agregar informações sobre uma determinada realidade empírica, situação social ou ação pública como, por exemplo, famílias em situação de pobreza ou outros desafios que exijam intervenções para um processo de mudança;
- Valorativa (avaliativa): agregar informações que proporcionem juízo de valor sobre o objeto de estudo, o que permitirá mensurar resultados, desempenho ou impacto de um programa ou projeto.

Dessa forma, um indicador de sustentabilidade consiste em uma ferramenta quantitativa ou qualitativa, definida a partir da seleção de critérios, que tem o propósito de indicar a condição de um determinado sistema, em relação às bases e metas determinadas para avaliação de sua sustentabilidade (Moura, 2002; Loiola *et al.*, 2024). Nesse sentido, um conjunto de indicadores de desenvolvimento sustentável tem o objetivo de mensurar a sustentabilidade no uso e gestão de recursos sociais, ambientais e econômicos, que estão relacionados ao desenvolvimento de regiões definidas.

Para a construção da estrutura-base pretendida, foi necessário o aporte de conhecimento sobre análises contextuais a partir de indicadores de desenvolvimento sustentável, adequados à realidade brasileira, assim como o aporte de conhecimento referente aos programas nacionais de certificação. Nesse sentido, foi realizado um extenso processo de pesquisa documental, no qual foram identificadas três estruturas de indicadores de desenvolvimento sustentável, que constituem as principais referências para a realização de estudos referentes ao tema. Da mesma forma, foi realizado um levantamento que identificou os principais programas de certificação e de produção sustentável adotados no Brasil.

Algumas organizações públicas do Brasil realizaram análises contextuais a partir de indicadores de desenvolvimento sustentável (Figura 2). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estudou a sustentabilidade no desenvolvimento de algumas regiões do País, nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional, adotando 63 indicadores, divididos em temas (IBGE, 2015). Já o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (Iparades) analisou a sustentabilidade no desenvolvimento de bacias hidrográficas do Paraná, a partir de 21 indicadores, nas dimensões ambiental, social e econômica (Iparades, 2022). Por sua vez, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) estudou a eficiência produtiva e sustentabilidade do setor agropecuário brasileiro (Vieira Filho, 2022), a partir de um conjunto de indicadores de produtividade e desenvolvimento sustentável. Ao todo, foram

relatados 51 indicadores usados neste diagnóstico, agrupados em agronegócio, produção agropecuária e sustentabilidade.

Indicadores desta natureza são essenciais para a definição de ações que buscam atender as demandas atuais de populações regionais, sem comprometer a possibilidade de se atender as necessidades das gerações futuras, como os programas de produção sustentável. No Brasil, alguns programas de certificação e de produção sustentável adotam indicadores ou itens a serem alcançados, para atribuir um padrão mínimo de qualidade a um determinado produto agrícola, com destaque para Certificação *Round Table on Responsible Soy* (RTRS), Certificação Algodão Brasileiro Responsável (Certificação ABR) e o padrão Bonsucro para cana-de-açúcar.

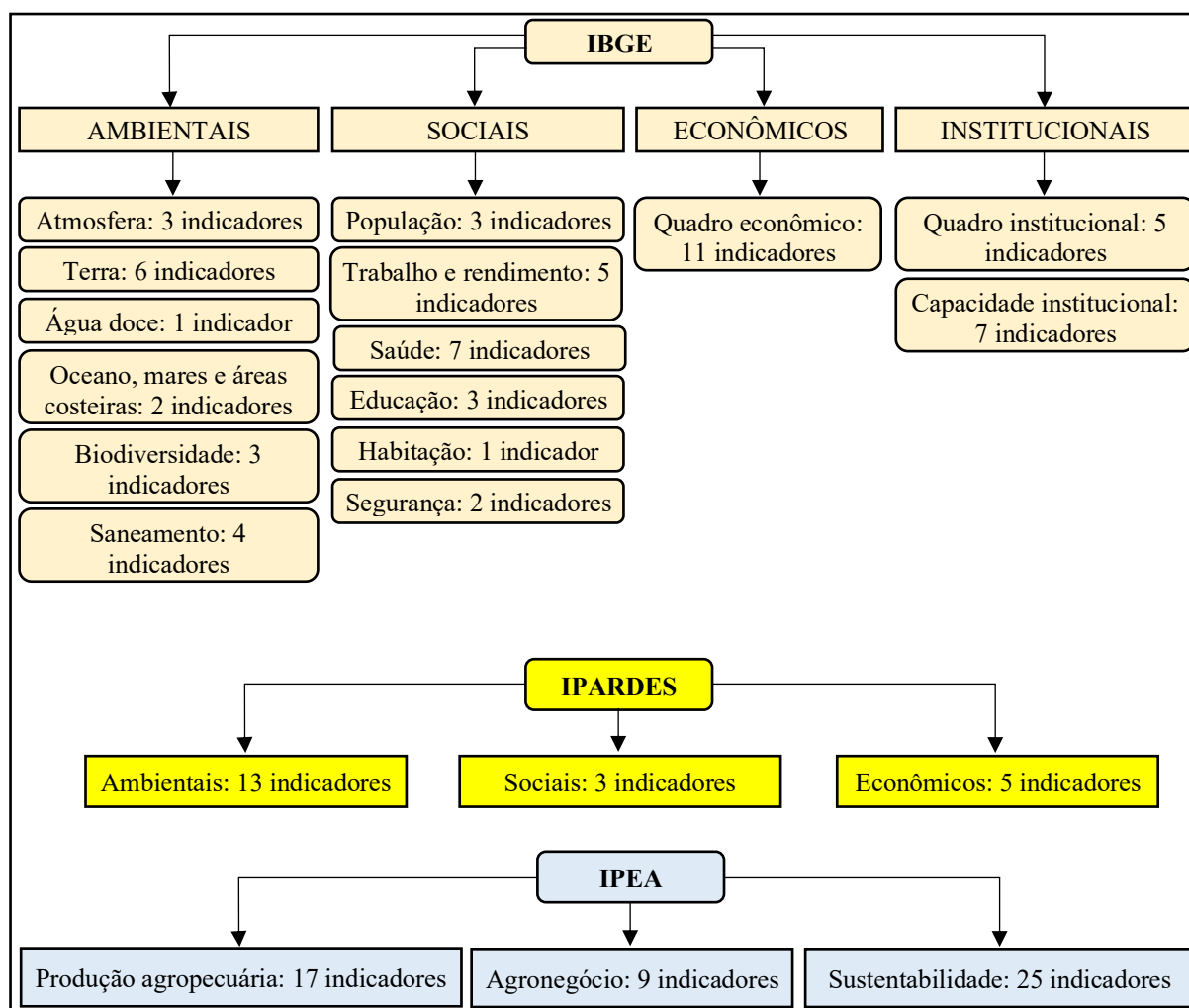


Figura 2. Estruturação dos indicadores de desenvolvimento sustentável do IBGE, Ipardes e IPEA.
Fonte: elaboração própria, a partir de IBGE (2015), Ipardes (2022) e Vieira Filho (2022).

A Certificação RTRS visa à produção sustentável de soja, adotando 105 indicadores, definidos a partir de cinco princípios (RTRS, 2021) (Figura 3), enquanto a Certificação ABR busca a adoção incremental de boas práticas de produção de algodão, por meio de 183 itens, estabelecidos a partir de oito critérios (ABRAPA, 2024). Já o padrão Bonsucro para cana-de-açúcar busca a produção sustentável desta cultura agrícola, adotando 69 indicadores, definidos a partir de cinco princípios (Bonsucro, 2023).

Certificação RTRS	Cumprimento da Legislação e Boas Práticas Empresariais: 6 indicadores
	Condições de Trabalho responsáveis: 31 indicadores
	Relações Responsáveis com a Comunidade: 13 indicadores
	Responsabilidade Ambiental: 20 indicadores
	Boas Práticas Agrícolas: 35 indicadores
Certificação ABRAPA	Contrato de trabalho: 31 itens
	Proibição do trabalho infantil: 2 itens
	Proibição do trabalho análogo à escravidão: 3 itens
	Liberdade de associação sindical: 4 itens
	Proibição de discriminação de pessoas: 2 itens
	Segurança, saúde e meio ambiente do trabalho rural: 109 itens
	Desempenho ambiental: 11 itens
	Boas práticas agrícolas e industriais: 21 itens
Padrão de produção BONSUCRO	Avaliar e gerenciar riscos ambientais, sociais e de direitos humanos: 9 indicadores
	Respeitar os direitos trabalhistas e os padrões de segurança e saúde ocupacional: 23
	Gerenciar as eficiências de insumos, produção e processamento: 11 indicadores
	Gerenciar ativamente a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos: 21 indicadores
	Melhorar continuamente outras áreas essenciais do negócio: 5 indicadores

Figura 3. Programas de certificação e produção sustentável.

Fonte: elaboração própria, a partir de RTRS (2021), Bonsucro (2023) e ABRAPA (2024).

Enfatiza-se que as seguintes propriedades dos indicadores devem ser adequadamente tratadas para que estes programas sejam bem sucedidos (Iser; Zanin, 2022; Ferreira, 2023): (a) relevância para o público alvo; (b) relação com o escopo e objetivos (especificidade); (c) comunicabilidade e facilidade de compreensão; (d) abrangência territorial ou populacional (cobertura); (e) representação regionalizada de grupos sociodemográficos (desagregabilidade); (f) linha de base para comparação ao longo do tempo (comparabilidade); (g) estabilidade de séries históricas (historicidade); (h), periodicidade de análise e atualização (temporalidade); (i) exequibilidade e obtenção dos dados (factibilidade); (j) coerência dos dados e do processo de quantificação ou qualificação (confiabilidade); (k) captação de variações no fenômeno de interesse (sensibilidade); (l) custo-benefício na obtenção dos dados (economicidade).

2.3 ESTRUTURA-BASE DESENVOLVIDA

Além das análises descritas nas seções anteriores, foram estudadas duas técnicas de mensuração de balanço de carbono na agricultura, adotadas pela Embrapa, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (Müller *et al.*, 2022) e GHG *Protocol* (2015), para entender a dinâmica dos cálculos envolvidos. Adicionalmente, foi realizada a análise de conteúdo de eventos realizados pelo Programa Soja Baixo Carbono (PSBC), para identificação de questões passíveis de serem incluídas em uma certificação de sistema de produção agrícola. Após a conclusão deste processo, cinco premissas foram estabelecidas para desenvolvimento da estrutura-base:

- 1) Flexibilidade: capacidade de se adequar a um baixo número de indicadores/itens, ou elevado número destes, pois muitas vezes não se sabe, a priori, a dimensão que terá uma certificação;
- 2) Aplicabilidade: capacidade de ser aplicável ao imóvel rural ou ao sistema de produção adotado em áreas produtivas (e.g. talhões);
- 3) Objetividade: capacidade de incluir indicadores/itens mensuráveis (quantificados) ou comprováveis (qualificados), reduzindo subjetividades na avaliação ou auditoria;
- 4) Mensurabilidade: capacidade de incluir indicadores/itens para calcular o balanço de carbono na atividade produtiva (quantificação), para avaliar o atendimento ao escopo de mitigação de GEE;
- 5) Negociabilidade: capacidade de representar práticas sustentáveis mitigadoras de GEE, para se alinhar às oportunidades de negócios, como a agricultura regenerativa e os mercados de inserção e de créditos de carbono.

A partir das premissas estabelecidas e do arcabouço de conhecimento gerado ao longo de todo o processo construtivo, foi elaborada a estrutura-base para ser adotada na construção de certificações de agricultura mitigadora de GEE (Figura 4). Esta abrange três níveis de componentes: (1) diretrizes de adequação (imóvel rural e sistema de produção); (2) critérios de elegibilidade (CE); (3) indicadores de alcance mensuráveis ou comprováveis (IAMC).

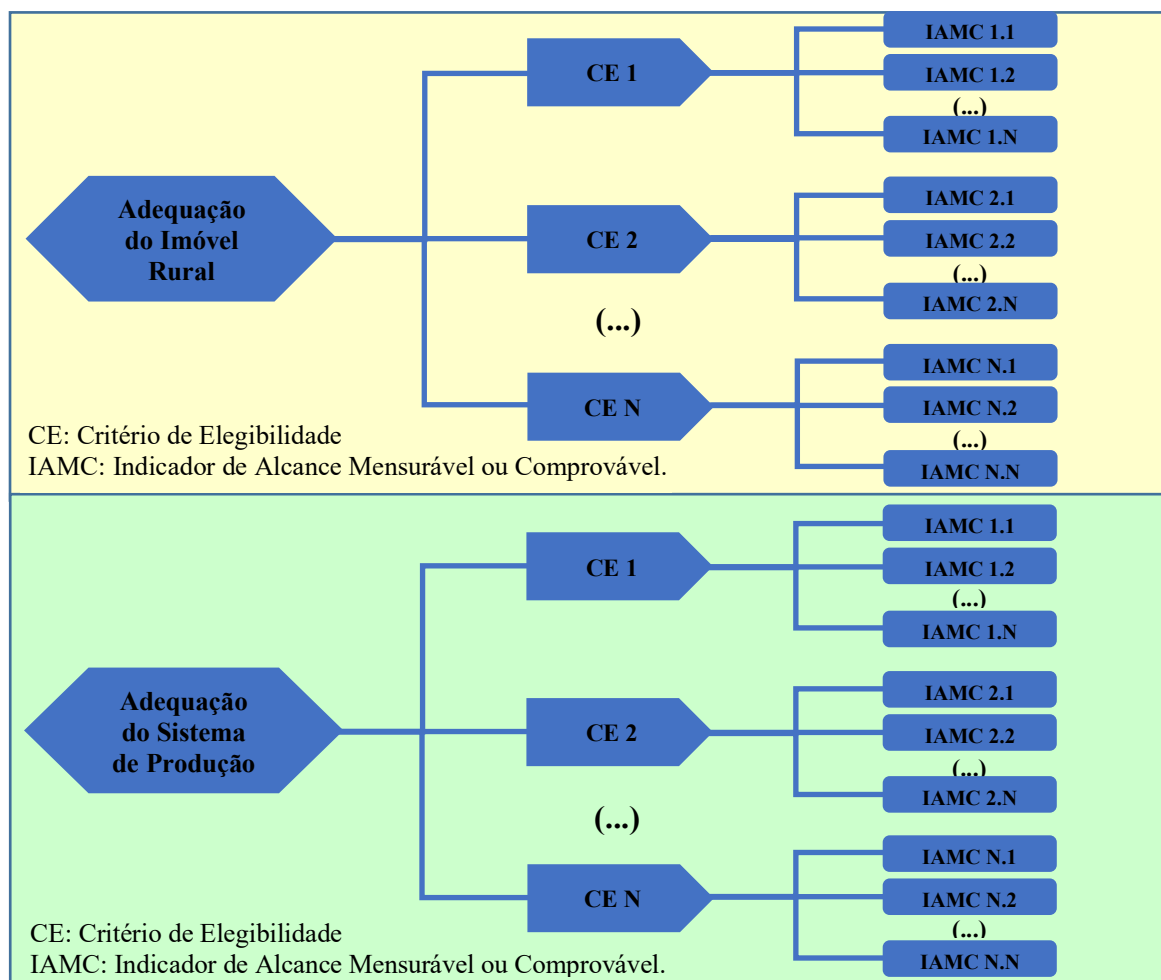


Figura 4. Estrutura-base para a construção de certificações de agricultura mitigadora de GEE.
Fonte: elaboração própria.

O primeiro nível da estrutura-base é formado pelas diretrizes de adequação do imóvel rural e do sistema de produção (Figura 4). Como um de seus significados na língua portuguesa, diretriz representa “linhas gerais que orientam um projeto” (Diretriz, 2025). Outro significado da palavra consiste em “conjunto de instruções para se levar a termo um negócio ou uma empresa”. Nesse contexto, as diretrizes de adequação da referida estrutura representam um conjunto de regras a serem atendidas para a concessão de um selo de certificação.

As diretrizes de adequação do sistema de produção têm um alvo geográfico, referente a uma área produtiva, total ou parcial (e.g. talhão), o que se denomina escala pontual (Rodrigues *et al.*, 2024). Por sua vez, as diretrizes de adequação do imóvel rural transcendem esta escala pontual, mas não ultrapassam os limites do imóvel rural, ou seja, são aplicadas à escala local.

O segundo nível da estrutura é formado pelos CE, que materializam o conjunto de regras a serem atendidas por cada uma das duas diretrizes descritas (Figura 4). Por exemplo, para um imóvel rural pode ser criado um critério de elegibilidade que reúna regras trabalhistas, enquanto para o sistema de produção, pode ser criado um critério de elegibilidade para abranger regras sobre o balanço de GEE na produção agrícola. No terceiro nível da estrutura, cada indicador de alcance proporcionará a avaliação qualitativa (função descritiva, como legalização de imóvel rural) ou quantitativa (função valorativa, como emissão de GEE na produção de um cultivo agrícola) de um aspecto analisado. Dessa forma, o conjunto de IAMC de um critério de elegibilidade permitirá avaliar se este foi ou não atendido.

Um ponto a ser ressaltado é que os indicadores de alcance devem ser mensuráveis ou comprováveis. Dito de outra forma, um possível indicador, que não possa ser estimado ou qualificado, não atende à premissa de objetividade e não deve ser incluído na certificação a ser construída a partir da estrutura-base desenvolvida.

Além disso, enfatiza-se que os criadores de certificações que adotarem a estrutura-base proposta, devem tratar adequadamente as diferentes propriedades dos indicadores, descritas na seção anterior. Nesse sentido, será importante adotar marcos metodológicos (Sanchez e Matos, 2012), que consistem em estruturas analíticas flexíveis para fundamentar o processo de análise da sustentabilidade da atividade econômica alvo, o que dará suporte para a seleção, desenho, interpretação e elaboração deste tipo de indicador. A próxima seção contempla um estudo caso, com a aplicação da estrutura-base na construção da Certificação SBC, fazendo uma análise do papel das suas cinco premissas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES: ESTUDO DE CASO

Em 2021, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) lançou o Programa Soja Baixo Carbono (PSBC), sua primeira iniciativa estruturada focada na mitigação de GEE em lavouras. Além deste objetivo principal, o PSBC persegue dois objetivos específicos para a produção de soja: (a) promover a adoção de práticas agrícolas

sustentáveis; (b) agregar valor ao grão para acesso aos mercados sustentáveis. Nesse contexto, o PSBC certificará talhões que mitiguem a emissão de GEE na produção de soja, em relação aos sistemas regionais, e que atendam a um conjunto de indicadores, definido com base no melhor conhecimento científico disponível. Assim, a partir da safra 2026/2027, a Embrapa operacionalizará a Certificação Soja Baixo Carbono (Certificação SBC), que consiste em uma certificação voluntária, privada e independente (de terceira parte) da produção de soja. Para maior entendimento do modelo de negócios da Certificação SBC, consultar Debiasi *et al.* (2023).

A primeira versão da Certificação SBC foi construída pelo Grupo Gestor do PSBC (Debiasi *et al.*, 2023), a partir da estrutura-base desenvolvida neste trabalho, descrita na Figura 4. Conforme recomendação do Código de Boas Práticas da ISEAL *Alliance* (ISEAL, 2014), sua construção adotou um processo participativo, que abrangeu discussões com pesquisadores da Embrapa, *stakeholders* e técnicos das empresas apoiadoras do PSBC.

A primeira versão da Certificação SBC está descrita na Figura 5. A referida certificação foi lançada em dezembro de 2023, está em processo de validação e deverá ser operacionalizada em 2026 (SBC, 2025). Ao todo, a Certificação SBC possui seis Critérios de Elegibilidade (CE) e 15 Indicadores de Alcance Mensuráveis ou Comprováveis (IAMC) (Debiasi *et al.*, 2023).

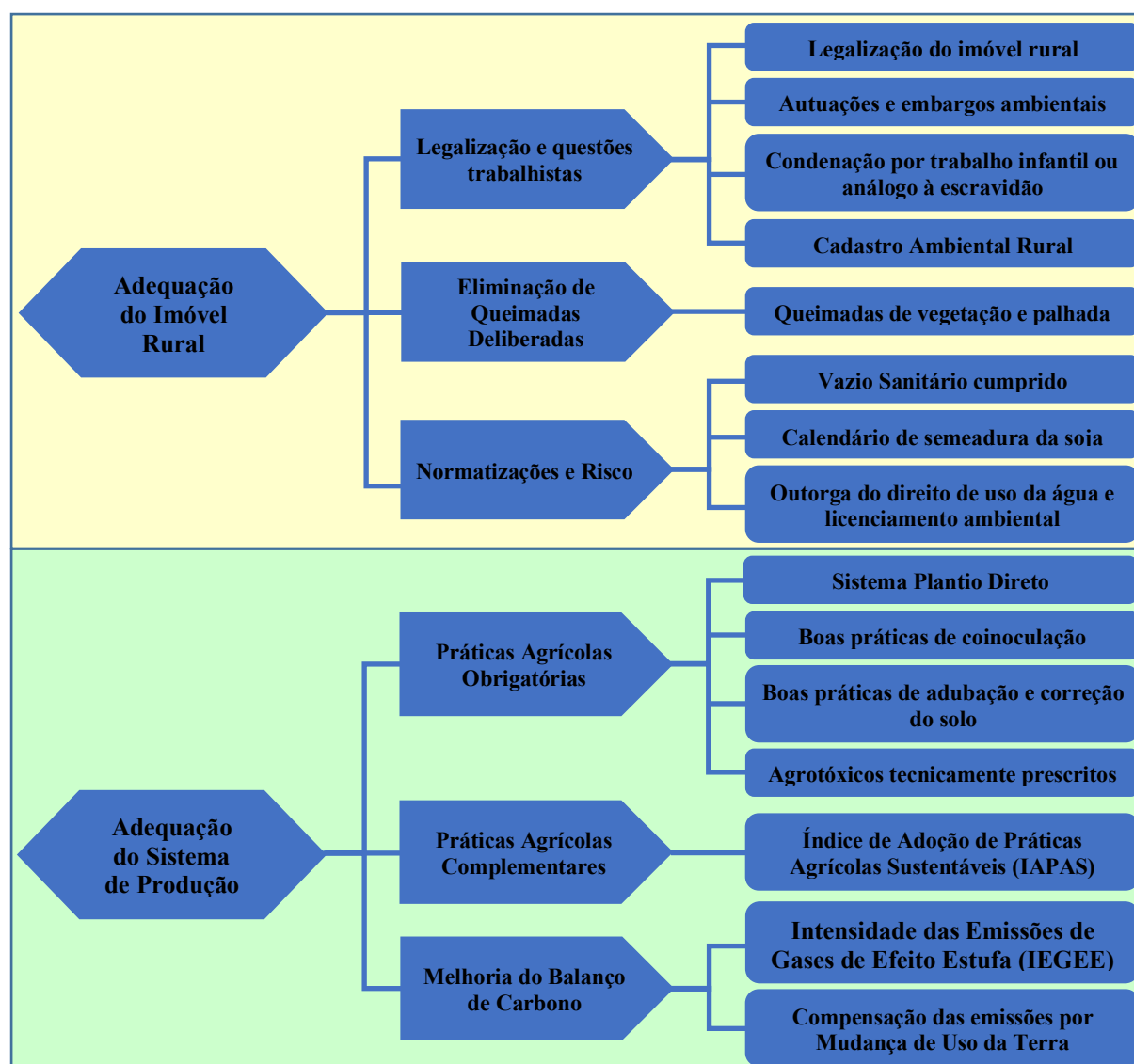


Figura 5. Certificação Soja Baixo Carbono (Certificação SBC).
Fonte: Debiasi *et al.* (2023).

A Diretriz de Adequação do Sistema de Produção está intimamente ligada ao escopo do PSBC (Figura 5), de mitigação de GEE na produção de soja, o que tornou obrigatória a sua presença na Certificação SBC. Por outro lado, a Diretriz de Adequação do Imóvel Rural surge como requisito de responsabilidade socioambiental, exigido pelos participantes do processo criativo (Debiasi *et al.*, 2023). Como relatado por estes atores, mesmo que uma certificação tenha um escopo específico (e.g. a mitigação de GEE), alguns requisitos mínimos vinculados ao imóvel rural precisam ser considerados para não a descredibilizar (e.g. erradicação do trabalho infantil), o que evidenciou a importância de uma estrutura-base (Figura 4) com CE aplicáveis tanto para o sistema de produção (escala pontual) quanto para o imóvel rural (escala local) (premissa de aplicabilidade).

O Grupo Gestor do PSBC construiu uma versão inicial sucinta (apenas 15 indicadores de alcance) para atender às demandas essenciais dos *stakeholders* (Figura 5). A Certificação SBC poderá ser atualizada ao longo de sua validação e operacionalização, com possíveis mudanças na estrutura dos IAMC, caso seja necessário (Debiasi *et al.*, 2023). Isso evidencia a necessidade de que a estrutura-base adotada (Figura 4) seja flexível, para permitir exclusão, inclusão e atualização de indicadores de alcance (premissa de flexibilidade).

A Diretriz de Adequação do Imóvel Rural abrange três CE a serem atendidos para a obtenção da Certificação SBC (Figura 5): Legalização e Questões Trabalhistas; Eliminação de Queimadas Deliberadas; Normatizações e Risco. A Diretriz de Adequação do Sistema de Produção também possui três CE a serem atendidos para a obtenção da referida certificação: Práticas Agrícolas Obrigatórias; Práticas Agrícolas Complementares; Melhoria do Balanço de Carbono. Cada um dos seis CE descritos possui um conjunto de IAMC.

O Quadro 1 indica que todos os IAMC estabelecidos pelo Grupo Gestor do PSBC possuem fontes e objetos bem definidos de mensuração ou comprovação (premissa de objetividade). Isso reduz a subjetividade e estabelece maior tecnicismo ao processo de auditoria, o que confere maior credibilidade à certificação. Adicionalmente, favorece o tratamento adequado de algumas propriedades dos indicadores, sobretudo comparabilidade, historicidade, factibilidade e confiabilidade.

Quadro 1. Indicadores de alcance da Certificação SBC.

DIRETRIZ DE ADEQUAÇÃO DO IMÓVEL RURAL	
Indicador de Alcance	Mensuração ou Comprovação
Legalização do imóvel rural	Escritura Pública lavrada, com matrícula registrada e atualizada no Cartório de Registro de Imóveis.
Autuações e embargos ambientais	Informações e certidões do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).
Condenação por trabalho infantil ou análogo à escravidão	Informações e certidões de plataformas do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).
Cadastro Ambiental Rural	Informações da plataforma do Governo Federal que indica a situação do Cadastro Ambiental Rural.

Queimadas de vegetação e palhada	Dados de plataformas como o Programa Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
Vazio Sanitário da soja	Atendimento à normatização anual definida pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).
Calendário de semeadura da soja	Atendimento à normatização anual definida pelo MAPA.
Outorga do direito de uso da água e licenciamento ambiental	Documentação de outorga e licenciamento ambiental.
DIRETRIZ DE ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	
Indicador de Alcance	Mensuração ou Comprovação
Sistema Plantio Direto (SPD)	Adoção do SPD, conforme um conjunto de regras que está sendo definido pelo PSBC.
Boas práticas de coinoculação	Adoção da coinoculação com <i>Azospirillum</i> na soja, conforme um conjunto de regras que está sendo definido pelo PSBC.
Boas práticas de adubação e correção do solo	Análise química do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, conforme regras que estão sendo definidas pelo PSBC.
Agrotóxicos tecnicamente prescritos	Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) dos produtos por um profissional legalmente habilitado.
Índice de Adoção de Práticas Agrícolas Sustentáveis (IAPAS)	Ferramenta de cálculo que está sendo desenvolvida pela Embrapa, a partir de estudos científicos sobre a agricultura brasileira.
Intensidade das Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE)	Ferramentas de cálculo que estão sendo desenvolvidas pela Embrapa, seguindo diretrizes internacionalmente estabelecidas.
Compensação das emissões por Mudança de Uso da Terra	Ferramentas de cálculo que estão sendo desenvolvidas pela Embrapa, seguindo diretrizes internacionalmente estabelecidas.

Fonte: elaboração própria, a partir de Debiasi *et al.* (2023).

A estrutura-base (Figura 4) propiciou à Certificação SBC (Figura 5) abranger práticas agrícolas sustentáveis (premissa de negociabilidade) e correlacioná-las à mitigação de GEE no talhão candidato (premissa de mensurabilidade), a partir de ferramentas cálculo. Além de ser essencial para que sojicultores com talhões certificados acessem oportunidades de negócios (e.g. mercados de inserção e de créditos de carbono e de agricultura regenerativa), as premissas de mensurabilidade e negociabilidade propiciaram definir indicadores que possuem relação com o escopo do PSBC (propriedade de especificidade) e que tenham a capacidade de captar as variações no balanço de GEE (propriedade de sensibilidade), em decorrência das práticas adotadas no cultivo da soja.

Conforme verificado neste estudo de caso, a estrutura-base desenvolvida (Figura 4) foi bem sucedida no intuito de dar suporte à construção da Certificação SBC. Isso indica que esta estrutura também pode ser adotada na construção de certificações de baixo carbono de outras culturas agrícolas comerciais, sobretudo aquelas com sistemas mecanizados de cultivo similares ao cultivo de soja. Como exemplo, podem ser citados os cultivos mecanizados de trigo, milho, sorgo, algodão, feijão, aveia e canola, entre outros.

4 CONCLUSÃO

O agronegócio do Brasil é notoriamente conhecido pela sua eficiência produtiva e relevância para o desenvolvimento socioeconômico do País. Contudo, este setor tem sido muito impactante nas emissões nacionais de GEE. Para que o agronegócio também seja reconhecido pela eficiência na dimensão ambiental e contribua para o combate ao aquecimento global, a adoção de práticas agrícolas mitigadoras de GEE será primordial. Dessa forma, certificações de sistemas produtivos que abranjam produtos com extensa área produtiva, como a soja, podem ter grande contribuição para mitigação de GEE no Brasil.

Conforme verificado neste estudo de caso, a estrutura-base desenvolvida foi aplicada de forma bem-sucedida na construção de uma certificação para a produção de soja. As premissas de flexibilidade, aplicabilidade, objetividade, mensurabilidade e negociabilidade, deram plasticidade à referida estrutura, de tal forma que esta também pode ser adotada em outras culturas agrícolas comerciais relevantes para o agronegócio brasileiro. Inclusive, enfatiza-se que a Embrapa lançou o Programa Trigo Baixo Carbono (PTBC), em 2023. A definição de critérios da certificação do PTBC está sendo realizada conjuntamente pela Embrapa Trigo, Embrapa Soja e outras unidades da Empresa, de tal forma que a estrutura-base criada neste estudo tem sido usada como um dos referenciais do PTBC.

Não obstante a plasticidade da estrutura-base seja fundamental para permitir sua adoção na construção de certificações, enfatiza-se que os responsáveis pelo processo construtivo devem adotar processos sistemáticos (marcos metodológicos) para a definição dos indicadores de alcance. Isso que permitirá analisar o contexto envolvido no setor alvo, tratar adequadamente as propriedades dos indicadores e dimensionar a certificação (definir seu tamanho).

A estrutura-base desenvolvida possibilitou a inserção de indicadores de alcance mensuráveis ou comprováveis (IAMC) associados à mensuração do balanço de GEE na produção de soja, assim como IAMC que abrangem práticas mitigadoras de GEE. Ressalta-se que, ao invés do balanço de GEE, poderia ser criado um critério de elegibilidade vinculado a outras categorias de impacto como balanços do uso de água, de poluição hídrica e de uso de energia, assim como práticas mitigadoras do uso de água ou energia e de poluição hídrica. Ou seja, a estrutura desenvolvida pode ser adaptada para outros tipos de escopo.

Por fim, apesar de a estrutura-base ser desenvolvida com duas diretrizes de adequação, não há restrições em adaptá-la para abranger outras. Por exemplo, em um modelo de negócio verticalizado, poderia haver um critério de adequação do processo de transformação, com a inclusão de critérios de elegibilidade que considerem aspectos como armazenagem, beneficiamento e transformação, entre outros. Dito de outra forma, não há fatores impeditivos de se adaptar a estrutura para contemplar mais diretrizes de adequação.

6 REFERÊNCIAS

- ABRAPA. **Guia Técnico de Conformidade**: Programa Algodão Brasileiro Responsável – safra 2023/2024. [S.l.]: ABRAPA, 2024. Disponível em: <https://abapa.com.br/wp-content/uploads/2024/01/guia-tecnico-de-conformidade-programa-algodao-brasileiro-responsavel.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.
- BASSO, L. **De lateral a transversal: a trajetória das questões ambientais no âmbito da OCDE**. [S.l.]: IPEA, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11821/5/BEPI_34_Artigo_1.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.
- BONNEFOY; J. C., ARMIJO; M. **Indicadores de desempeño en el sector público**. Santiago do Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social, 2005. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/bb0ea741-8963-4bd7-92b7-0a7b7cea6738/content>. Acesso em: 21 out. 2025.
- BONSUCRO. **Padrão de Produção Bonsucro**. [S.l.]: BONSUCRO, 2023. Disponível em: https://bonsucro.com/wp-content/uploads/SCH_Bonsucro-Production-Standard-v5.2-July-2023-PT.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.
- BRASIL. **Meta da NDC brasileira para 2035 acelera velocidade de redução de emissões**: Projeções de cenários com diferentes trajetórias consideraram a realidade brasileira e o melhor custo x efetividade das medidas de mitigação; dados embasaram tomada de decisão. [S.l.]: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/11/meta-da-ndc-brasileira-para-2035-acelera-velocidade-de-reducao-de-emissoes>. Acesso em: 21 out. 2025.
- CAMPELO JUNIOR, M. V.; WIZIACK; S. R. de C. Educação ambiental e o movimento ambientalista: marcos históricos no Brasil. **Revista de História da UEG**, v. 12, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.31668/revistaueg.v12i2.13895>.
- CARAPIÁ, A. P. **Excesso de tratados e suas consequências negativas**: explorando o conceito de treaty congestion na realidade normativa brasileira da proteção contra o desmatamento e mudanças climáticas. 2021. 105 f. Dissertação (Mestrado em Direito e Desenvolvimento) - Escola de Direito da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2021.
- CARSON, R. **A Primavera Silenciosa**. 2. ed. São Paulo: Pórtico, 1969.
- CONAB. **Séries históricas**. [S.l.]: CONAB, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas>. Acesso em: 21 out. 2025.

DAGOSTIM, N. E.; JORGE, G. B. 2022. Conferências Internacionais de Sustentabilidade. In: SIMPÓSIO DE SUSTENTABILIDADE, 9., 2022, Cascavel. **Anais [...]** Cascavel: Fundação Assis Gurgacz, 2022. p. 1-12.

DEBIASI, H.; NOGUEIRA, M. A.; CARNEVALLI, R. A.; HIRAKURI, M. H.; RUFINO, C. F. G.; NEPOMUCENO, A. L. **Diretrizes Técnicas para Certificação Soja Baixo Carbono – Primeira Aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1160299/1/DOCUMENTOS-457.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

DIRETRIZ. In: **MICHAELIS**, Dicionário brasileiro da Língua portuguesa. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br>. Acesso em: 21 out. 2025.

DUARTE, W. de J. B. Tratados e Conferências Climáticas: Uma Cronologia Geral e da Participação do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 8, p. 110-132, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v8i8.6635>.

FERREIRA, R. D. Desenvolvimento de Indicadores de Gestão Pública para Melhoria de Programas e Serviços: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista FT**, v. 27, ed. 121, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7825699>.

FERREIRA, D. B.; CARNEIRO, P. A. R. O Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado e a Dignidade da Pessoa Humana. **Revista de Direito Brasileira**, v. 38, n. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2358-1352/2024.v38i14.8430>.

GHG PROTOCOL. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura**. [S.l.]: Greenhouse Gas Protocol, 2015. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/Metodologia.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**: 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IPARDES. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável por bacias hidrográficas no estado do Paraná**. 5. ed. Curitiba: Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2022.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Genebra: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

ISEAL. **Setting Social and Environmental Standards** - ISEAL Code of Good Practice - version 6.0. Londres: ISEAL Alliance, 2014. 24 p. Disponível em: <https://isealliance.org/get-involved/resources/iseal-standard-setting-code-good-practice-version-60>. Acesso em: 21 out. 2025.

ISER, F.; ZANIN, R. B. Validação de Indicadores para Avaliar o Desempenho da Gestão de Cursos de Graduação em Instituições de Ensino Superior. **Revista Educação em Debate**, v. 44, n. 89, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36517/eemd.v44i89.83139>.

LEITE, J. C. Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 3, p. 643–677, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662015000300008>.

LOIOLA, M. V. do C.; SILVA, M. A. V.; SOUSA, V. R.; LINS, L. S. C.; SANTANA, L. A. C. de. Sustentabilidade e o uso de indicadores sustentáveis como método de Educação Ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 19, n. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2024.v17.16083>.

MAPBIOMAS. **Pastagem, soja e cana ocupam 77% da área de agropecuária no Brasil**. [S.l.]: Mapbiomas, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/12/06/pastagem-soja-e-cana-ocupam-77-da-area-de-agropecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 21 out. 2025.

MINAYO, M. C. de S. **Construção de indicadores qualitativos para avaliação de mudanças**. Revista Brasileira de Educação Médica, Fundação Oswaldo Cruz, v. 33, supl. 1, p. 83-91, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-55022009000500009>.

MOURA, L. G. V. **Indicadores para avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção da agricultura familiar: o caso dos fumicultores de Agudo-RS**. Porto Alegre. 2002. 251 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, 2002.

MÜLLER, F. L. D.; BECKER JÚNIOR, A. M.; MORAES, J. A. R.; MACHADO, E. L. Revisão sistemática do gerenciamento coletivo de resíduos sólidos industriais com unidade de compostagem associada ao processamento do tabaco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 5, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210128>.

REIS, E. F.; STROHSCHOEN, A. A. G. Design-Based Research para o Desenvolvimento de Conceitos Matemáticos e Ativação do Pensamento Metacognitivo no Ensino de Biologia. **Revista Dynamis**, v. 29, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7867/1982-4866.2023v29n2p61-77>.

RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; PINTO, D. M.; BARROS, I. de; RAMOS, N. P.; OLIVEIRA, P. de; NOVAES, R. M. L.; FLORES, R. M. V. Avaliação de impactos e indicadores de sustentabilidade para gestão ambiental de atividades rurais. In: MORANDI, M. A. B.; PACKER, A. P.; MENDES, R.; TANURE, J. P. M.; ANDRADE, C. A. de; MENEZES, C. **Agricultura & meio ambiente: a busca pela sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, 2024. Parte 2, cap.11. p. 391-410.

RTRS. **Padrão RTRS de Produção de Soja Responsável**. [S.l.]: Round Table on Responsible Soy, 2021. Disponível em: <https://responsiblesoy.org/wp-content/uploads/2023/03/Padrao-RTRS-de-Producao-de-Soja-Responsavel-V4.0.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

SANCHEZ, G. F.; MATOS, M. M. Marcos Metodológicos para Sistematização de Indicadores de Sustentabilidade da Agricultura. **(Syn)thesis**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 255-266, 2012. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/synthesis/article/view/7380/5364>. Acesso em: 21 out. 2025.

SBC. **Programa Soja Baixo Carbono**: Valorização do Sistema de Produção Sustentável de Soja. Soja Baixo Carbono, 2025. Disponível em: <https://sbc.cnpso.embrapa.br/pt/sobre>. Acesso em: 21 out. 2025.

SEEG. **Observatório do Clima**. [S.l.]: Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, 2025. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br>. Acesso em: 21 out. 2025.

SILVA, A. C. M. da; MENDES, E. S.; DINIZ, R. P.; MACHADO, Y. V. S.; SOUZA, F. de J. S. de. Responsabilidade ambiental e sustentabilidade: questões éticas em um cenário de busca pelo progresso. **Latin American Journal of Development**, v. 4, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.46814/lajdv4n3-031>.

TEODORO, R. de K. de F.; QUEIROZ, Z. A. K. de.; GONÇALVES; A. F. A Emenda Kigali e a Interligação entre os Regimes de Proteção à Camada de Ozônio e das Mudanças Climáticas. **Revista Eletrônica Leopoldianum**, v. 50, n. 141, 2024. DOI: <https://doi.org/10.58422/releo2024.e1596>.

TRINDADE, C. S. da; ALVIM, A. M. O Acordo de Paris e as emissões de gases: impactos sobre a produção de suínos no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas (PPP)**, n. 61, 2022. DOI: <https://doi.org/10.38116/ppp61art3>.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Indicadores de Produtividade e Sustentabilidade do Setor Agropecuário Brasileiro**. Brasília: IPEA, 2022. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/pubpreliminar/220329_indicadores%20produtividade.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.