

## CAPÍTULO 1

---

### **Degradação ambiental pelo fator antrópico e formas de mitigação: uma breve análise da agropecuária e seus impactos no meio ambiente**

João Otávio da Silva Malaquias, Sillas Ramos Mariano, Jhonnatas Mariano Gonçalves, Geisa Corrêa Louback, Rodrigo Leonardo de Paula Dias Mendonça, Sandra Regina dos Santos Moreira de Oliveira, Luana Soares Egidio, Roberta Cunha Vieira, Aline Marchiori Crespo, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c1>

#### **Resumo**

No decorrer do desenvolvimento da agropecuária após a execução do modelo de produção da "Revolução Verde", as ações humanas exerceram uma influência consistentemente prejudicial no meio ambiente. Em um curto período, as paisagens e habitats foram remodelados e degradados, resultando em pressões sucessivas sobre diversas espécies, algumas das quais chegaram à extinção. Isso culminou em desequilíbrios nos ecossistemas, aumento das temperaturas globais e contribuição para a degradação do solo, da água e as mudanças climáticas. Em geral, os principais fatores foram a expansão da agropecuária em grande escala, que aumentou significativamente as emissões de gases do efeito estufa (GEE), a poluição do solo e da água, e a exploração ilegal e seletiva de madeira. No entanto, é importante reconhecer o papel fundamental da agropecuária na segurança alimentar global, especialmente diante da projeção de uma população mundial de 9 bilhões de pessoas até 2050. Inovações na agricultura irrigada e de sequeiro, juntamente com avanços tecnológicos na produção animal, têm possibilitado mais colheitas por ano e reduzido o tempo necessário para atingir o peso de mercado dos animais. Esses avanços, no entanto, apresentam desafios complexos, pois a humanidade depende exclusivamente dos recursos naturais para seu desenvolvimento. Países em desenvolvimento e subdesenvolvidos estão particularmente propensos a sentir os impactos desses eventos, incluindo possível escassez de tais recursos. Diante desse cenário, é imperativo buscar formas de mitigar os impactos ambientais causados pelo fator humano na agricultura e pecuária, visando a segurança alimentar global, a sustentabilidade do planeta e o bem-estar das gerações futuras.

**Palavras-chave:** Agropecuária. Degradação ambiental. Segurança Alimentar. Sustentabilidade. Gestão ambiental.

## 1. Introdução

O conceito de meio ambiente é abrangente e requer uma compreensão multidisciplinar e holística, envolvendo a interação direta entre os seres vivos e o ambiente: a “Ecologia” se encarrega de fazer esse estudo e avaliação. A relação homem-natureza é considerada interdependente, destacando a impossibilidade de analisar essa conexão de maneira isolada (BRANCO, 1995; LEITE; AYALA, 2000; OLIVEIRA, 2017).

Apesar de a Terra possuir uma diversidade extensa de ecossistemas, habitats naturais e espécies, algumas ainda desconhecidas, a humanidade enfrenta atualmente uma das maiores crises ambientais já vivenciadas. A relação entre o homem e a natureza nunca esteve tão abalada e, por conseguinte, tão incerta como no Século XXI. Essa degradação ambiental teve origem no final do Século XVII e início do Século XVIII, durante o período conhecido como “Revolução Industrial”, intensificando-se nos séculos subsequentes, conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1.** Degradação ambiental causada pelo modelo de desenvolvimento pós-revolução industrial: rompimento barragem Brumadinho, MG. Fonte: EL PAIS, 2021.

Ao longo desse processo, as atividades humanas têm exercido uma influência sistemática e negativa no meio ambiente. Em um curto período, os seres humanos remodelaram e degradaram paisagens e habitats, impondo pressões sucessivas em diversas espécies, algumas das quais chegaram à extinção. Isso resultou em desequilíbrios nos ecossistemas, aumento das temperaturas globais e contribuição para processos de degradação do solo, da água e mudanças climáticas (RIPPLE et al., 2017; SUŠA, 2019).

No Brasil, dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de julho de 2020 indicaram um aumento de 64% na degradação da Amazônia Legal Brasileira (ALB), com uma supressão de 6.484 km<sup>2</sup> de vegetação nativa no Cerrado. Durante o período de agosto de 2019 a junho de 2020, ocorreu o desmatamento de 7.540 km<sup>2</sup> de mata nativa, marcando o pior quantitativo em 11 anos (INPE, 2019; 2020).

De acordo com o INPE e o IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia), o desmatamento estimado na Amazônia Legal Brasileira de agosto de 2021 a julho de 2022 foi de 11.568 km<sup>2</sup>, representando uma redução de 11,27% em relação ao ano anterior. No entanto, o IMAZON reporta que a Amazônia enfrentou seu quinto recorde anual consecutivo de desmatamento em 2022, com uma perda de 10.573 km<sup>2</sup> de cobertura florestal. Os estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso foram os maiores desmatadores em 2022, contribuindo com 37%, 24% e 15% do desmatamento total da região, respectivamente (IMAZON, 2022; INPE, 2022).

Em geral, a maior parte da degradação ambiental está relacionada ao fator humano, com a expansão agropecuária em larga escala sendo um dos principais motivos. Isso resulta em significativa emissão de gases do efeito estufa (GEE), poluição do solo e da água, além da exploração ilegal e seletiva de madeira (FERREIRA et al., 2005; ARRAES et al., 2012; COSTA; VENZKE, 2017).

Contudo, apesar de contribuir para processos de degradação e apresentar riscos para a saúde humana, recursos naturais e clima, a agropecuária desempenha um papel fundamental na segurança alimentar global, especialmente diante da projeção de uma população mundial de 9 bilhões de pessoas até 2050 (FAO, 2017). Novas tecnologias, como inovações no cultivo irrigado e sequeiro e avanços na produção animal, têm permitido maior

produtividade. Apesar disso, a produção global de alimentos continua dependendo de fatores complexos como clima, temperatura, energia, água e nutrientes (FUGLIE, 2018).

Diante desses desafios, pensar em formas de mitigar os impactos ambientais causados pelo fator humano na agricultura e pecuária é crucial para a segurança alimentar global, a saúde do planeta e o bem-estar das futuras gerações. Este capítulo explorará medidas mitigadoras para o desenvolvimento ambiental, bem como alternativas agroecológicas e de gestão ambiental visando uma agropecuária mais sustentável e ecologicamente responsável.

## 2. Degradação ambiental por práticas agropecuárias

A degradação ambiental causada por práticas agropecuárias é uma preocupação global, posto que desempenham um papel fundamental na economia e na segurança alimentar, mas também podem ter impactos negativos significativos no meio ambiente (Figura 2).



**Figura 2.** Degradação Ambiental associada à pecuária - comunidade Andorinha, Jerônimo Monteiro, ES. Fonte: Acervo Jhonnatas Mariano Gonçalves, 2023.

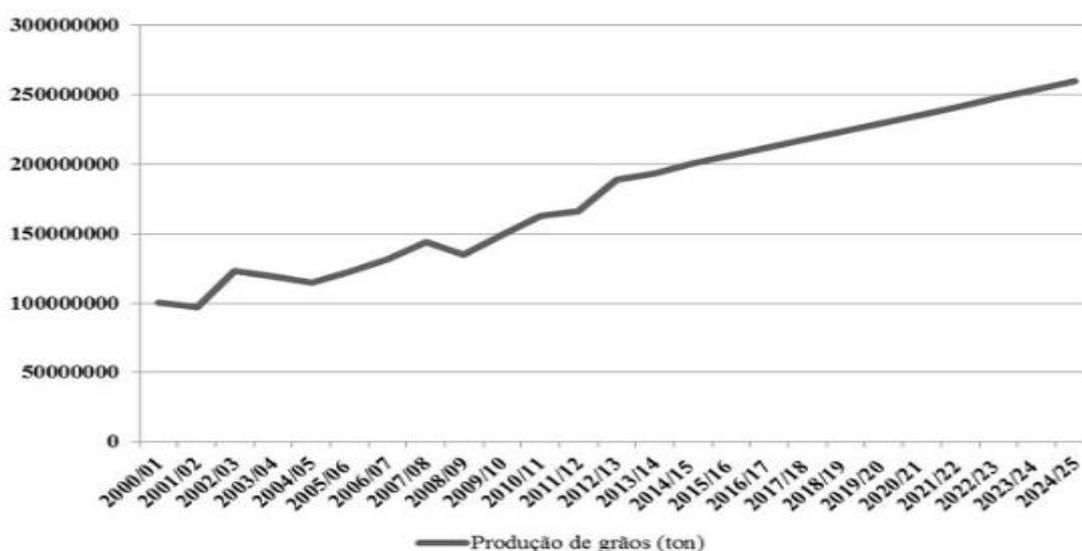
### 2.1. Degradação ambiental por práticas agrícolas

O crescimento da população mundial e sua densidade demográfica concentrada nas cidades aumentará consideravelmente a demanda por

alimentos ao longo dos anos (BEDDINGTON et al., 2012). Segundo dados da ONU (2019), a população mundial deve crescer em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, chegando a marca de 9,7 bilhões de pessoas em 2050.

Além disso, o relatório concluiu que a expectativa de vida da população mundial está aumentando, sendo que até 2050 nove países terão mais da metade do crescimento estimado para a população mundial: Índia, Nigéria, Paquistão, República Democrática do Congo, Etiópia, Tanzânia, Indonésia, Egito e Estados Unidos. Diante destes dados preocupantes, o aumento da produção agrícola é uma situação inadiável para a segurança alimentar mundial (SAATH; FACHINELLO, 2018; ONU, 2019).

O Brasil, anteriormente o terceiro maior exportador do mundo, fechou o ano de 2019 ao lado dos EUA, como a maior potência agrícola mundial, com uma produção recorde de grãos: 240 milhões de toneladas, sendo, portanto, um dos principais responsáveis pela segurança alimentar do planeta (Figura 3) (FAO, 2017). A partir de 1990 até o ano de 2017, o saldo da balança agrícola do país aumentou quase dez vezes, tornando o setor agrícola o principal responsável pelo superávit da balança comercial brasileira. Somente o agronegócio em 2019 representou 21% do PIB brasileiro, totalizando R\$ 322 bilhões (IBGE, 2020).



**Figura 3.** Evolução da Produção de Grãos no Brasil (milhões de toneladas) no período entre 2000/01 à 2024/25. Fonte: Patrícia Guarnieri, 2023.

Entretanto, com o aumento das exportações surgiram também novas demandas, tais como: mais terras agricultáveis; maior consumo de água; correção e adubação do solo; e, principalmente, o uso crescente de fertilizantes químicos (KASTNER et al., 2012; WITHERS et al., 2018).

O uso de fertilizantes foi crucial para o crescimento da agricultura brasileira, ao ponto de os agroquímicos nitrogenados representarem cerca de 40% da oferta alimentar global. No entanto, o Brasil se tornou um dos maiores consumidores mundiais de fertilizantes, com a produção interna incapaz de suprir a demanda local (RATTER, 1997; EMBRAPA, 2020).

Embora a agricultura seja o impulsionador da economia brasileira, os danos ao meio ambiente associado a essa prática podem ser permanentes, suscitando preocupações na comunidade científica (EMBRAPA, 2020; IBGE, 2020). As mudanças climáticas, principalmente relacionadas à emissão de gases do efeito estufa (GEE) de origem antropogênica, têm sido objeto frequente de estudo (OLIVEIRA et al., 2013; LAWRENCE; VANDECAR, 2015; ARIAS et al., 2020; AYALA-FILHO et al., 2020; SPERA et al., 2020).

Os impactos climáticos da transformação da floresta amazônica em pastagens ou áreas de cultivo de soja foram investigados usando mapas de cobertura de terra em cenários futuros de desmatamento. Os resultados indicaram aumento da temperatura superficial, redução da evapotranspiração e diminuição da precipitação, o que poderia transformar a floresta em savana (SAMPAIO et al., 2007; SANTOS, 2017).

Conforme pesquisas conduzidas por Santos (2017), o desmatamento na região amazônica tem como uma de suas principais causas as atividades humanas, tais como agricultura (método do corte e queima) e a pecuária. A expansão da criação de gado leva à conversão parcial da floresta em pastagens, contribuindo, juntamente com a remoção de madeira, para emissões estimadas entre 0,6 e 0,9 (+/- 0,5) gigatoneladas de carbono por ano. Essa contribuição representa, com base em dados recentes, entre 15% e 35% das emissões médias globais de combustíveis fósseis durante os anos da década de 1990.

Outro estudo conduzido por Spera et al. (2020) utilizou o modelo de Pesquisa e Previsão do Tempo para realizar simulações climáticas ao longo de 15 anos em todo o Brasil, considerando seis cenários de cobertura da terra:

- ✓ Antes do desmatamento extensivo;
- ✓ Cenário observado em 2016;
- ✓ Cerrado substituído por monocultura (soja);
- ✓ Cerrado substituído por agricultura de dupla safra de monoculturas (soja-milho);
- ✓ Leste da Amazônia substituído por monocultura; e
- ✓ Leste da Amazônia substituído por agricultura de dupla safra.

Foi demonstrado que, em todos os cenários analisados, a temperatura no Cerrado brasileiro excedeu o limite crítico para o cultivo do milho, resultando em uma significativa redução na fração evaporativa. Além disso, observou-se uma queda de até 8% na produção de milho, evidenciando que o desmatamento alterou o clima na região, prejudicando as safras de sequeiro (SPERA et al., 2020).

Esses estudos destacam claramente que o aumento do desmatamento e a possível desertificação contraditoriamente comprometem a segurança alimentar. Isso ocorre porque as culturas agrícolas são vulneráveis e sensíveis aos impactos das mudanças climáticas, resultando em uma redução na produção, ao contrário do aumento esperado. Na região do MATOPIBA<sup>1</sup> é visível esses avanços das áreas agrícolas e suas externalidades negativas (Figura 4).

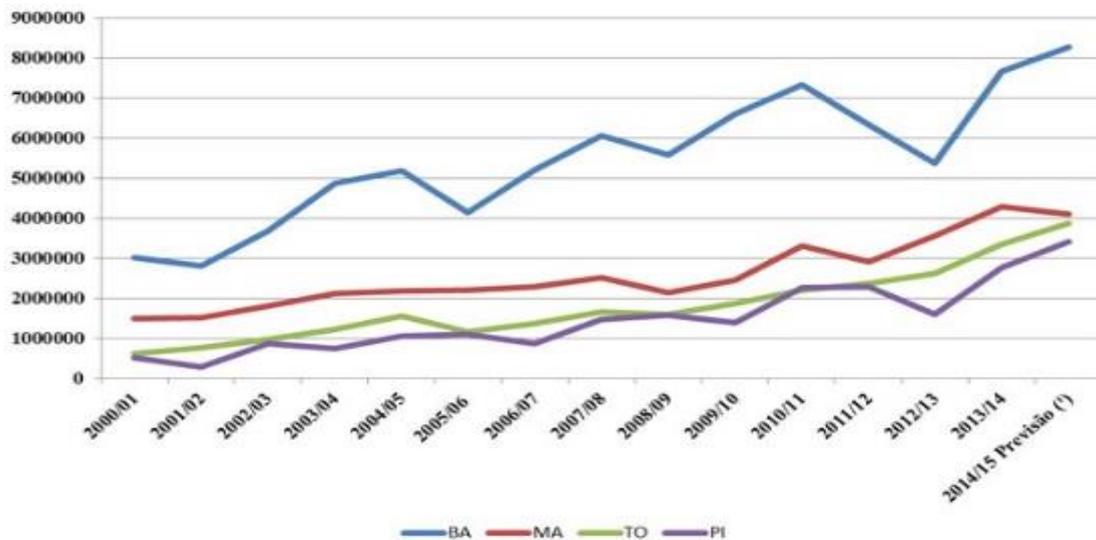
Os impactos do fator humano na agricultura no Brasil também estão associados à poluição do solo, dos corpos d'água e aos conflitos por terra (GODFRAY; GARNETT, 2014; RAJÃO et al., 2020). De acordo com Hunke et al. (2015) e Souza (2018; 2023), o uso da terra para monoculturas altera diretamente as propriedades hídricas do solo, afetando o pH, o teor de fósforo

---

<sup>1</sup> É uma região formada pelo estado do Tocantins e partes dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia, onde ocorreu forte expansão agrícola a partir da segunda metade dos anos 1980, especialmente no cultivo de grãos. O nome é um acrônimo formado pelas siglas dos quatro estados (MA + TO + PI + BA).

(P), e resultando na contaminação por compostos nitrogenados e pesticidas em corpos d'água superficiais.

Processos erosivos e compactação do solo são frequentes em áreas de cultivo, diminuindo a infiltração da água e, conseqüentemente, afetando a produção. Esses processos tendem a se tornar mais comuns no futuro se não forem tomadas medidas adequadas.



**Figura 4.** Produção de Grãos na região MATOPIBA (milhões de toneladas) entre 2000/01 à 2013/14. Fonte: Patrícia Guarnieri, 2023.

## 2.2. Degradação ambiental pela pecuária

A pecuária é uma atividade econômica fundamental em muitas partes do mundo, mas também é associada a várias formas de degradação ambiental devido às suas características, tais como (SANTOS, 2017; SOUZA, 2018; 2023):

✓ Desmatamento: para abrir espaço para pastagens e áreas de cultivo de alimentos para o gado, frequentemente ocorre o desmatamento de florestas tropicais e outras áreas naturais. Isso resulta na perda de biodiversidade, alterações nos ciclos de carbono e água, e degradação do solo;

✓ Erosão do solo: o pastoreio excessivo e a falta de práticas de manejo adequadas podem levar à erosão do solo. O pisoteio do gado, juntamente com a remoção da vegetação natural, torna o solo suscetível à erosão, prejudicando a qualidade do solo e a produtividade em longo prazo;

✓ **Poluição da água:** a pecuária gera resíduos, como fezes e urina, que podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas com nutrientes em excesso, como nitrogênio e fósforo. Isso pode causar a eutrofização de rios, lagos e reservatórios, prejudicando a qualidade da água e a vida aquática;

✓ **Desperdício de recursos hídricos:** a pecuária consome grandes volumes de água para bebedouro do gado e irrigação de culturas para alimentação do gado. Em áreas com escassez de água, isso pode levar à competição por recursos hídricos escassos;

✓ **Emissões de gases de efeito estufa:** a produção de carne gera emissões significativas de gases de efeito estufa, especialmente metano (produzido pelo sistema digestivo do gado) e dióxido de carbono (devido ao desmatamento para pastagens e agricultura). Essas emissões contribuem para as mudanças climáticas;

✓ **Perda de biodiversidade:** a conversão de áreas naturais em pastagens e monoculturas de alimentos para animais leva à perda de habitat e à redução da biodiversidade. Muitas espécies de animais e plantas são afetadas ou ameaçadas por essas mudanças;

✓ **Uso de antibióticos e hormônios:** na produção intensiva de gado, o uso indiscriminado de antibióticos e hormônios para promover o crescimento, podem resultar na disseminação de resíduos dessas substâncias no meio ambiente e na criação de cepas resistentes de bactérias;

✓ **Consumo de recursos alimentares:** a produção de carne consome grandes quantidades de recursos alimentares, como grãos e soja, que poderiam ser direcionados para alimentar diretamente as pessoas. Isso contribui para a insegurança alimentar e a escassez de alimentos em algumas regiões;

✓ **Problemas de saúde pública:** a pecuária intensiva pode ser associada a problemas de saúde pública, incluindo surtos de doenças zoonóticas<sup>2</sup>, devido à proximidade entre animais e seres humanos; e

---

<sup>2</sup> Doença infecciosa causada por um patógeno que se originou em animais, mas pulou para os seres humanos, diretamente ou por intermédio de uma espécie intermediária.

✓ Pressão sobre ecossistemas frágeis: em algumas regiões, a pecuária exerce pressão sobre ecossistemas frágeis, como pastagens naturais, levando à degradação dessas áreas sensíveis.

Essas características da degradação ambiental causada pela pecuária destacam a necessidade de abordar questões de sustentabilidade na produção de carne e laticínios, como a promoção de práticas sustentáveis, a gestão eficiente de resíduos e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Figura 5).

Há 12 mil anos, os seres humanos interagem com o meio ambiente predominantemente como caçador, coletor e forrageiro. Cerca de 3 mil anos depois, as mudanças ambientais começaram a se intensificar com o advento das atividades agrícolas e pastoris. Mesmo de maneira rudimentar, nossos ancestrais desmataram áreas para iniciar plantações e criar animais, sinalizando os primórdios da agricultura e pecuária. Apesar das técnicas primitivas e da ausência de ferramentas sofisticadas, essas práticas deram origem a diversos problemas ambientais que persistem até hoje (GIGUET-COVEX et al., 2014; STEPHENS et al., 2019).



**Figura 5.** Degradação Ambiental pela pecuária - Jerônimo Monteiro, ES. Fonte: Acervo Jhonnatas Mariano Gonçalves, 2023.

No Brasil, grande parte das pastagens se encontra degradada devido às atividades pecuárias. No entanto, essas atividades são cruciais para o desenvolvimento do país, exercendo um impacto significativo no Produto Interno Bruto (PIB) e sendo essenciais para o desenvolvimento econômico e geração de empregos diretos e indiretos (ANDRADE et al., 2014).

Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC, 2020), mesmo em meio à crise econômica mundial, o Brasil exportou 1,866 milhão de toneladas de carne em 2019, um aumento de 13,6% em relação ao ano anterior, gerando uma receita de US\$ 7,65 bilhões, representando 16,5% a mais que em 2018. Esses números correspondem a 8,5% do PIB (R\$ 618,50 bilhões). Essa cifra inclui desde insumos utilizados na pecuária até investimentos em melhoramento genético, sanidade animal, nutrição, exportações e vendas internas (ABIEC, 2019).

Apesar desse papel significativo, a pecuária contribui com 14,5% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), devido ao uso de fertilizantes sintéticos à base de nitrogênio (N), ao acúmulo e manejo de esterco nas pastagens e à manipulação de rações ricas em N. Gases como óxido nitroso ( $N_2O$ ), amônia ( $NH_3$ ) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) contribuem para o agravamento do efeito estufa, poluição do ar e riscos à saúde humana (Figura 6). Em corpos d'água, essas práticas resultam em eutrofização e acidificação, levando à morte de peixes e outros animais marinhos (GALLOWAY et al., 2008; GERBER et al., 2013; SUTTON et al., 2013).



**Figura 6.** Degradação Ambiental pela pecuária – Governador Valadares, MG.  
Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2019.

Um estudo conduzido por Uwizeye et al. (2020), sobre as emissões de N ao longo das cadeias globais de abastecimento de gado, revelou que o setor pecuário emite 65 milhões de toneladas de N anualmente: equivale a um terço das emissões antrópicas desse elemento, sendo 68% relacionado à produção de ração. Diante dessa realidade, Strassburg et al. (2014) enfatizam que as pastagens brasileiras precisam aumentar sua produtividade em até 52% até 2040 para atender à demanda pecuária, agrícola, madeireira e de biocombustível, sem recorrer à conversão de novos ecossistemas naturais.

As consequências dos impactos antrópicos nos ecossistemas são sentidas anualmente, colocando em risco a segurança alimentar e o clima do planeta (ROJAS-DOWNING et al., 2017). A mitigação dos efeitos negativos e o uso sustentável dos recursos naturais deixaram de serem opções e tornaram-se necessidades contínuas (OLIVEIRA SILVA et al., 2016; SOUZA, 2023).

Diante desse cenário, técnicas de aprimoramento para o uso da terra na agropecuária, como práticas agroecológicas, manejo sustentável de recursos (água, solo e fertilizantes), recuperação de pastagens e redução nas emissões de GEE, tornam-se alternativas seguras e eficientes para a gestão e mitigação dos problemas encontrados.

### **3. Alternativas sustentáveis e formas mitigadoras**

O cenário econômico em expansão e a crescente demanda por alimentos, insumos e derivados provenientes de grãos são fatores impulsionadores para novos modelos de uso da terra. Assim, torna-se imperativo repensar as formas de produção, visando um futuro mais sustentável, com o aumento da produção agrícola e a limitação dos impactos ao meio ambiente por meio de ações afirmativas socioambientais eficazes (GUZHA et al., 2017; BRINKMAN et al., 2018; SOUZA, 2023).

Nesse contexto, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento lançou em 2010 o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, conhecido como Plano ABC. Este plano visa organizar e planejar

a adoção de tecnologias sustentáveis, comprometendo-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (MAPA, 2012a; SOUZA, 2018).

O Plano ABC, que teve abrangência nacional e vigência de 2010 a 2020, foi composto por sete programas, sendo seis direcionados às tecnologias de mitigação e um a adaptação às mudanças climáticas. Os programas incluíam técnicas para redução, reutilização e recuperação de sistemas pouco produtivos ou degradados, considerando os impactos e promovendo formas mais sustentáveis de produção, sem comprometer a produtividade. Algumas dessas técnicas, como a Recuperação de Pastagens Degradadas, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Sistemas Agroflorestais (SAFs) e Sistema Plantio Direto (SPD), têm sido adotadas e demonstraram resultados efetivos diante do cenário convencional (Figura 7) (MAPA, 2012a).

Diante desse cenário de transformação, torna-se essencial maximizar práticas agropecuárias sustentáveis que proporcionem maior eficiência no uso do solo, água, nutrientes e fertilizantes, visando a redução do desperdício, ao aumento da produção e ao retorno desimpedido ao meio ambiente.



**Figura 7.** Leito sendo preparado para receber um SAF: material orgânico e plantio direto. Fonte: Acervo Gildásio Rodrigues dos Santos, 2023.

### **3.1. Recuperação de pastagens degradadas**

A degradação de pastagens ocorre quando a área perde seu potencial produtivo, tornando-se incapaz de se regenerar adequadamente. Isso resulta em baixos índices de produtividade, perda de vigor e qualidade, tornando as

pastagens susceptíveis a pragas, doenças e incapazes de suprir as necessidades alimentares dos animais (OLIVEIRA, 2005a; MAPA, 2012a; LOUBACK et al., 2023).

Frequentemente, a degradação ambiental é causada por ações antrópicas, modificando ecossistemas. As principais causas incluem a escolha inadequada de espécies para o local, má formação inicial devido à ausência ou uso inadequado de práticas como conservação do solo, preparo inadequado do solo, correção da acidez e/ou adubação, métodos de plantio e manejo animal deficientes na fase de formação (MACEDO, 1999; LOUBACK et al., 2023; SOUZA, 2023).

O manejo e práticas culturais inadequados, como o uso frequente de fogo, métodos inadequados de roçagem, falta ou uso incorreto de adubação de manutenção, pragas, doenças e plantas invasoras também contribuem para a degradação (Figura 8). O manejo animal, incluindo excesso de lotação, sistemas inadequados de pastejo e falta ou aplicação inadequada de práticas de conservação do solo após superpastejo, são fatores adicionais (MACEDO, 1999; RUBIA, 2016).



**Figura 8.** Degradação Ambiental pela pecuária – Governador Valadares, MG.  
Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2019.

No Brasil, a exploração extrativista tradicional das pastagens naturais tem levado à sua progressiva degradação. Pastagens em estágio de degradação

muitas vezes passam despercebidas pelos produtores, mas características como a queda na produção de forragem, redução na área de cobertura, baixo índice de plantas novas, aumento de espécies invasoras e processos erosivos podem ser observados sistematicamente (SOARES FILHO, 1993; CARVALHO, 2017; LOUBACK et al., 2023).

A recuperação de pastagens degradadas contribui para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar os estoques de carbono do solo (ERI et al., 2020). Ela também proporciona uma maior quantidade de matéria orgânica e serapilheira, que atuam como importantes reservatórios de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2004; LOUBACK et al., 2023). Além disso, pastagens recuperadas apresentam baixo índice de evapotranspiração em comparação com pastagens não degradadas (ANDRADE et al., 2014).

Estratégias eficazes na recuperação de pastagens incluem o manejo fisiológico adequado da forrageira, descanso e ocupação do pasto, uso adequado de resíduos de pastejo, recomposição da fertilidade do solo e melhor aproveitamento da água para evitar a recompactação do solo (OLIVEIRA, 1993; ANDRADE et al., 2014). A renovação da pastagem pode ser recomendada em casos de falta de plantas forrageiras suficientes (Figura 9).



**Figura 9.** Área de pastagem degradada (2019) e recuperada com o auxílio de cochinho e descanso da pastagem (2023) em Atílio Vivácqua, ES. Fonte: Acervo Marlon Alves Peçanha da Silva, 2023.

Pastagens recuperadas não apenas agregam valor ao uso da terra, mas também proporcionam benefícios significativos para a produção, contribuindo para retornos substanciais em biodiversidade e produtividade (WEINERT; WILLIAMS, 2018; IVERSEN et al., 2019). A integração lavoura-pecuária também pode ser uma alternativa eficiente, reduzindo os custos na recuperação de pastagens (CARVALHO et al., 2017).

### 3.2. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs)

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é um sistema de produção diversificado que envolve a combinação de atividades agrícolas, pecuárias e, ou, florestais (Figura 10). Esse sistema se destaca pela adoção de consórcio, rotação, sucessão e diversificação de culturas, visando estabelecer estratégias colaborativas sustentáveis entre os diferentes componentes integrados (KLUTHCOUSKI et al., 1991; CORDEIRO et al., 2017).



**Figura 10.** Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Fonte. Portal Embrapa, 2021.

Em uma linha semelhante, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) utilizam e ocupam o solo de maneira integrada, combinando espécies lenhosas com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, bem como culturas agrícolas e forrageiras. Esse arranjo promove o enriquecimento das espécies presentes e fomenta a interação entre elas (MIGUEL LENZ et al., 2019; MAPA, 2012b).

Tanto os SAFs quanto a ILPF desempenham um papel fundamental na geração de renda no campo, promoção do bem-estar social, adoção de boas práticas agropecuárias e na valorização dos serviços ambientais (BONAUDO et al., 2014; COSTA et al., 2018).

Além disso, contribuem para a recuperação de áreas degradadas, manutenção da cobertura vegetal, conservação de recursos naturais (solo, água, matéria orgânica e agentes biológicos do solo) (PEZARICO et al., 2013; LEMAIRE et al., 2014), estimulam o crescimento de agentes polinizadores e auxiliam no controle de pragas e doenças (BOINOT et al., 2019; KAY et al., 2019).

Esses sistemas também desempenham um papel vital na fixação de carbono (C) e nitrogênio (N), na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e na reciclagem de nutrientes (TORRES et al., 2014; COSTA et al., 2018; ESTEVES et al., 2018). Além dos benefícios ambientais, a adoção de estratégias sustentáveis representa uma valorização das terras (CORTNER et al., 2019).

A implementação dos SAFs e da ILPF pode ocorrer em diferentes modalidades, como Integração Lavoura-Pecuária (Agropastoril), Lavoura-Pecuária-Floresta (Agrossilvipastoril), Pecuária-Floresta (Silvipastoril) e Lavoura-Floresta (Silviagrícola) (FERNANDES; FINCO, 2014; SULC; FRANZLUEBBERS, 2014) (Figura 11).



**Figura 11.** SAFs. Fonte: Acervo Gildásio Rodrigues dos Santos, 2023.

Cada modelo possui características específicas e é escolhido de acordo com a finalidade desejada. Essas alternativas visam aumentar a diversificação de espécies e melhorar as condições do solo, contrapondo o risco de degradação ambiental e a redução da qualidade do solo associados ao monocultivo contínuo (PEZARICO et al., 2013).

### 3.3. Sistema Plantio Direto (SPD)

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é caracterizado como um conjunto de processos tecnológicos voltados para a revolução e aperfeiçoamento de sistemas agrícolas produtivos, com o objetivo principal de aumentar a produtividade. Isso é alcançado por meio da redução do revolvimento do solo, limitado apenas à linha de semeadura ou à cova de plantio, preservando assim a capacidade produtiva do solo e minimizando a perda de cobertura (Figura 12).



**Figura 12.** Cultivo de banana em SAFs por meio de SPD. Fonte: Acervo Gildásio Rodrigues dos Santos, 2023.

Em sua essência, o SPD está associado às práticas agrícolas conservacionistas, embora também seja empregado em manejos agroecológicos. Essa abordagem contribui significativamente para a conservação do solo e dos recursos hídricos, maximizando a eficiência da adubação, calagem e incorporação de matéria orgânica. Além disso, o SPD desempenha um papel importante na redução da erosão, no uso de

agroquímicos e na emissão de gases de efeito estufa (GEE), promovendo assim um equilíbrio otimizado entre custos e benefícios, e fortalecendo a resistência do solo e outros recursos naturais (SALTON et al., 1998; KOCHHANN; DENARDIN, 2000; BLANCO-CANQUI; WORTMANN, 2020).

O Plantio Direto, quando gerenciado em longo prazo, proporciona condições biológicas, físicas e químicas favoráveis para o solo, promovendo o desenvolvimento das plantas. Este sistema demonstra aumentos significativos nos teores de matéria orgânica, proteína, respiração, disponibilidade de água, infiltração no solo, assim como concentrações mais elevadas de N, nutrientes e pH ideal. Esses indicadores sugerem uma melhoria substancial no bem-estar do solo e na produtividade das culturas (NUNES et al., 2018).

Em regiões subúmidas e semiáridas, o efeito do preparo do solo e das sequências de culturas sob plantio direto e pastejo revelam impactos positivos no teor de carbono orgânico do solo e na produtividade de culturas tais como milho, trigo, girassol e soja. Além disso, o manejo do solo com plantio direto e a rotação de pastagens têm influência positiva nessas propriedades do solo e na produtividade das culturas (DÍAZ-ZORITA et al., 2002; DU et al., 2017).

Diante das limitações dos métodos de produção em larga escala atual, o SPD surge como uma alternativa sustentável para uma produção mais limpa, eficiente, economicamente viável e com menor impacto ambiental (DANG et al., 2015; YADAV et al., 2020).

### **3.4. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)**

A produção agrícola depende significativamente do N, um nutriente essencial para o cultivo e crescimento das plantas. Apesar de aproximadamente 78% de a atmosfera ser constituída de N, poucos microrganismos possuem a capacidade de converter esse elemento em formas assimiláveis pelas plantas, fenômeno conhecido como Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) (HUANG et al., 2016; CARVALHO et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021).

Cabe considerar que as atividades antrópicas, como a produção de fertilizantes na agricultura, liberam grandes quantidades de N reativo na

atmosfera, parte do qual polui cursos d'água e acidifica oceanos (ROCKSTRÖM et al., 2009).

A FBN ocorre nas raízes, mais especificamente nos nódulos, graças a bactérias da família Rhizobiaceae, conhecidas como rizóbios, que estabelecem uma relação simbiótica com espécies de leguminosas (Figura 13). Esses microrganismos captam o nitrogênio atmosférico e o convertem em formas absorvíveis, como nitrato e amônia, tornando-as disponíveis para as plantas (REJILI et al., 2012; ZHAO et al., 2020).



**Figura 13.** Relação simbiótica nos nódulos nas raízes das plantas. Fonte: <https://www.3rlab.com.br/fixacao-biologica-de-nitrogenio-fbn>. Foto: Fabiano Bastos, 2020.

Esse processo é fundamental para o desenvolvimento das plantas, já que o N é um componente essencial das cadeias de RNA, DNA e proteínas, desempenhando um papel vital nos processos fotossintéticos e no desenvolvimento radicular (GARCIA et al., 2013; YUAN et al., 2017). De acordo com alguns cientistas, a FBN é um dos processos naturais mais capitais da Terra, chegando a ser equiparado à importância da fotossíntese. Em termos simples, a FBN refere-se à transformação do  $N_2$  em formas de N que as plantas podem absorver e utilizar.

O uso da FBN é reconhecido por promover o aumento da produtividade, elevar os níveis de matéria orgânica e melhorar a fertilidade do solo (KERMAH et al., 2018; XU et al., 2020). Além disso, a FBN representa uma opção sustentável e economicamente viável para o cultivo agrícola, contribuindo para a redução dos custos com fertilizantes sintéticos, minimização dos impactos ambientais e aumento da eficiência na utilização de N (SMITH et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021).

### 3.5. Florestas Plantadas

O cultivo de florestas plantadas ocorre há mais de cem anos no Brasil, sendo impulsionado nos anos da década de 1970 pelos incentivos fiscais do governo visando o reflorestamento (Figura 14). As principais espécies plantadas no país são Eucalipto, Pinus e Acácia, bem como é possível encontrar ainda Seringueira, Teca, Paricá, Cedro, Mogno-Africano e Araucária (SNIF, 2020).



**Figura 14.** Floresta plantada. Fonte: Governo do Estado do ES, Incaper, 2021.

No geral, florestas plantadas têm como principal objetivo reduzir o impacto sobre as matas nativas, reaproveitar terras que sofreram intensas ações antrópicas e se encontram degradadas, aumentar o sequestro de carbono e a proteção do solo e da água (SHIGAEVA; DARR, 2020) (Figura 15).



**Figura 15.** Sistema Silvipastoril - comunidade Cava Rocha, Jerônimo Monteiro, ES. Fonte: Acervo Jhonnatas Mariano Gonçalves, 2023.

O cultivo e a produção de florestas em propriedades rurais vão desde o monocultivo silvicultural à instalação de SAFs e ILFP, servindo (em longo prazo) como fonte de renda para o produtor e sua família, gerando benefícios significativos ao meio ambiente no decorrer do cultivo (KAY et al., 2019; LUZ et al., 2019).

### **3.6. Tratamento de dejetos animais**

Um desafio significativo na pecuária está relacionado à gestão dos dejetos animais, que pode resultar em poluição e impactos ambientais substanciais (SHEN et al., 2017). O tratamento apropriado desses resíduos é fundamental, pois o descarte inadequado pode afetar diretamente os corpos d'água, o solo e a emissão de gases de efeito estufa, representando um risco para o meio ambiente e a saúde humana (FERREIRA et al., 2018; KHALIL et al., 2019).

No entanto, se os dejetos forem tratados adequadamente, podem se tornar uma valiosa oportunidade para os produtores, contribuindo para a melhoria da renda familiar por meio da geração de energia, seja ela automotiva, térmica ou até mesmo elétrica, por meio da produção de biogás (Figura 16).



**Figura 16.** Construção de lagoas para tratamento de dejetos em Atílio Vivácqua.  
Fonte: Acervo Márcio Menegussi, 2023.

Além disso, a adoção de tecnologias como biodigestores não apenas reduz os insumos agroquímicos, mas também possibilita a transformação dos resíduos em fertilizantes, resultando na diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Essas estratégias têm o potencial de proporcionar benefícios aos produtores, promovendo uma produção ecologicamente sustentável e economicamente viável (GEORGIU et al., 2019; SAFIEDDIN ARDEBILI, 2020; SIMSEK; USLU, 2020).

Nas regiões com uma presença significativa no setor pecuário, os benefícios podem ser ainda mais notáveis (OLIVEIRA et al., 2020). Isso ocorre porque os dejetos animais, especialmente o estrume, desempenham um papel importante no controle de pragas, na melhoria da qualidade do solo, no aumento da matéria orgânica, na retenção de água e no suporte aos organismos decompositores, contribuindo assim para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> (SILVA DOS SANTOS et al., 2018; ROWEN et al., 2019).

#### 4. Considerações

No que diz respeito ao aumento da produção agrícola, o Brasil, anteriormente o terceiro maior exportador do mundo, alcançou o *status* de maior

potência agrícola mundial ao lado dos EUA em 2019, atingindo uma produção recorde de grãos de 240 milhões de toneladas.

Contudo, o crescimento nas exportações trouxe consigo desafios, incluindo a necessidade de mais terras agricultáveis, maior disponibilidade de água, correção e adubação do solo e, especialmente, o aumento no uso de fertilizantes. Apesar de a agricultura ser o motor da economia brasileira, os impactos e externalidades ambientais negativos associados a essa expansão têm gerado preocupações na comunidade científica.

As mudanças climáticas, especialmente aquelas relacionadas à emissão de gases de efeito estufa de origem humana, têm sido objeto constante de estudo e análise crítica. O crescimento populacional global elevou a demanda por alimentos, impulsionando a produção em larga escala na agricultura e a expansão da pecuária, mas esses processos têm sido apontados como causadores de degradação ambiental.

O planeta já está experimentando os efeitos dessas práticas, com o aumento da temperatura, derretimento de geleiras, incêndios florestais, desmatamento extenso e escassez crescente de água potável. Os danos ao ecossistema terão impactos em longo prazo, com a tendência de crescimento no uso de agroquímicos e intensas emissões de gases de efeito estufa potencialmente agravando os problemas climáticos e, paradoxalmente, comprometendo as produções agropecuárias.

Este cenário não apenas afetará os grandes países importadores, mas terá impactos mais severos nos países mais pobres, onde as flutuações nos preços dos alimentos comprometerão constantemente a segurança alimentar de bilhões de pessoas em todo o mundo.

Diante desse cenário preocupante, torna-se imperativo e urgente adotar medidas e estratégias na agropecuária que visem mitigar os efeitos negativos ao meio ambiente. Buscar meios de produção menos degradantes e mais eficientes é essencial para enfrentar os desafios atuais e futuros.

Almejar um futuro sustentável e equilibrado implica repensar os modelos de produção. Para que isso seja possível, os sistemas agropecuários devem estar alinhados na busca por um mundo onde a economia esteja em segundo

plano, priorizando o bem-estar social e a construção de um ambiente sustentável em primeiro lugar.

## 5. Agradecimentos

Agradeço ao IFES pela valiosa oportunidade de contribuir para moldar o futuro.

Expresso minha gratidão ao corpo docente por sempre nos inspirar a promover mudanças no mundo.

Ao Programa de Pós-graduação em Agroecologia, agradeço por proporcionar uma visão holística do nosso planeta.

Estendo meus agradecimentos a todos os pesquisadores, cientistas e ambientalistas por sua árdua jornada em busca de reconhecimento no país.

Afinal, antes da ciência, uma ideia era apenas uma ideia. Após a ciência, tudo pode se tornar realidade.

## 6. Referências

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Perfil da pecuária no Brasil. **BeefREPORT**, p. 49, 2019.

ADEGBEYE, M. J. et al. Sustainable agriculture options for production, greenhouse gasses and pollution alleviation, and nutrient recycling in emerging and transitional nations - An overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, p. 118319, 2020.

ANDRADE, R. G. et al. Pasture evapotranspiration as indicators of degradation in the Brazilian Savanna: a case study for Alto Tocantins watershed. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI**, v. 9239, p. 92391Z, 2014.

ARIAS, M. E. et al. Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 6, p. 430-436, 2020.

ARRAES, R. DE A. E; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 1, p. 119-140, mar. 2012.

BALL, P. Acting on the global food crisis. **The Lancet**, v. 386, n. 10000, p. 1231, 2015.

BEDDINGTON, J. R. et al. What Next for Agriculture After Durban? **Science**, v. 335, n. 6066, p. 289-290, 2012.

BLANCO-CANQUI, H.; WORTMANN, C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. **Soil and Tillage Research**, v. 198, n. October 2019, p. 104534, 2020.

BOINOT, S. et al. Distribution of overwintering invertebrates in temperate agroforestry systems: Implications for biodiversity conservation and biological control of crop pests. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 285, n. August, p. 106630, 2019.

BONAUDO, T. et al. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43-51, 2014.

BRANCO, S. M. Conflitos conceituais nos estudos sobre meio ambiente. **Estudos Avançados**, v. 9, n. 23, p. 217–233, abr. 1995.

BRINKMAN, M. L. J. et al. Interregional assessment of socio-economic effects of sugarcane ethanol production in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 347–362, 2018.

CARVALHO, L. R. et al. Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 278, p. 96-106, 2019.

CARVALHO, W. T. V. et al. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, n. 10, p. 1036–1045, out. 2017.

CORDEIRO, L. A. M. et al. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2017.

CORTNER, O. et al. Perceptions of integrated crop-livestock systems for sustainable intensification in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 82, n. December 2018, p. 841-853, 2019.

COSTA, M. P. et al. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1460-1471, 2018.

COSTA, T. V. DA; VENZKE, T. S. L. Regeneração natural em Mata de Restinga em área de pecuária extensiva no Município de Pelotas, extremo Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 339, 2017.

DANG, Y. P. et al. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 115-123, 2015.

DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G. A.; GROVE, J. H. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 1-18, 2002.

DU, Z. et al. The effect of no-till on organic C storage in Chinese soils should not be overemphasized: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 236, p. 1-11, 2017.

EMBRAPA. **Trajetória da agricultura brasileira - Uma viagem ao passado para pensar no futuro.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ERI, M. et al. Capitalizing on opportunities provided by pasture sudden death to enhance livestock sustainable management in Brazilian Amazonia. **Environmental Development**, v. 33, p. 488-499, 2020.

ESTEVES, E. M. M. et al. Greenhouse gas emissions related to biodiesel from traditional soybean farming compared to integrated crop-livestock systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, n. 2018, p. 81–92, 2018.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos.** Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FERNANDES, M. da S.; FINCO, M. V. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária e políticas de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 182–190, 2014.

FERREIRA, A. et al. Brazilian poultry activity waste: Destinations and energetic potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. August 2017, p. 3081–3089, jan. 2018.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

FUGLIE, K. O. Is agricultural productivity slowing? **Global Food Security**, v. 17, p. 73-83, 2018.

GALLOWAY, J. N. et al. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, v. 320, n. 5878, p. 889–892, 2008.

GARCIA, G.; CARDOSO, A. A.; SANTOS, O. A. M. DOS. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1468-1476, 2013.

GEORGIU, D.; LILIOPOULOS, V.; AIVASIDIS, A. Investigation of an integrated treatment technique for anaerobically digested animal manure: Lime reaction and settling, ammonia stripping and neutralization by biogas scrubbing. **Bioresource Technology Reports**, n. 5, p. 127-133, 2019.

GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. 2013341788. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

GIGUET-COVEX, C. et al. Long livestock farming history and human landscape shaping revealed by lake sediment DNA. **Nature Communications**, v. 5, n. 3211, p. 1-7, 2014.

GODFRAY, H. C. J.; GARNETT, T. Food security and sustainable intensification. **Phil. Trans. R. Soc.**, v. 369, n. 20120273, p. 6-11, 2014.

GUZHA, A. C. et al. Effects of conversion of native cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier. **PLoS ONE**, v. 12, n. 6, p. 1-22, 2017.

HUANG, J. et al. Responses of soil nitrogen fixation to *Spartina alterniflora* invasion and nitrogen addition in a Chinese salt marsh. **Scientific Reports**, n. 6, p. 1-8, 2016.

HUNKE, P. et al. The Brazilian Cerrado: Assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, v. 8, n. 6, p. 1154-1180, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Região teve o quinto recorde anual consecutivo na derrubada, que chegou aos 10.573 km<sup>2</sup> entre janeiro e dezembro do ano passado**. Disponível em: <https://amazonia.org.br/imprensa/amazonia-perdeu-quase-3-mil-campos-de-futebol-por-dia-de-floresta-em-2022-maior-desmatamento-em-15-anos/>. Acesso em: 01 set. 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **A área de vegetação nativa suprimida no Bioma Cerrado no ano de 2019 foi de 6.484 km<sup>2</sup>**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/a-area-de-vegetacao-nativa-suprimida-no-bioma-cerrado-no-ano-de-2019-foi-de-6-484-km2>>.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Estimativa de desmatamento na Amazônia Legal para 2022 é de 11.568 km<sup>2</sup>**. Disponível em: <[https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/sei\\_01340009084\\_2022\\_72\\_notatecnica\\_estimativa\\_prodes\\_2022\\_revisada\\_lu\\_lm\\_27\\_10\\_rev\\_la-002.pdf](https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/sei_01340009084_2022_72_notatecnica_estimativa_prodes_2022_revisada_lu_lm_27_10_rev_la-002.pdf)>.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>.

Acesso em: 3 ago. 2020.

IVERSEN, E. K. et al. Moving (back) to greener pastures? Social benefits and costs of climate forest planting in Norway. **Land Use Policy**, n. 1430, p. 104390, 2019.

KASTNER, T. et al. Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 18, p. 6868–6872, 2012.

KAY, S. et al. Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. **Ecosystem Services**, v. 36, n. January, 2019.

KERMAH, M. et al. N<sub>2</sub>-fixation and N contribution by grain legumes under different soil fertility status and cropping systems in the Guinea savanna of northern Ghana. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 261, p. 201-210, 2018.

KHALIL, M. et al. Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 105, p. 323-331, 2019.

KLUTHCOUSKI, J. . et al. **Renovação de pastagens de cerrado com arroz: Sistema Barreirão**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991. Disponível em: <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAP/1907/1/doc\\_33.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAP/1907/1/doc_33.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2022.

KMOCH, L. et al. Using Local Agroecological Knowledge in Climate Change Adaptation : A Study of Tree-Based Options in Northern Morocco. **Sustainability**, v. 10, n. 3719, p. 1-17, 2018.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e Manejo do Sistema Plantio Direto**. 1ª Edição ed. Passo Fundo/RS: Embrapa Trigo, 2000.

LAWRENCE, D.; VANDECAR, K. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 1, p. 27-36, 2015.

LEITE, J. R. M.; AYALA, P. DE A. A transdisciplinaridade do direito ambiental e a sua equidade intergeracional. **Sequência: Estudos Jurídicos e Políticos**, v. 21, n. 41, p. 113-136, 2000.

LEITE-FILHO, A. T.; COSTA, M. H.; FU, R. The southern Amazon rainy season: The role of deforestation and its interactions with large-scale mechanisms. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 4, 2020.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.

LOUBACK, G. C.; SOUZA, M. N.; VARDIERO, L. G. G.; CAMPOS, L. G. C.; SOUZA, E. A.; BASTOS, C. S. M. Análise da Sustentabilidade no Sítio Jaqueira

Agroecologia, utilizando a ferramenta APOIA-NovoRural. **OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 21, p. 3875-3900, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n6-043.

LUZ, P. A. C. da et al. Effect of integrated crop-livestock systems in carcass and meat quality of Nellore cattle. **Livestock Science**, v. 220, p. 83-92, 2019.

MACEDO, C. M. Degradação de pastagens: conceitos e métodos de recuperação. SIMPÓSIO SOBRE SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPGL, 1999.

MAPA - Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABCMapa**. Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2023.

MAPA - Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABCMapa**. Brasília/DF: [s.n.].

MIGUEL LENZ, A. et al. Expansion of eucalyptus energy plantations under a Livestock-Forestry Integration scenario for agroindustries in Western Paraná, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, n. October 2018, p. 39-48, 2019.

NUNES, M. R. et al. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, v. 328, n. April, p. 30-43, 2018.

OLIVEIRA SILVA, R. et al. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 5, p. 493-497, 2016.

OLIVEIRA, A. C. L. de et al. Evaluation of Brazilian potential for generating electricity through animal manure and sewage. **Biomass and Bioenergy**, v. 139, p. 105654, 2020.

OLIVEIRA, A. D. **Considerações sobre a preservação das florestas tropicais**. Viçosa: UFV, 1993. 37 p. (mimeografado)

OLIVEIRA, F. S. de; DESTEFANI, J. D.; TAVARES, L. R.; PÁSCHOA, J. C. V. da; CRESPO, A. M.; ARAUJO, O. P.; PEIXOTO, P. M. C.; SIQUEIRA, C. B.; CORTAT, L. H.; SOUZA, M. N. Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. II. Canoas: Mérida Publishers Ltda. 2021. p. 243-275. <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c6>

OLIVEIRA, L. J. C. et al. Large-scale expansion of agriculture in Amazonia may be a no-win scenario. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, p. 024021, 2013.

- OLIVEIRA, M. M. **Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade**. 2017.
- OLIVEIRA, O. C. et al. Chemical and biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, n. 2, p. 289-300, 2004.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/#:~:text=Close the sidebar-,População mundial deve chegar a 9%2C7 bilhões de pessoas,2050%2C diz relatório da ONU&text=A população mundial deve cre>>. Acesso em: 6 ago. 2020.
- PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. Revista de Ciências Agrárias - **Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.
- RAJÃO, R.; CARVALHO, E. B. de; MERRY, F. Appropriations, conflicts and subversions: the social construction of the Brazilian Forest Code. **Tapuya: Latin American Science, Technology and Society**, p. 1-20, 2020.
- RATTER, J. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223-230, set. 1997.
- REJILI, M. et al. Symbiotic nitrogen fixation of wild legumes in Tunisia: Soil fertility dynamics, field nodulation and nodules effectiveness. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 157, p. 60-69, 2012.
- RIPPLE, W. J. et al. World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. **BioScience**, v. 67, n. 12, p. 1026-1028, 2017.
- ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operation space for humanity. **Nature**, v. 461, n. September, p. 472-475, 2009.
- ROJAS-DOWNING, M. M. et al. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. **Climate Risk Management**, v. 16, p. 145-163, 2017.
- ROWEN, E.; TOOKER, J. F.; BLUBAUGH, C. K. Managing fertility with animal waste to promote arthropod pest suppression. **Biological Control**, v. 134, n. April, p. 130-140, 2019.
- RUBIRA, F. G. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espços livres e degradação ambiental/impacto ambiental. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 134-150, 2016.
- SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 195-212, 2018.
- SAFIEDDIN ARDEBILI, S. M. Green electricity generation potential from biogas produced by anaerobic digestion of farm animal waste and agriculture residues in Iran. **Renewable Energy**, v. 154, p. 29-37, 2020.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema Plantio Direto - 500 perguntas, 500 respostas**. 1ª edição ed. Brasília/DF: Embrapa-SPI; Dourados: Embrapa-CPAO, 1998.

SAMPAIO, G. et al. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 17, p. 1-7, 2007.

SANTOS, T. O. dos et al. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 11, n. 2, p. 157-181, 2017.

SHEN, Y. et al. An environmental friendly animal waste disposal process with ammonia recovery and energy production: Experimental study and economic analysis. **Waste Management**, v. 68, p. 636-645, 2017.

SHIGAEVA, J.; DARR, D. On the socio-economic importance of natural and planted walnut (*Juglans regia* L.) forests in the Silk Road countries: A systematic review. **Forest Policy and Economics**, n. 118, p. 102233, 2020.

SILVA DOS SANTOS, I. F. et al. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 131, p. 54-63, 2018.

SIMSEK, S.; USLU, S. Comparative evaluation of the influence of waste vegetable oil and waste animal oil-based biodiesel on diesel engine performance and emissions. **Fuel**, n. 280, p. 118613, nov. 2020.

SMITH, J. et al. Potential yield challenges to scale-up of zero budget natural farming. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 247-252, 2020.

SNIF. **As Florestas Plantadas**. Disponível em: <<http://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-plantadas/405-as-florestas-plantadas?modal=1&tipo=tableau>>. Acesso em: 21 ago. 2020.

SOARES FILHO, C. V. Tratamentos físico-mecânicos, correção e adubação para recuperação de pastagens. ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS. **Anais...** Nova Odessa/SP: IZ, 1993.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1>.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 376 p.

SPERA, S. A.; WINTER, J. M.; PARTRIDGE, T. F. Brazilian maize yields negatively affected by climate after land clearing. **Nature Sustainability**, v. 4, 2020.

STEPHENS, L. et al. Archaeological assessment reveals Earth's early

transformation through land use. **Science**, v. 365, n. 6456, p. 897-902, 2019.

STRASSBURG, B. B. N. et al. No When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change Jo**, v. 28, p. 84-97, 2014.

SULC, R. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop-livestock systems in different ecoregions of the United States. **European Journal of Agronomy**, v. 57, n. 2013, p. 21-30, 2014.

SUŠA, O. Global dynamics of socio-environmental crisis: dangers on the way to a sustainable future. **Civitas - Revista de Ciências Sociais**, v. 19, n. 2, p. 315, 2019.

SUTTON, M. A. et al. Towards a climate-dependent paradigm of ammonia emission and deposition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1621, p. 20130166, 2013.

TORRES, C. M. M. E. et al. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235, 2014.

UWIZEYE, A. et al. Nitrogen emissions along global livestock supply chains. **Nature Food**, n. 1, p. 1-10, 2020.

WEINERT, J. R.; WILLIAMS, C. A. Recovery of Pasture Forage Production Following Winter Rest in Continuous and Rotational Horse Grazing Systems. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 70, p. 32-37, 2018.

WITHERS, P. J. A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018.

XU, H. et al. Soil nitrogen concentration mediates the relationship between leguminous trees and neighbor diversity in tropical forests. **Communications Biology**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2020.

YADAV, G. S. et al. No-till and mulching enhance energy use efficiency and reduce carbon footprint of a direct-seeded upland rice production system. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122700, 2020.

YUAN, S. L. et al. RNA-Seq analysis of nodule development at five different developmental stages of soybean (*Glycine max*) inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* strain 113-2. **Scientific Reports**, v. 7, n. February, p. 1-14, 2017.

ZHAO, Y. et al. Effect of root interaction on nodulation and nitrogen fixation ability of alfalfa in the simulated alfalfa/triticale intercropping in pots. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.