



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS-CCA
ESPECIALIZAÇÃO EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

LETÍCIA DA SILVA MOREIRA

SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA COMO
ALTERNATIVA DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS: UMA REVISÃO
DA LITERATURA

Imperatriz - MA

2022

LETÍCIA DA SILVA MOREIRA

**SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA COMO
ALTERNATIVA DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS: UMA REVISÃO
DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Região Tocantina do
Maranhão como requisito básico para a obtenção do
título de especialista em Recuperação de Áreas
Degradadas.

Orientador: Prof. Dr. Michael Douglas Roque Lima

Imperatriz - MA

2022

M838s

Moreira, Letícia da Silva

Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta como alternativa de recuperação de solos degradados: uma revisão da literatura. / Letícia da Silva Moreira. – Imperatriz, MA, 2022.

36 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Recuperação de Áreas Degradadas) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1. Agricultura. 2. Sistema de produção integrada. 3. Lavoura-pecuária-floresta. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631.151.6

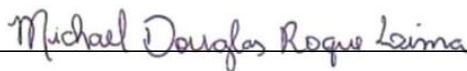
Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

**SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA COMO
ALTERNATIVA DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS: UMA REVISÃO
DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Estadual da Região Tocantina
do Maranhão como requisito básico para a
conclusão do Curso Lato Sensu
Especialização em Recuperação de Áreas
Degradadas.

Data de aprovação: 26 / 12 / 2022

Banca Examinadora



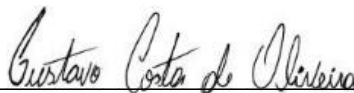
Prof. Dr. Michael Douglas Roque Lima

Instituição: UEMASUL



Prof. Dr. Luiz Fernandes Silva Dionisio

Instituição: UEMASUL



Prof. Ms. Gustavo Costa de Oliveira

Instituição: UEMASUL

RESUMO

O Brasil possui grandes áreas com solos degradados e com baixa produtividade, o que acarreta pressão para abertura de novas áreas e maiores emissões de carbono. Diante da necessidade de adaptações e sustentabilidade na produção agropecuária, sistemas de produção como os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) constituem alternativa promissora de produção sustentável, com benefícios de diversificação da produção, conservação do solo e mitigação de emissões. O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo bibliométrico das publicações científicas sobre sistemas integrados de produção como alternativa para recuperação de solos degradados. Foram utilizadas plataformas de busca de artigos científicos tais como Scielo, Periódicos CAPES, ScienceDirect e SpringerLink. Foi realizada análise de estudos encontrados na literatura com abordagem qualitativa. Foram selecionadas produções científicas publicadas em periódicos nacionais e internacionais sobre experiências realizadas no Brasil, publicadas entre os anos de 2010 e 2022. De forma geral, a literatura aponta efeitos positivos da implantação de sistemas ILPF sobre as propriedades do solo, indicando seu potencial de recuperação. Porém, os estudos abordam, sobretudo, os efeitos iniciais dos sistemas integrados sobre as propriedades do solo, com alterações pouco acentuadas a curto prazo. A maioria dos estudos selecionados abordam sistemas de integração lavoura-pecuária. Aproximadamente metade dos estudos foram realizados no bioma Cerrado, na região Centro-Oeste do Brasil. É fundamental o monitoramento contínuo das propriedades do solo e a realização de estudos futuros trazendo os efeitos a longo prazo dos sistemas de produção sobre a recuperação do solo, além do consolidado conhecimento do potencial estratégico dos sistemas integrados de conservar o solo, potencializar a produção e otimizar o uso dos recursos naturais, contribuindo para o desenvolvimento agropecuário sustentável no Brasil.

Palavras-chave: Agricultura sustentável; sistemas ILPF; sistemas agrossilvipastoris; atributos do solo; recuperação de pastagens; conservação do solo

ABSTRACT

Brazil has large areas with degraded soils and low productivity, which leads to pressure to open new areas and higher carbon emissions. In the context of the need for adaptations and sustainability in agricultural production, production systems such as crop-livestock-forest integration systems (ICLF) are a promising alternative for sustainable production, with benefits of diversification of production, soil conservation, and mitigation of emissions. This work aimed to carry out a bibliometric study of scientific publications regarding integrated production systems as a tool for recovering degraded soils. Search platforms for scientific articles such as Scielo, Periódicos CAPES, ScienceDirect, and SpringerLink were used. Analysis of studies found in the literature with a qualitative approach was carried out. Scientific productions published in national and international journals on experiences carried out in Brazil, published between 2010 and 2022, were selected. In general, the literature points to the positive effects of the implementation of ICLF systems on soil properties, indicating its recovery potential. However, studies address the initial effects of integrated systems on soil properties, with minor changes in the short term. Most of the selected studies address crop-livestock integration systems. Approximately half of the studies were carried out in the Cerrado biome, in the Midwest region of Brazil. It is essential to continuously monitor soil properties and carry out future studies on the long-term effects of production systems on soil recovery, in addition to consolidated knowledge of the strategic potential of integrated systems to soil conservation, enhance production and optimize the use of natural resources, contributing to sustainable agricultural development in Brazil.

Keywords: Sustainable agriculture; ICLF systems; agrosilvopastoral systems; soil attributes; pasture recovery; soil conservation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo e critérios estabelecidos no levantamento de literatura sobre recuperação de solos degradados com adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.....	3
Figura 2. Graus de degradação das pastagens por bioma brasileiro em 2020.....	7
Figura 3. Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020.....	9
Figura 4. Distribuição de estudos por bioma brasileiro.....	23
Figura 5. Distribuição de estudos por modalidade de sistema de integração.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de arranjos do componente florestal em sistema ILPF.....	15
Tabela 2. Distribuição das áreas com implantação de ILPF no Brasil em 2021.....	16
Tabela 3. Efeitos dos sistemas de integração sobre os atributos do solo.....	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. Setor agropecuário no Brasil.....	3
3.2. Solos degradados	5
3.3. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)	11
3.4. Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta	16
3.4.1. Benefícios ecológicos e ambientais	16
3.4.2. Benefícios socioeconômicos	17
3.5. Desafios dos sistemas integrados de produção	18
3.6. Sistemas ILPF e recuperação de solos	19
3.6.1 Efeito do sistema ILPF nos atributos químicos do solo.....	20
3.6.2 Efeito do sistema ILPF nos atributos biológicos do solo.....	21
3.6.3 Efeito do sistema ILPF nos atributos físicos do solo.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

No contexto atual, diversos desafios importantes são enfrentados para produção de alimentos, energia e produtos florestais madeireiros e não madeireiros de forma sustentável e compatível com a disponibilidade de recursos naturais, especialmente solo e água (CORDEIRO et al., 2015). Isso evidencia a necessidade de novas alternativas de modelos de produção. Um sistema de produção sustentável prioriza o uso otimizado dos recursos naturais, maximização da produção e conservação do solo.

Assim, aumenta cada vez mais a importância de difundir mundialmente a concepção e práticas da produção agrícola e pecuária sustentável (CORDEIRO et al., 2015). No cenário de crescente demanda por alimentos, o Brasil desempenha papel importante a nível mundial como produtor agropecuário e, mais do que a maioria dos demais países, enfrenta o desafio de equilibrar produção agrícola e conservação ambiental (GIL et al., 2015).

Nesse cenário, há constante avanço da fronteira agrícola e pecuária no país, supressão de florestas e mudanças no uso do solo. O Brasil atualmente possui grandes áreas com solos degradados, principalmente as utilizadas para pastagens (MapBiomas 2020), o que acarreta na pressão para abertura ou supressão em novas áreas (MapBiomas, 2021). A ausência de técnicas adequadas de manejo do solo e exploração intensiva conduziu a este cenário, com efeitos negativos de perda de produtividade e resiliência destes solos (EMBRAPA, 2015).

Na busca por moldes produtivos aliados a conservação ambiental, a alternativa de produção integrada como os sistemas agrossilvipastoris ou sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) constituem alternativa promissora de modelo de produção sustentável. Este sistema se apresenta como uma forma de condução sinérgica entre diversificação da produção e uso otimizado do solo, aliado a manutenção da qualidade ambiental e potencial produtivo dos agroecossistemas (ASSIS et al., 2017). Além disso, constituem uma alternativa para recuperação de áreas degradadas, especialmente o potencial produtivo dos solos associados. Diversos autores enfatizam os benefícios que esses sistemas podem trazer em termos de propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (BALBINO et al., 2012a; ASSIS et al., 2015; DOLLINGER e JOSE, 2018).

Por meio da intensificação e diversificação dos sistemas de produção, além dos benefícios na recuperação e produtividade do solo, há também garantia de retorno do investimento e diversificação da renda dos produtores oriunda desses sistemas integrados (LEÃO et al., 2021).

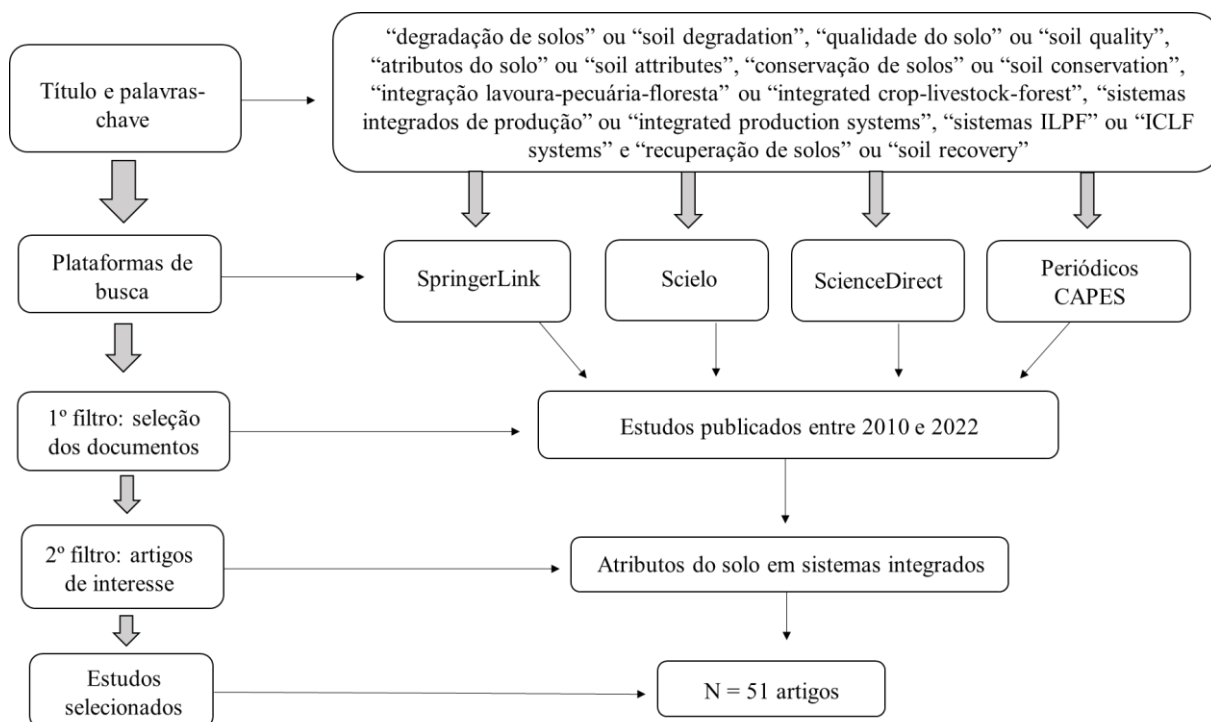
Portanto, são fundamentais iniciativas e estudos que evidenciem a importância da busca e implementação de alternativas de produção sustentável como o sistema ILPF, com vistas a contribuir efetivamente para o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo bibliométrico das principais publicações científicas sobre sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta como alternativa para recuperação de solos degradados entre 2010 e 2022.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica abrangendo os estudos existentes na literatura sobre recuperação de solos degradados empregando sistemas ILPF. Nesse sentido, foram utilizadas ferramentas de busca tais como Scielo (<https://www.scielo.br/>), Portal de Periódicos CAPES (<https://www.periodicos.capes.gov.br/>), ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com>) e SpringerLink (<https://link.springer.com>).

As palavras-chave buscadas nos idiomas português e inglês foram “degradação de solos” ou “soil degradation”, “qualidade do solo” ou “soil quality”, “atributos do solo” ou “soil attributes”, “conservação de solos” ou “soil conservation”, “integração lavoura-pecuária-floresta” ou “integrated crop-livestock-forest”, “sistemas integrados de produção” ou “integrated production systems”, “sistemas ILPF” ou “ICLF systems” e “recuperação de solos” ou “soil recovery” (Figura 1).

Figura 1. Processo e critérios estabelecidos no levantamento de literatura sobre recuperação de solos degradados com adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta



Foi realizada análise de materiais encontrados na literatura com abordagem qualitativa. Foram selecionadas produções científicas publicadas em periódicos nacionais e internacionais relatando experiências realizadas no Brasil, publicadas entre os anos de 2010 e 2022.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Setor agropecuário no Brasil

A agropecuária, composto pelas atividades de agricultura e pecuária, é uma atividade de grande importância na economia brasileira. Em 2021, o setor foi responsável por 48% da exportação brasileira e o PIB gerado atingiu R\$ 2,39 trilhão ou 27% do PIB nacional. Entre os segmentos do setor, a maior participação é da atividade agrícola, que corresponde a 74% desse valor (R\$ 1,78 trilhão), seguido pela pecuária com R\$ 612 bilhões (CEPEA, 2021). O Brasil continua consolidado no mercado internacional de *commodities* agropecuárias. Em 2021, o Brasil foi o quarto maior exportador de produtos agropecuários do mundo, aproximadamente USD\$ 121 bilhões, atrás somente da União Europeia, EUA e China. Nesse mesmo ano, o Brasil foi o maior exportador de açúcar, café, suco de laranja, soja em grãos, carnes bovina e de frango. Além disso, é o maior produtor mundial de soja em grãos, café, suco de laranja e açúcar, sendo o segundo de carne bovina (IPEA, 2022).

Um ponto crucial que tem sido alvo de debates a nível internacional é a permanência da intensa conversão do uso do solo e perda de cobertura florestal no Brasil. Em 2021, dentre as classes de cobertura e uso da terra no Brasil, a formação florestal abrange 66% da área total do país, e a agropecuária 31,15%. Segundo estimativas de MapBiomas (2022), em relação ao histórico de uso e cobertura do solo, 84,7 milhões de hectares foi o total da perda de vegetação nativa entre 1985 e 2021, correspondente a 13,5% de perda em relação à 1985. Houve aumento da mudança do uso do solo para agropecuária, de 21,2% em 1985 para 31,2% em 2021. Desse total, 17,77% foi convertido para pastagem, 7,37% para agricultura. Nesse mesmo período de tempo, 60 milhões de hectares de área de vegetação nativa foram convertidos em pastagem e outros 11 milhões de hectares foram convertidos em lavoura temporária nos últimos 30 anos no Brasil. Nesse cenário, a problemática dos níveis críticos de desmatamento, conversão do uso do solo de cobertura florestal para abertura de pastagem e agricultura é o ponto crucial da questão ambiental que o Brasil está inserido. A conservação da cobertura florestal existente e a recuperação de solos já degradados para resgate da sua produtividade é estratégia fundamental e a principal via de transformação desse cenário.

A busca pela sustentabilidade na produção agropecuária tem se tornado crescente dentro das cadeias produtivas do agronegócio brasileiro. Contudo, a problemática em torno da sustentabilidade da produção continua uma questão central no debate sobre a relação entre a agropecuária e meio ambiente. O uso excessivo dos recursos naturais sem considerações a longo prazo pode prejudicar o desenvolvimento sustentável com diversos efeitos negativos sobre a dinâmica produtiva e social (CECHIN e VEIGA, 2010). Assim, são necessárias avaliações permanentes sobre o crescimento da produção agropecuária em consonância com os princípios da sustentabilidade.

Considerando a preocupação ambiental relacionada ao desenvolvimento sustentável, a sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuária tem sido discutida amplamente ao longo do tempo. Pela sua natureza, a atividade agropecuária tem grande impacto ambiental, especialmente em comparação à condição natural de florestas. Contudo, é bastante discutida a possibilidade de conciliação da produção agropecuária moderna e sustentável, baseada em desenvolvimento técnico-científico, com impactos ambientais mínimos aliada a conservação ambiental e dos recursos naturais (VIEIRA FILHO, 2018). Nesse sentido, termos como “agricultura sustentável” e “agricultura de baixo carbono” passaram a entrar em evidência no contexto do processo de transformação e adaptação desse setor produtivo.

O Brasil está buscando se alinhar à agenda internacional no uso sustentável dos recursos naturais, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (*Sustainable*

Development Goals) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). Em 2009, na 15ª Conferência das Partes (COP15), o Brasil comprometeu-se, até 2020, com a redução de 36,1 a 38,9% as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse sentido, foi elaborado 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 (Plano ABC).

As ações do Plano ABC para produção agropecuária com baixa emissão de carbono incluem: recuperação de pastagens degradadas; difusão da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); expansão da área de florestas plantadas; tratamento de dejetos animais; adoção de Sistema de Plantio Direto (SPD); adoção de sistemas agroflorestais (SAF's) e adoção de sistemas integrados de produção (integração lavoura-pecuária - ILP e integração lavoura-pecuária e floresta - ILPF).

3.2. Solos degradados

Um dos maiores impactos negativos da modernização da agricultura, caracterizada pelo uso intenso de máquinas e insumos, como agroquímicos, é a degradação do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2003). Segundo Polidoro et al. (2021), considerando o uso e cobertura da terra no território brasileiro em 2017, estima-se que, com ausência de práticas agrícolas conservacionistas, dentre estas o sistema de plantio direto e ILPF, o potencial anual de perda de solo é de 3 bilhões de toneladas, desse total 29,5% são oriundos de lavouras e 61,4% de pastagens. Segundo estes autores, a estimativa do impacto econômico da perda de solo, com base nos custos de reposição de nutrientes com fertilizantes orgânicos e minerais, foi avaliada em USD\$15,7 bilhões por ano, para solos destinados a cultivos e pastagens. Nesse cenário, programas e políticas públicas que visem recuperar de solos degradados e alavancar a adoção de práticas e tecnologias de conservação do solo são essenciais para promover uma efetivamente agricultura sustentável e economicamente promissora para o país (OLIVEIRA et al., 2019).

Segundo Polidoro et al. (2019), no Brasil, a ausência de informações sobre a distribuição espacial dos tipos de solo, em escalas compatíveis com a demanda agrícola, tem conduzido à expansão de lavouras e pastagens em áreas com baixa aptidão ou em áreas que requerem preparo específico do solo. O mapeamento detalhado e a interpretação das propriedades do solo são importantes para alcance de uma agricultura sustentável e para redução da degradação do solo, principalmente o problema de erosão, à medida que o uso do solo e a produção são

intensificados com ferramentas de agricultura sustentável, a exemplo dos sistemas que integram agricultura, pecuária e floresta, denominados ILPF (POLIDORO et al., 2019).

No âmbito da agricultura, a degradação de solos influencia diretamente a diminuição da produção agrícola, por meio da redução da qualidade do solo como um todo, causando impactos negativos nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Nas regiões tropicais, o principal agente de degradação do solo é a erosão hídrica, que consiste em um processo natural de formação das paisagens que, no entanto, é intensificado pelas ações antrópicas e pelo uso intensivo inadequado do solo (POLIDORO et al., 2020).

O primeiro passo para controle da erosão hídrica do solo em escala regional é o planejamento do uso da terra de acordo com sua aptidão agrícola (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995) e, em escala local, na propriedade rural, é essencial que o solo seja destinado levando em consideração a sua capacidade, manejado com práticas de conservação adequadas (LEPSCH et al., 2015).

Os diversos processos que levam à degradação dos solos geralmente ocorrem em duas fases: a primeira é denominada como degradação agrícola e, a segunda, como degradação biológica. A degradação agrícola é o processo inicial no qual o sistema apresenta perda da produtividade econômica, com desequilíbrio pela ausência de ações que busquem mantê-lo no ponto ideal de controle das plantas invasoras e de agentes bióticos adversos como fitopatógenos e pragas, resultando em menor produção da cultura principal. Nesse cenário, não há necessariamente uma perda da capacidade do solo em sustentar o acúmulo de biomassa, porém, haverá perdas devido à redução do potencial de produção das plantas cultivadas. A degradação biológica consiste no processo final no qual há uma intensa diminuição da capacidade de produção e é provocada, primariamente, pela degradação dos solos, ocasionada por diferentes processos que conduzem à perda de nutrientes e de matéria orgânica, e ao aumento da acidez ou da compactação do solo. É nessa fase que os processos erosivos se tornam evidentes (WADT, 2003).

O principal uso dado ao solo brasileiro é a pastagem, ocupando 154 milhões de hectares com presença em todos os seis biomas, com maior abrangência no bioma Amazônia, onde houve crescimento de 40% na área de pastagem nas últimas duas décadas, segundo estimativas do Projeto MapBiomas (2021). Estimou-se ainda que, em 2020, da área total de pastagens encontradas no país, aproximadamente 52% se encontram em processo de degradação em diferentes graus, este cenário nacional pode ser verificado na Figura 2.

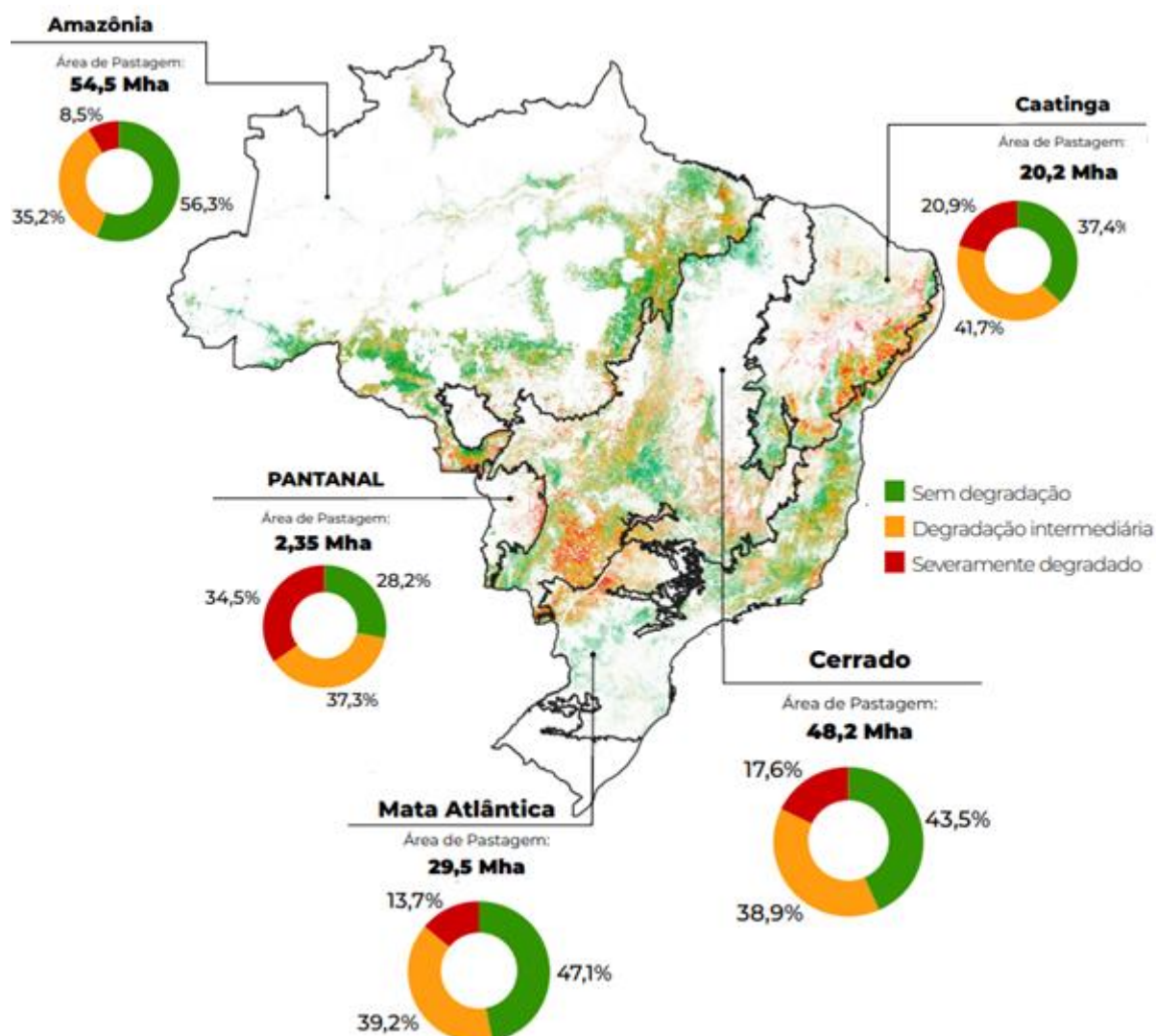


Figura 2. Graus de degradação das pastagens por bioma brasileiro em 2020.

Fonte: adaptado de MapBiomias (2021)

Entre os fatores mais relevantes relacionados à degradação das pastagens encontram-se a ausência de manejo das pastagens, que implica diretamente na redução da produtividade das pastagens ao longo dos anos. Além disso, o manejo ineficiente de animais implica em compactação do solo, erosão e perda de nutrientes do solo (GIL et al., 2018). Os sistemas integrados são especialmente úteis para mitigação desses fatores, uma vez que esta técnica foi desenvolvida, inicialmente, para melhoria dos atributos das pastagens e recuperar pastagens degradadas, contribuindo para a intensificação sustentável da agricultura, além de reduzir a pressão sobre a vegetação nativa principalmente nos biomas Cerrado e Amazônia (VILELA et al., 2011).

A degradação da pastagem é um processo evolutivo de perda de vigor, da produtividade e da capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e

qualidade requeridas pelos animais. Além disso, este processo compromete a capacidade do sistema de produção de superar os efeitos nocivos de plantas invasoras, pragas e doenças, resultando em degradação avançada dos recursos naturais, em decorrência de manejos inadequados (MACEDO e ZIMMER, 1993).

No processo de degradação das pastagens ocorre redução na produtividade da gramínea, causada principalmente pela degradação do solo, a qual é proveniente de alterações de natureza química, física ou biológica do solo (DIAS-FILHO, 2011). Nesse processo, o solo perde sua capacidade de sustentação da produção vegetal, diminuindo a disponibilidade de forragem para a alimentação animal (SOUZA et al., 2021). Segundo os autores, a recuperação das pastagens é uma necessidade atual para a pecuária brasileira, visando à conservação da qualidade do solo e a maior produtividade de biomassa e, conseqüentemente, melhorar os índices produtivos, visando uma atividade econômica competitiva. A renovação das pastagens pode ainda aumentar o sequestro de carbono atmosférico e, dessa forma, contribuir para redução das emissões de CO₂ e mitigação do efeito estufa e aquecimento da temperatura média da Terra (UNFCCC, 2015).

A degradação de pastagens e suas implicações para redução da fertilidade do solo e para a emissão de gases de efeito estufa torna-a uma questão altamente relevante pois compromete a sustentabilidade da produção agrícola (VILELA et al., 2011). As discussões sobre a relação entre a diminuição das substanciais emissões de GEE do setor agropecuário e os aumentos de produtividade e eficiência dos sistemas pecuários sinalizam como uma grande oportunidade para o setor e para o país, uma vez que para atender à crescente demanda por produtos pecuários e ampliar mercados, há necessidade urgente de mitigação das emissões e do impacto no sistema climático global (GERBER et al., 2013). A identificação e mapeamento das áreas de pastagens abandonadas de baixa produtividade e em estágios severos de degradação e o estímulo à implementação de medidas de recuperação de pastagens, são fundamentais para promover ações de mitigação das emissões de gases, favorecendo a transição para uma agropecuária de baixo carbono (SEEG, 2022).

Em 2020, as emissões nacionais brutas foram 2,16 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente, o maior nível de emissão do país desde 2006, segundo estimativa do SEEG (2021). As emissões do setor de agropecuária totalizaram 577 milhões de toneladas de CO₂ equivalente em 2020, o maior incremento de um ano para o outro desde 2010 (Figura 3).

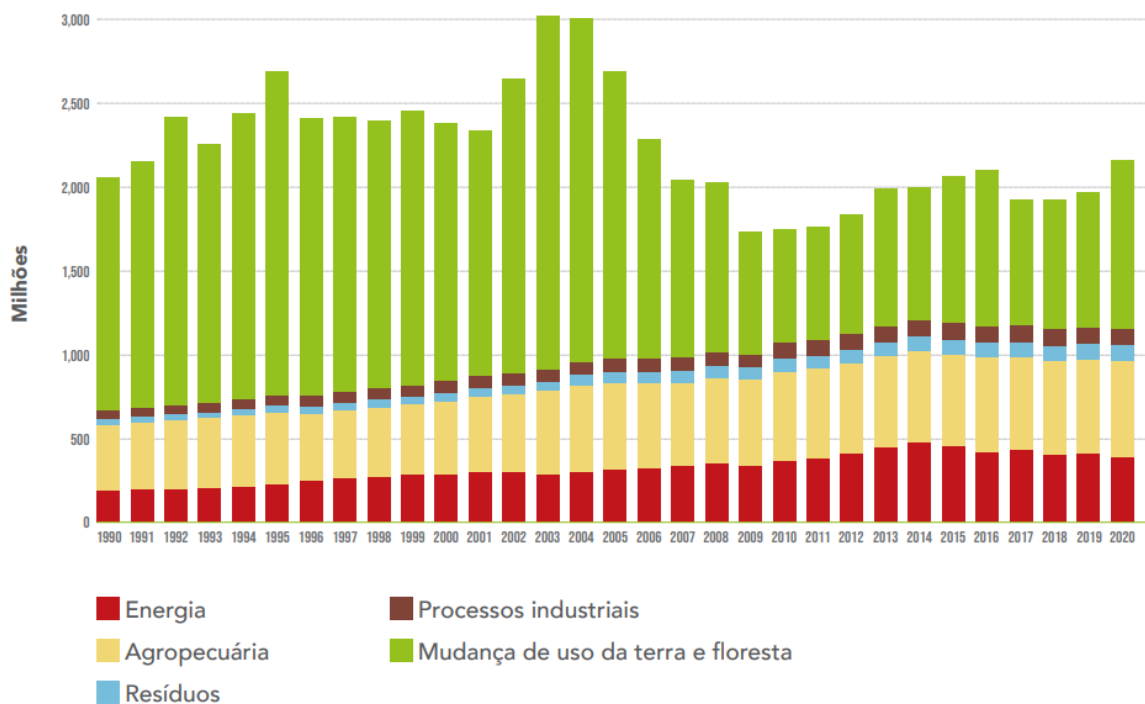


Figura 3. Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020.

Fonte: SEEG (2021)

No Brasil, em 2021, as maiores fontes de emissões de GEE são as mudanças de uso da terra e florestas e a agropecuária. Segundo estimativas do SEEG (2022), a maior fonte de emissões foi a mudança do uso da terra, responsável por 49% das emissões totais. Estima-se que 92,2% dessas emissões foram provenientes das alterações de uso do solo, onde inclui-se grande parte o desmatamento na Amazônia, além da degradação e conversão de solos, com o restante 7,8% das emissões proveniente de resíduos florestais. As atividades agropecuárias representam a segunda maior fonte de emissões do país, representando 25% das emissões totais. Estas estimativas também indicam que 79,4% das emissões do setor agropecuário são provenientes da produção animal, 8% da produção vegetal e 12,7% de outras fontes.

Strassburg et al. (2014) apontam que, no Brasil, a bovinocultura de corte é uma das principais responsáveis pela expansão da fronteira agropecuária, além de ser uma das principais fontes de emissão de GEE do setor, decorrente principalmente pelo uso de apenas 33% da capacidade instalada das pastagens, bem como pela baixa eficiência produtiva. Segundo Dias-Filho (2011), enquanto em áreas com pastagens degradadas a taxa de lotação é de 0,7 animais por hectare, em áreas com pastagens recuperadas e bem manejadas a taxa de lotação passa para pelo menos 2,5 animais por hectare, o que demonstra a grande oportunidade com o potencial aumento da eficiência na produção animal em pastagens na pecuária brasileira e de mitigação das emissões de GEE.

A incorporação de um componente arbóreo em sistemas integrados com plantio direto pode aumentar a produtividade desses sistemas e fornecer serviços ambientais, como o sequestro de carbono no solo e na biomassa arbórea superiores aos estoques de carbono acumulados em outros sistemas integrados mais simples, dependendo da destinação e uso final do componente arbóreo (UDAWATTA e JOSE, 2012). Nesse cenário, destaca-se o exemplo da marca-conceito “Carne Carbono Neutro”, desenvolvida pela EMBRAPA, instituída para atestar a carne bovina que apresenta seus volumes de emissão de GEE neutralizados durante o processo de produção, isso é possibilitado pela inserção de árvores em sistemas de integração do tipo pecuária-floresta (IPF) ou lavoura-pecuária-floresta (ILPF), por meio de processos produtivos parametrizados e auditados (ALVES et al., 2015).

Assim, sistemas integrados de produção agropecuários têm despertado interesse crescente como uma estratégia para o uso sustentável da terra por possibilitar menor impacto ambiental das atividades produtivas, além da diversificação de renda (MORAES et al., 2014). Adicionalmente, a cobertura de árvores tende a reduzir os extremos de temperatura e reduzir a velocidade do vento, o que, dentro de certos limites, pode ser considerada também como um benefício para o bem-estar animal (LOPES et al., 2016).

A crescente demanda por madeira também impulsionou a introdução do componente florestal nesses sistemas como estratégia de mitigação de emissões de gases da produção agropecuária, redução do desmatamento e redução da perda de biodiversidade. O uso extensivo de agroquímicos e fertilizantes e a adoção do sistema produtivo em monocultura é reconhecido como uma ameaça significativa à biodiversidade (BENTON et al., 2003). O componente florestal pode melhorar a heterogeneidade do habitat, intensificar os fluxos de espécies e reduzir o risco de predação das espécies que dependem da complexidade da vegetação como táticas de fuga (PERFECTO e VANDERMEER, 2010).

Portanto, os sistemas integrados apresentam elevado potencial que merece destaque na agenda de agricultura sustentável do governo brasileiro para agricultura de larga escala e pecuária (BRASIL, 2013). Essa tecnologia pode ser uma alternativa viável escalável para o Brasil consolidar sua posição como líder global na produção de alimentos, utilizando práticas sustentáveis. Além disso, este tipo de sistema de produção apresenta potencial para contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável instituídos (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU) (REIS et al., 2020). Os ODS's constituem-se como apelo global a ações para garantia de boas condições de vida à humanidade em todo o planeta, e a fortalecimento de sistema integrados de produção podem contribuir principalmente para a

fome zero e agricultura sustentável (Objetivo 2), combate às mudanças climáticas (Objetivo 13) e consumo e produção sustentáveis (Objetivo 12).

3.3. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais realizadas em uma mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, a qual busca atingir efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema. Esta integração contribui para recuperação de áreas degradadas, manutenção e reconstituição da cobertura florestal, promoção e geração de emprego e renda, adoção de boas práticas agropecuárias (BPA), melhoria das condições sociais, adequação da unidade produtiva à legislação ambiental e valorização de serviços ambientais oferecidos pelos agroecossistemas. Como serviços, a conservação dos recursos hídricos e edáficos, abrigo para os agentes polinizadores e de controle natural de insetos-pragas e doenças, fixação de carbono e nitrogênio, redução da emissão de gases de efeito estufa, reciclagem de nutrientes, biorremediação do solo, manutenção e uso sustentável da biodiversidade (BRASIL, 2012).

Os sistemas integrados lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) são técnicas desenvolvidas no início da década de 1990 para promover a intensificação sustentável da agricultura e aumentar a eficiência no uso de recursos produtivos, principalmente recursos ambientais, em sistemas agrícolas no Cerrado e na Amazônia (KLUTHCOUSKI et al., 2003). Segundo Vilela et al. (2011), o foco inicial no uso de sistemas integrados foi adaptar práticas de conservação do solo, como o plantio direto para redução da perda de solo e lixiviação. Além da adoção de estratégias para aumento da matéria orgânica do solo e, com isso, melhorar a qualidade do solo e sua produtividade.

Segundo Carvalho et al. (2014) o sistema ILPF constitui uma alternativa sustentável, que envolve a associação entre culturas agrícolas, criação de gado, pastagem e espécies arbóreas, de forma a repetir um ambiente natural, através do consórcio de várias espécies em uma mesma área, diversificando o ecossistema. Esses sistemas tem como principal objetivo a mudança do sistema de uso da terra, especialmente em locais ou situações onde monocultivos estão perdendo desempenho, sobretudo nas áreas de pastagens degradadas. A estratégia ILPF fundamenta-se na associação e sinergismo dos componentes do sistema produtivo, para atingir níveis cada vez mais elevados em termos de qualidade do produto, conservação ambiental e competitividade no mercado (EMBRAPA, 2019).

Balbino et al. (2011) define sistema ILPF como uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica.

Os sistemas ILPFs estão vinculados a produção sustentável de alimentos, pois apresenta resultados positivos em relação a viabilidade econômica, social e ambiental (ASSIS et al., 2015). A diversificação da produção de sistemas integrados, promove em sinergia entre os componentes florestal, pecuário e agrícola. Assim, é otimizado o uso do solo, minimizando a procura de novas áreas para cultivo para serem abertas. Além disso, existe elevação da biodiversidade local, com ocorrência de processos de interação animal que desfavorecem organismos antagônicos à produção agrícola, pecuária e florestal, como pragas e doenças (CORDEIRO et al., 2015).

O sistema ILPF integra sistemas produtivos diversificados, de origem vegetal e animal, realizados para otimizar os ciclos biológicos das plantas e dos animais, bem como dos insumos e seus respectivos resíduos. Além disso, a concepção sistêmica dessa estratégia inclui outros atributos desejáveis ao agroecossistema em relação à sua adequação ambiental, como a manutenção das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Reserva Legal (RL), reconhecendo os benefícios dos serviços ambientais prestados aos sistemas de produção, os quais ultrapassam a necessidade de cumprimento da legislação ambiental (BALBINO et al., 2012b). Segundo estes autores, os sistemas de integração estão se expandindo, especialmente para produção de grãos, fibras, energia, florestas e bovinos de corte e leite, além de ovinos e caprinos, dependendo da região. A utilização desses sistemas, nas situações em que a sua execução seja viável, torna a ser de grande importância para a recuperação de áreas em processo de degradação, tanto de pastagens como de lavouras.

Segundo Balbino et al. (2011), os sistemas de integração podem ser classificados e definidos, basicamente, em quatro grupos:

- i) Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Agropastoril: sistema de produção que tem como integrantes o componente agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e em um mesmo ano agrícola ou por vários anos, em sequência ou intercalados;
- ii) Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou Silvipastoril: sistema de produção integrado com componente pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio. Este sistema de produção é direcionado principalmente para áreas com dificuldade de implantação de lavouras, por isso, inclui apenas os componentes florestal e pecuário em uma mesma área;

iii) Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Silviagrícola: sistema de produção que integra o componente florestal e agrícola por meio da consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas anuais ou perenes;

iv) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, incluindo também o componente florestal, em uma mesma área. Neste sistema o componente agrícola restringe-se ou não à fase inicial de implantação do componente florestal.

Os sistemas podem ter diversas espécies de componentes agrícola, pecuário e arbóreo com diferentes arranjos e a definição dos componentes é feita com base nas características da região, aptidão da área, condição do solo, demandas de mercado, objetivos atuais e futuros com a produção (BALBINO et al., 2012). A escolha e implantação adequada do componente florestal é de fundamental para o sucesso do sistema. A definição das espécies devem levar em consideração características como adaptação ao sítio; arquitetura da copa favorável; facilidade de estabelecimento, exigências do mercado para os produtos das árvores como madeira, frutos e sementes; agregação de valor aos produtos advindos das árvores; escolha de espécies de rápido crescimento; sistema radicular que atinja elevada profundidade; produtos e serviços ambientais (fixação biológica de nitrogênio, mobilização de fósforo, ciclagem de nutrientes, controle de erosão e escoamento superficial da chuva), sombra para os animais e compatibilidade com pastagens e gado, ou seja, não apresentando efeitos negativos aos animais como toxicidade, ou de forma que impeça o crescimento das forrageiras para as pastagem (SILVA et al., 2007).

Na ILPF, a forma de distribuição das árvores no terreno é um importante elemento estrutural. Esta deve ser realizada de maneira a atender as demandas de mercado tanto de quantidades tanto em qualidade, controlar a competição por luz entre as espécies florestais e os cultivos agrícolas e pastoris; propiciar o trânsito de máquinas, as práticas de conservação de solo e água, e os benefícios ambientais como o sequestro de carbono, o bem-estar animal, a diminuição da velocidade dos ventos e a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo. (SILVA et al., 2008).

A definição do melhor arranjo espacial depende diretamente dos objetivos de produção, respeitando-se o princípio básico de que a disposição de plantio deve priorizar não impactar negativamente os outros componentes do sistema. O mais comum é a adoção de aleias (fileiras de árvores) onde as árvores são plantadas em faixas ou renques, com linhas de árvores simples ou múltiplas (SILVA et al., 2008). Segundo estes autores, os fatores determinantes para o dimensionamento da ILPF incluem:

i) A finalidade do plantio e o mercado para os produtos florestais: Diversos produtos florestais podem ser obtidos como carvão, madeira serraria ou celulose. Para isso, obter informações sobre o mercado e demanda, as exigências de padrões de qualidade e o preço a ser pago para cada tipo de produto é fundamental. Em sistemas de ILPF que priorizam a produção madeireira ou o sombreamento para os animais é possível encurtar as distâncias entre os renques ou aumentar o número de árvores nas linhas. Se o objetivo principal for a produção de grãos e carne, deve-se adotar maiores distâncias entre os renques e um menor número de linhas de árvores. Nestes sistemas não são recomendadas distâncias inferiores a 14 metros entre renques;

ii) Orientação da linha de plantio das árvores nas condições edafoclimáticas brasileiras: a principal preocupação com a orientação das árvores deve ser a conservação do solo e da água. Em áreas de relevo acidentado, o plantio de árvores em curvas de nível favorece a conservação do solo e da água e controle da erosão hídrica. Em relevo plano recomenda-se o plantio no sentido leste-oeste, permitindo melhores condições de luminosidade. No entanto, no sul do Brasil, com inclinação solar menor pode-se adotar o sentido norte-sul, com o objetivo de cultivar espécies de inverno nas entrelinhas de plantio das árvores;

iii) Adequação ao maquinário disponível: O arranjo de plantio deve possibilitar o trânsito de máquinas agrícolas. Para tal, a distância entre renques e o espaçamento de plantio nos renques não devem ser menores do que as dimensões dos equipamentos comumente utilizados nos tratos culturais.

O espaçamento entre os renques de árvores, sejam eles formados por uma linha ou por mais de uma linha, é maior do que o utilizado nos monocultivos de árvores. A distância entre as árvores, o número de linhas de árvores que formam o renque e a distância entre os renques pode ser ajustado previamente, de acordo com a finalidade de interesse seja para produção de energia, celulose ou madeira serrada (SILVA et al., 2009a). Exemplos de tipos de espaçamento e quantidade de indivíduos arbóreos por área estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de arranjos do componente florestal em sistema ILPF

Arranjo espacial	Finalidade da madeira					
	Carvão e lenha			Serraria e laminação		
	Espaçamento (m)	nº árvores/ha	Área ocupada pela faixa de árvores (%)	Espaçamento (m)	nº árvores/ha	Área ocupada pela faixa de árvores (%)
Faixa de árvores em linha simples	14 x 2	357	14,3	14 x 4 ou 28 x 4	179 ou 89	14,3 ou 7,1
Faixa de árvores em linha dupla	14 x 2 x 3	417	25	18 x 3	185	11,1
Faixa de árvores em linha tripla	14 x 3 x 1,5	1000	40	20 x 3	167	10

Fonte: adaptado de Silva et al. (2009a).

Segundo estimativas de Polidoro et al. (2020), de um total de aproximadamente 209 milhões de hectares sob uso agropecuário no Brasil, 8,35% desse total encontra-se com implantação de sistemas ILPF, o que corresponde a 17,43 milhões de hectares, sendo Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Rio Grande do Sul os estados com maiores áreas implantadas, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição das áreas com implantação de ILPF no Brasil em 2021

Região	Estado	Áreas sob uso agropecuário	Área com integração 2020/2021	
		(ha)	(ha)	(%)
Norte	Acre	155.0224	473	0,03
	Amazonas	2.221.744	14.299	0,64
	Amapá	242.498	0	0
	Pará	13.493.870	649.615	4,81
	Rondônia	6.700.660	118.952	1,78
	Roraima	710.225	28.001	3,94
	Tocantins	8.065.233	760.459	9,43
Nordeste	Alagoas	1.555.272	7.021	0,45
	Bahia	21.996.268	829.583	3,77
	Ceará	5.142.852	62.898	1,22
	Maranhão	4.797.636	105.012	2,19
	Paraíba	2.152.310	207.050	9,62
	Pernambuco	4.273.523	330.863	7,74
	Piauí	5.599.900	112.661	2,01
	Rio Grande do Norte	2.298.618	336.666	14,65
Centro-Oeste	Sergipe	1.282.116	2.696	0,21
	Goiás e DF	19.745.814	1.434.780	7,27
	Mato Grosso	30.957.213	2.281.544	7,37
Sudeste	Mato do Grosso do Sul	19.504.048	3.169.987	16,25
	Espírito Santo	1.186.482	179.544	15,13
	Minas Gerais	19.217.726	1.591.255	8,28
	Rio de Janeiro	1.016.170	18.211	1,79
	São Paulo	14.916.482	1.308.933	8,78
Sul	Paraná	9.387.407	633.106	6,74
	Rio Grande do Sul	7.108.887	2.216.008	31,17
	Santa Catarina	3.573.999	1.031.917	28,87
Total		208.697.177	17.431.533	8,35

Fonte: Rede ILPF (2021)

3.4. Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

3.4.1. Benefícios ecológicos e ambientais

Balbino et al. (2011) elencaram como principais benefícios ecológicos e ambientais dos sistemas ILPF: i) redução da pressão para a abertura de novas áreas; ii) melhor eficiência no uso dos recursos naturais pela complementaridade e sinergia entre os componentes vegetais e animais; iii) promoção da biodiversidade, favorecimento de novos nichos e habitats para os agentes polinizadores das culturas e inimigos naturais de insetos-praga e doenças; iv) diminuição no uso de agroquímicos para controle de doenças, insetos-praga e plantas daninhas;

v) aumento da capacidade de biorremediação do solo; vi) proteção do solo e redução dos riscos de erosão; vii) melhoria da qualidade da água; viii) mitigação do efeito estufa, resultante da maior capacidade de sequestro de carbono; ix) menor emissão de metano na produção de carne; e x) intensificação da ciclagem de nutrientes.

Segundo Primavesi (2007) os sistemas de produção integrando lavoura, pecuária e floresta potencializam a melhor dinâmica hídrica, principalmente pela inserção do componente florestal, pois ocorre a melhoria na distribuição de vapor de água, estabilização da temperatura e da umidade relativa do ar, proteção da superfície do solo, além de ser ferramenta eficaz de mitigação da emissão de gases poluentes frente ao cenário de mudanças climáticas. Os componentes arbóreos atuam não somente como estabilizadores térmicos e formadores de nuvens interceptadoras de radiação solar, mas ao depositar material vegetal sobre o solo, também atuam como interceptadores e armazenadores de águas pluviais.

3.4.2. Benefícios socioeconômicos

EMBRAPA (2019) destaca como principais benefícios econômicos e sociais obtidos pela adoção do sistema ILPF:

- i. otimização dos recursos de produção imobilizados na propriedade rural, como terra e maquinários;
- ii. sinergia entre as atividades de produção vegetal e animal, possibilitando, por exemplo, a utilização de resíduos agrícolas, a fixação de nitrogênio pelas leguminosas e a reciclagem de nutrientes;
- iii. diversificação de receitas, mediante a produção e a venda de grãos, carne, leite, biocombustível, fibras e madeira;
- iv. redução do custo total do sistema agropecuário em decorrência, sobretudo, do melhor uso da infraestrutura de produção e da menor demanda por insumos agrícolas, com redução dos custos decorrentes da utilização dos resíduos agrícolas na alimentação animal e da oferta de pastagens de melhor qualidade;
- v. aumento da receita líquida (lucro) do sistema devido ao aumento das receitas e a redução do custo total;
- vi. maior estabilidade temporal da receita líquida diante das externalidades; e
- vii. dinamização de vários setores da economia, principalmente em escala regional.

3.5. Desafios dos sistemas integrados de produção

O sistema ILPF é uma estratégia promissora capaz de conciliar ecoeficiência com desenvolvimento socioeconômico, porém, para seu sucesso, requer esforços dos setores público e privado, além do terceiro setor. Atualmente, é crescente o número de propriedades agrícolas de diferentes dimensões e aptidões que passaram a empregar sistemas integrados de produção. A diversidade de condições regionais do país aponta a necessidade de estudos regionalizados sobre a viabilidade da combinação de diferentes espécies.

Tornam-se necessários a ampliação e adequação de mecanismos de política pública para que produtores rurais consigam superar barreiras de diversas naturezas, como por exemplo a barreira econômica, tal como a necessidade de investimento inicial. Dessa forma, esses mecanismos ajudarão superar barreiras operacionais, como a necessidade de conhecimento tecnológico, maiores investimentos em capacitação de técnicos e na formação de profissionais especializados e escolas agrárias profissionalizantes (EMBRAPA, 2019).

Ações de transferência de tecnologia são fundamentais para difundir conhecimentos técnicos atualizados e formando técnicos multiplicadores, contribuindo, assim, para o aprimoramento de sistemas já implementados ou fornecimento de subsídios para o planejamento adequado e condução de novas implantações. Entre as ações de transferência de tecnologia mais comuns, destaca-se a promoção de cursos para a formação de técnicos multiplicadores e a realização de dias de campo, com a participação de técnicos, consultores e produtores rurais.

Diversas destas ações são realizadas combinando visitas a campo, onde é possível conhecer experiências reais com históricos de implantação e condução, como ocorre nas chamadas Unidades de Referência Tecnológica (URT). Diversas são as fontes de informação que têm influenciado o processo de adoção de sistemas ILPF, destacando-se entre as mais citadas o conhecimento de experiências de adoção por produtores vizinhos e amigos, cooperativas e consultores (PEREIRA et al., 2019).

Embora a adoção possa ocorrer de forma fragmentada em determinado território, certamente terá sua maior probabilidade de se estabelecer e se irradiar, local ou regionalmente, caso haja coexistência de condições adequadas para tal. Dessa forma, cria-se cenários favoráveis através da disponibilidade de acesso a recursos humanos, financeiros e institucionais, com ações voltadas para incrementar o processo de adoção de sistemas ILPF no Brasil, consideradas as particularidades e desafios de cada região e biomas, com definição de áreas prioritárias para foco na adoção de sistemas ILPF (PEREIRA et al., 2019).

3.6. Sistemas ILPF e recuperação de solos

O elevado índice de degradação dos solos tem induzido a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, as quais proporcionam aliar a produção agropecuária a conservação dos solos, da água e da biodiversidade. Nesse sentido, a adoção de sistemas de produção que viabilizem e potencializem a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo consiste em uma prática que permite implementar formas de manejo mais sustentáveis (SALES et al., 2015).

Os efeitos positivos do sistema ILPF sobre os atributos dos solos em comparação a sistemas convencionais de produção agrícola são amplamente relatados na literatura. Nesse contexto, se torna cada vez mais importante enfatizar e ampliar o foco no potencial desta técnica de manejo para a regeneração de solos, com grandes benefícios ambientais, como a mitigação de emissões de CO₂, otimização do uso da água e nutrientes do solo.

Indicadores da qualidade do solo tais como os atributos físicos, químicos e biológicos são utilizados para determinar alterações provocadas pelas diferentes práticas de manejo e produção (SALES et al., 2015). No caso dos sistemas ILPF, o componente florestal pode contribuir positivamente nos atributos biológicos do solo, além de ter se mostrado cada vez mais evidente seu impacto positivo sobre as demais propriedades químicas e físicas do solo (SILVA et al., 2009b).

De forma geral, os impactos positivos do sistema ILPF de relação direta com a recuperação de solos, segundo EMBRAPA (2019) incluem:

- Manutenção ou incremento da matéria orgânica do solo através da fixação de carbono pela fotossíntese e pela transferência de nutrientes decorrente da queda de folhas/ramos e apodrecimento de raízes velhas;
- Fixação de nitrogênio por espécies leguminosas e não leguminosas, como a Casuarina.
- Elevação do teor de nutrientes extraídos de rochas intemperizadas nas camadas profundas do solo, por conta das raízes as quais induzem um grau de intemperismo, especialmente nas camadas mais profundas do solo (horizontes B e C).
- Criação de condições favoráveis para ganhos ou entradas de nutrientes por meio da chuva, inclusive via chuva interna (gotejamento) e fluxo de caule.

Dentro do sistema pode se proporcionar redução das perdas de solo por meio da proteção do solo contra erosão, viabilizando a redução das perdas de matéria orgânica e nutrientes. Além

disso, há menores perdas de solo por conta da recuperação de nutrientes, fixando e reciclando nutrientes que poderiam ser perdidos, também devido à uma menor taxa de mineralização da matéria orgânica decorrente da existência da sombra (EMBRAPA. 2019).

3.6.1. Efeito do sistema ILPF nos atributos químicos do solo

O acúmulo de material vegetal residual na superfície do solo resulta em efeitos benéficos como maiores teores de carbono e de matéria orgânica, podendo contribuir para a melhoria das propriedades do solo (SALTON et al., 2014). Assim, pode-se alcançar maiores benefícios em sistemas integrados por meio da reciclagem de nutrientes por meio da formação de liteira com a queda de folhas e galhos do componente arbóreo do sistema. Loss et al. (2012) relataram qualidade superior do solo de área com sistema integrado, em que foi constatado maiores níveis de fertilidade do solo e estoques de nutrientes de cultivo em comparação ao solo sob sistema convencional.

De forma geral, verifica-se considerável potencial de acúmulo de carbono no solo com implementação de sistemas integrados (CARVALHO et al., 2010; SOARES et al., 2020; ALMEIDA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2018), em comparação a pastagens degradadas, onde geralmente são encontradas perdas substanciais de carbono no solo (CARVALHO et al., 2010; SALTON et al., 2011).

Zolin et al. (2021) ao avaliarem o efeito a curto prazo de um sistema lavoura-pecuária-floresta nas perdas de solo, água e nutrientes em uma área no Mato Grosso, uma das mais importantes e vulneráveis fronteiras agrícolas no Brasil, observaram menores perdas de carbono e nitrogênio no sistema ILPF em relação ao sistema de plantio direto, além de indicar maior capacidade de redução da perda de solo ou erosão ao longo da estação chuvosa. Os autores consideraram possível apontar que os sistemas ILPF podem trazer benefícios para o manejo agrícola sustentável em fronteiras agrícolas no Cerrado-Amazônia, com redução da perda de solo, água e nutrientes, com alcance de efeito sinérgico positivo para a conservação do solo, água e nutrientes através do ILPF.

Silva et al. (2022) compararam sistemas de plantio direto (SPD) de diferentes culturas agrícolas e arranjos de sistemas ILPF aos 5 anos após a implantação em Alagoinha-PB, em solo classificado como Planossolo Nátrico Órtico. Em ambos os sistemas SPD e ILPF foram observados incrementos nos teores de carbono orgânico no solo e fósforo disponível em comparação ao ecossistema natural. Além disso, no solo sob ILPF foram avaliados efeitos positivos sobre a produção de biomassa aérea e raízes, favorecendo o aumento dos valores de

pH e os teores de carbono orgânico e fósforo disponível no solo. Estes índices de qualidade do solo, observados em ambos os sistemas de cultivo, evidenciam que sistemas de plantio que consideram a manutenção de habitat e energia para fauna do solo, tais como sistema ILPF e plantio direto, contribuem para o estabelecimento de uma teia trófica diversificada, com provisão de serviços ecossistêmicos favorecendo a ciclagem de nutrientes.

3.6.2. Efeito do sistema ILPF nos atributos biológicos do solo

A implementação de sistemas ILPF confere estrutura microbiana do solo modificadas em relação às pastagens degradadas, em razão da maior diversidade da comunidade microbiana, podendo, assim, alterar positivamente as propriedades biológicas do solo tais como carbono orgânico total, carbono microbiano e quociente microbiano (SOUZA et al., 2010; LISBOA et al., 2014).

Assis et al. (2017) analisaram as propriedades biológicas do solo em duas propriedades rurais após 3 anos de implantação de sistemas ILPF utilizando *Eucalyptus urograndis* como componente florestal. Em ambas as propriedades, a degradação da pastagem foi causada pela pressão de pastejo e baixa produtividade de gramíneas. Na Fazenda localizada em Mato Grosso o solo é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distroférrico Argiloso e foi utilizado para agricultura há 10 anos. A implantação da ILPF ocorreu em 2009 e no primeiro ano de plantio do eucalipto, cultivou-se arroz em plantio direto; no segundo e terceiro ano soja e arroz; e no terceiro ano foi consorciado milho com forrageira, o que também ocorreu no quarto ano, quando foi introduzido o gado de corte. Foram analisadas as propriedades biológicas de três áreas: 1) ILPF1: eucalipto em faixas com fileiras simples com 2 m entre árvores e 20 m entre as faixas; 2) ILPF3: eucalipto em faixas com fileiras triplas, com 3 m x 2 m entre fileiras e árvores e 20 m entre as faixas; 3) pastagem degradada como referência. Na propriedade localizada em Goiânia, com Latossolo argiloso Vermelho Ácrico, o sistema foi implantado em 2008 e foram comparados solos sob pastagem recuperada, pastagem degradada e com ILPF implantado sobre área de pastagem. Também foram instaladas árvores em fileiras triplas (ILPF3), com o mesmo espaçamento 3 x 2 m, mas com 14 m entre as faixas. No primeiro ano o solo foi gradado, nivelado, corrigido com calagem e implantado eucalipto e soja. No segundo ano, o milho foi consorciado com forrageiras e introduzido o gado de corte. A pastagem recuperada era composta por capim Kikuyu (*P. clandestinum*) e forrageira *U. brizantha*. Essa área também foi corrigida em 2008 e o solo foi preparado da mesma forma que no ILPF para o plantio de forrageira *U. brizantha*. A pastagem degradada, sem calagem, era composta por

capim Kikuyu e *U. decumbens*. Foram analisados solos em pontos aleatórios nas pastagens degradadas, e nos sistemas ILPF foram analisados pontos em relação a distância para o componente florestal, todas na camada de 0-10 cm. Neste estudo foi verificado que, com base no menor quociente metabólico e menor respiração basal verificados, no solo com ILPF1 houve maior equilíbrio em suas atividades metabólicas em relação à pastagem degradada e ILPF3, ou seja, menor estresse sobre a microbiota, o que é desejável em sistemas de cultivo. Esse resultado indica que pode ser encontradas diferenças nas propriedades do solo quando o solo sob pastagem é convertido em ILPF, mas o número de linhas adotado no sistema também pode influenciar a dinâmica dos microrganismos no solo e a qualidade dessas propriedades. Os autores também reportaram que a distância em relação à fileira de árvores teve pouco efeito sobre as propriedades biológicas do solo dos sistemas integrados e da pastagem degradada. As propriedades carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e quociente microbiano foram as propriedades que mais diferenciaram os sistemas integrados da pastagem degradada.

3.6.3. Efeito do sistema ILPF nos atributos físicos do solo

Entre os principais atributos físicos encontram-se a densidade do solo, a porosidade total e suas frações granulométricas, os quais são parâmetros importantes da estrutura do solo diretamente associados à produtividade de culturas (SALES et al., 2015).

Macedo (2009) discorre que os sistemas integrados aumentam a estabilidade dos agregados e a taxa de infiltração de água e diminuem a densidade do solo e a compactação em relação a sistemas convencionais. Assis et al. (2015) avaliaram as propriedades físicas do solo em sistemas ILPF incluindo eucalipto, cultivares agrícolas e gado de corte em comparação com solo de pastagens degradadas em duas áreas em Nova Canãa do Norte-MT e Cachoeira Dourada-GO, com implantação do componente arbóreo em fileiras simples e triplas, mesmo experimento de Assis et al. (2017) detalhado anteriormente, mas com análise nas camadas do solo de 0-10 e 10-20 cm. Os autores observaram que os sistemas ILPF promoveram melhoria na qualidade física do solo em relação à pastagem degradada. Também foi observado que em Nova Canãa do Norte o sistema ILPF com uma linha de eucalipto propiciou melhor recuperação da qualidade física do solo em relação à pastagem degradada do que o sistema ILPF com três linhas de eucalipto. Constatou-se também que qualidade física do solo nos sistemas ILPF variou em função da distância em relação à linha de árvores. Além disso, a densidade e o arranjo poroso do solo na camada 0,10-0,20 m foram os principais responsáveis por discriminarem os sistemas integrados da pastagem degradada.

Moreira et al. (2018), ao comparar os atributos físicos do solo em diferentes usos do solo tais como ILPF, pastagem, floresta plantada e lavouras com plantios, observaram maior porosidade total e microporosidade no sistema ILPF. Além disso, verificaram que atributos como densidade do solo, argila dispersa em água e matéria orgânica do solo não foram prejudicados em comparação ao solo em floresta nativa. Estes resultados indicaram que o sistema ILPF não afetou negativamente a qualidade física do solo, diferente do verificado nos solos destinada a somente lavouras. Os autores verificaram que os usos do solo com menor impacto na condição física do solo foram o sistema ILPF e a floresta plantada. Além disso, apontaram que a combinação de culturas e espécies no sistema ILPF com diferentes sistemas radiculares pode favorecer a formação de microporos, contribuindo para o maior volume de microporosidade verificado neste sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior parte dos estudos abordando atributos do solo em sistemas integrados de produção foram realizados no bioma Cerrado, correspondente a 49% do total de trabalhos selecionados (Figura 4). Desse total, 43% relatam sistemas implantados na região Centro-Oeste, com maior número de pesquisas no estado do Mato Grosso, onde encontram-se as principais fronteiras agrícolas do país. No bioma amazônico foram realizados 10% dos estudos selecionados. É fundamental a ampliação do conhecimento e realização de pesquisas nesse sentindo em solos tropicais amazônicos, um bioma onde a fronteira agrícola mais avançou nas últimas décadas, com expressiva conversão do uso da terra para pastagem, conforme estimativas de MapBiomas (2021).

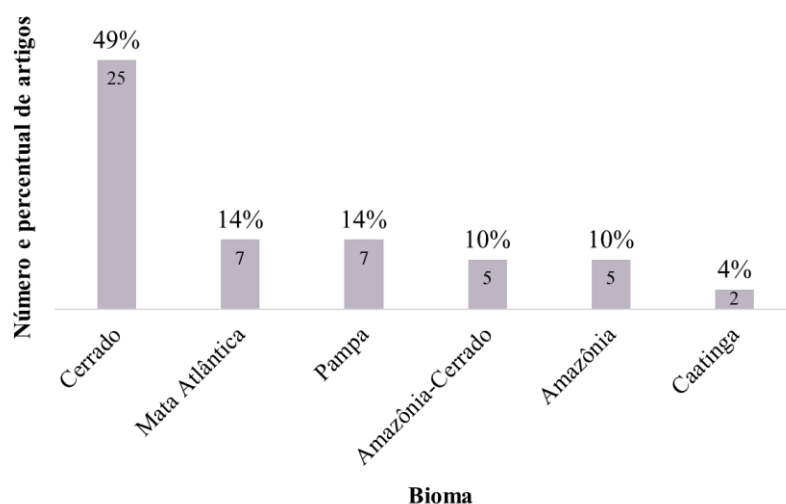


Figura 4. Distribuição de estudos por bioma brasileiro

De forma geral, a literatura aponta efeitos positivos da implantação de sistemas ILPF sobre as propriedades do solo, indicando seu potencial de recuperação e conservação dos atributos do solo e manutenção da produtividade (Tabela 3). A maior parte dos estudos ainda concentram os efeitos iniciais dos sistemas sobre as propriedades do solo, com variações ainda não acentuadas a curto prazo (até 5 anos de implantação). É importante a realização de estudos e monitoramentos sobre os efeitos a longo prazo dos sistemas de produção sobre recuperação e atributos do solo.

Tabela 3. Efeitos dos sistemas de integração sobre os atributos do solo

Tipo de sistema	Tempo de avaliação	Atributos avaliados	Principais resultados
ILPF	3 anos	Físicos	manutenção da disponibilidade de água e incremento teor de carbono orgânico; pouco efeito sobre os atributos físicos de porosidade e estabilidade dos agregados a curto prazo
ILPF e ILP	3 anos	Físicos	incremento nos teores de argila e água no solo; menor resistência do solo à penetração e favorecimento ao desenvolvimento vegetal e produtividade
ILP	3 anos	Físicos	menores densidade do solo; maiores macroporosidade e porosidade total nos sistemas; similar capacidade de retenção de água em relação a outros sistemas conservacionistas
ILP	1 ano	Físicos	manutenção da densidade do solo em relação a lavoura agrícola; menor resistência do solo à penetração; maior teor de carbono orgânico e maior índice hídrico ótimo
ILP	11 anos	Físicos	menor impacto negativo sobre as propriedades físicas do solo em relação a lavoura contínua; menor densidade; menor resistência do solo à penetração nas camadas superficiais; maior percentual de agregados estáveis
ILP	8 anos	Físicos	manutenção da densidade do solo, a porosidade de aeração e permeabilidade do solo em condição de intensificação do pastejo; resistência do solo à penetração reduzida nas camadas superficiais com a intensificação do pastejo.
ILP	2 anos	Físicos	incrementos dos teores de carbono orgânico total em relação a vegetação nativa; porcentagem de agregados similar a vegetação nativa
ILP	2, 4 e 8 anos	Físicos	melhor densidade, porosidade, resistência do solo a penetração e capacidade de armazenamento e água disponível
ILPF	3 anos	Físicos	melhoria na qualidade física do solo em relação à pastagem degradada: menor densidade e melhor arranjo poroso nas camadas superficiais do solo; melhores condições físicas em solo sob linha simples de eucalipto em relação a linha tripla
ILPF	2 anos	Físicos	ILPF: menor estoque de carbono orgânico; maior densidade do solo e resistência à penetração e menor porosidade total e macroporosidade em relação a vegetação nativa (camadas do solo 0-10 e 10-20 cm), porém não foi restritivo ao desenvolvimento radicular nos sistemas

ILPF	2 anos	Físicos	ILPF: menor densidade, maior porosidade total do solo e teor de matéria orgânica do solo; menor impacto sobre a qualidade física do solo em relação a pastagem e lavoura contínua
ILP	2 anos	Físicos	menor densidade e maior porosidade do solo em relação ao sistema convencional de preparo do solo
ILP e ILPF	6 anos	Físicos	ILP e ILPF: quantidade ideal de água disponível no solo devido a textura do solo; adequada qualidade física do solo para desenvolvimento da produção; ILP: melhor condição física do solo em relação a ILPF
ILPF e ILP	3 e 5 anos	Biológicos	ILP: maior nível de carbono da biomassa microbiana e coeficiente microbiano nas camadas mais profundas em relação a ILPF e área nativa
ILP	1 ano	Biológicos	Maiores teores de C e P microbiano e menor teor de C microbiano; manutenção da qualidade biológica do solo em relação ao solo sem pastejo
ILPF	4 anos	Biológicos	menor quociente metabólico e menor respiração basal; maior equilíbrio em suas atividades metabólicas em solo sob linha simples de eucalipto relação à pastagem degradada e linhas triplas; menor estresse sobre a microbiota e disponibilidade gradativa de nutrientes
ILP	2 anos	Biológicos	ILP: melhora do desempenho da microbiota do solo em comparação ao sistema convencional; aumento da população microbiológica, da atividade enzimática e dos estoques de carbono microbiano,
ILPF	3 anos	Biológicos	maior complexidade e atividade microbiológica; maior disponibilidade de nutrientes no solo
ILP	3 anos	Biológicos	maior heterogeneidade vegetal e atividade microbiana; melhoria dos atributos carbono orgânico total, carbono microbiano e quociente microbiano
ILP	3 anos	Biológicos	teores de carbono microbiano do solo na pastagem foram favorecidos pela inserção dos animais no sistema; pastejo moderado mantém níveis satisfatórios de qualidade biológica do solo
ILP	1 ano	Biológicos	ILP: maior diversidade funcional da microbiota em intensidades moderadas de pastejo em comparação a alta intensidade e áreas não pastejadas;
ILPF	2 anos	Químicos	pouco efeito sobre a disponibilidade de nutrientes nos primeiros anos de implantação ILPF, com variações pequenas a curto prazo
ILPF	5 anos	Químicos	incremento nos teores de carbono orgânico no solo e fósforo disponível
ILPF e ILF	2 anos	Químicos	menores perdas de carbono e nitrogênio no sistema ILPF em relação a SPD: Maior capacidade de redução da perda de solo ou erosão hídrica; ILF e ILPF: menores perdas totais de solo, água, C e N
ILP	2 e 3 anos	Químicos	maior disponibilidade de C e N com a rotação lavoura e pastejo moderado
ILP	9 e 11 anos	Químicos	aumento do teor de carbono na fração particulada e a labilidade da matéria orgânica do solo; maiores taxas de acúmulo e estoques de carbono no solo em relação a solo de sistema somente com lavoura

ILP	7 anos	Químicos	Maior teor de carbono no solo pelo maior depósito de resíduos orgânicos; menor teor de carbono no solo em função de maior período de pastagem e sucessão de culturas agrícolas
IPF	4 anos	Químicos	aumento nos estoques de C e N do solo; aumento do C microbiano do solo e do quociente metabólico; aumento do C microbiano do solo com baixas taxas de emissão de CO ₂ ; alta atividade microbiana do solo; aumento da eficiência da ciclagem de nutrientes e na manutenção dos estoques de N; Sequestro de CO ₂ do solo semelhante entre os sistemas silvipastoris e a vegetação nativa
ILPF, IPF e ILP	5 anos	Químicos	acúmulo de matéria orgânica quimicamente estável nas camadas profundas do solo nos sistemas integrados em relação a floresta nativa
ILP	5 anos	Químicos	aumento do teor de carbono orgânico e fertilidade química do solo
ILP e ILPF	6 anos	Químicos	incrementos na matéria orgânica e estoques de C e N no solo
IPF	6 anos	Químicos	menor estoque de carbono nas camadas superficiais; maior estoque de carbono e nitrogênio nas camadas mais profundas do solo; maior acúmulo de biomassa acima do solo; maior sequestro de carbono total (biomassa acima e abaixo do solo)
IPF	30 anos	Químicos	Maior acúmulo de matéria orgânica; Aumento do teor de C no solo
ILPF	4 e 3 anos	Químicos	Maior acúmulo de C nas camadas mais profundas do solo; incremento de matéria orgânica no solo
ILP	22 anos	Químicos	a curto prazo: incremento moderado do estoque de carbono no solo; pouco incremento do estoque de carbono a longo prazo
ILPF, IPF e ILP	8 anos	Químicos e físicos	ILPF: maior condutividade hidráulica; maior teor de carbono orgânico total; atributos físicos similares a sistemas não-integrados verificados a curto prazo de avaliação
ILPF	5 anos	Químicos e físicos	Químicos: Maior acúmulo de matéria orgânica do solo; maior fertilidade do solo próximo ao componente florestal; Físicos: Maior densidade e menor número de agregados nas camadas superficiais e menor densidade e agregados nas camadas mais profundas próximo ao componente florestal
ILPF	3 anos	Químicos e físicos	ILPF: menor densidade do solo; incrementos de C e N no solo nas camadas mais superficiais; maior sequestro de carbono no solo
ILPF	5 anos	Químicos e físicos	melhor condições físicas de densidade e porosidade do solo, além dos teores e estoques de carbono orgânico nas camadas subsuperficiais, quando comparado aos sistemas convencionais e à floresta secundária.
ILP	-	Químicos e físicos	menor densidade do solo; maior fertilidade do solo; menor resistência a penetração; maior porosidade; maior acúmulo de biomassa
ILP	2 anos	Químicos e físicos	maior densidade crítica do solo e intervalo hídrico ótimo; melhoria da qualidade física do solo; melhor qualidade física do solo e maior aporte de carbono orgânico total ao solo com adoção de pastejo moderado
ILP	4 anos	Químicos e físicos	manutenção dos teores de carbono no solo similar a área nativa: eficiência na conservação do solo; influência positiva na estabilidade do ambiente: a matéria orgânica associada à fração mineral, melhor estabilidade de agregados

ILP	1 ano	Químicos e físicos	manutenção da diversidade da fauna invertebrada; formação dos agregados estáveis; maior fertilidade do solo
ILP	21 anos	Químicos e físicos	manutenção de alta estabilidade de agregados e consequentemente das formas lábeis de matéria orgânica do solo, mesmo com o pisoteio do animal e diferentes intensidades de pastagem
IPF	-	Químicos e físicos	IPF - pastagem de taxa de lotação moderada: maior teor de matéria orgânica; menor densidade do solo; menor propensão a erosão superficial em comparação a pastagem degradada e pastejo de alta intensidade
ILPF	3, 5 e 8 anos	Químicos e biológicos	Maior atividade microbiana; maior ciclagem de C e N
IPF	4 anos	Químicos e biológicos	Maiores teores de C e N próximo ao componente arbóreo nas camadas mais superficiais do solo; maior atividade microbiana; maior teor de carbono, nitrogênio e carbono microbiano e próximo ao componente florestal
ILP	2 anos	Químicos e biológicos	incrementos dos estoques de C e N total e do C e N da biomassa microbiana; menor estresse da microbiota do solo
ILP	3 e 4 anos	Físicos e biológicos	ILP: Menor densidade do solo, maior macroporosidade nas áreas pastejadas e não pastejadas; maior resistência do solo à penetração nas camadas superficiais; aumento do C e do N da biomassa microbiana e a redução do quociente metabólico.
ILP	13 anos	Químicos, físicos e biológicos	ILP em relação à pastagem: maiores teores de pH, Mg, P disponível e P remanescente nas camadas superficiais; carbono orgânico total, nitrogênio total e estabilidade de agregados similares a pastagem; maior acúmulo de CO ₂

A maioria dos estudos sobre os atributos do solo sob sistemas integrados de produção encontrados na literatura abordam sobre a modalidade lavoura-pecuária (ILP), correspondendo a 49% do total (Figura 5).

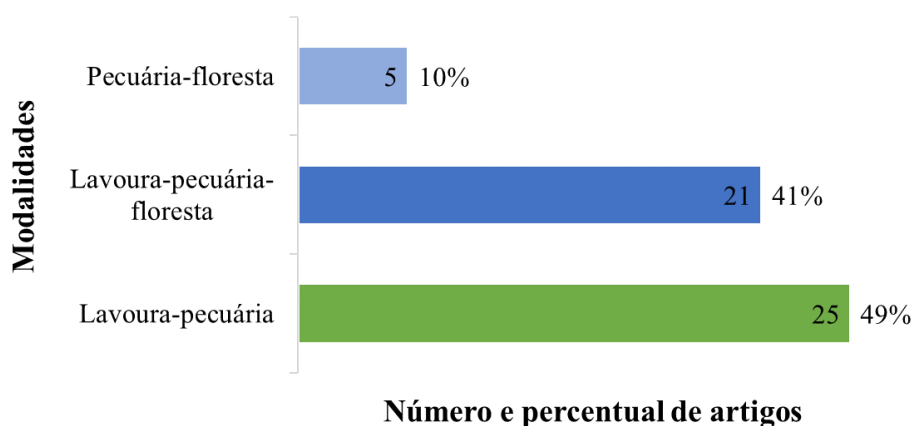


Figura 5. Distribuição de estudos por modalidade de sistema de integração

O sistema ILP já se encontra consolidado com ampla adoção e constatações sobre a melhoria das condições do solo, principalmente no que tange a conservação e manutenção da produtividade. Por meio do levantamento dos estudos foi possível verificar que efeitos benéficos sobre os atributos do solo são efetivamente proporcionados se houver manejo adequado do sistema de integração, com adoção de intensidades e arranjos adequados para determinada área. Segundo Bonetti et al. (2018) os benefícios do sistema ILP às propriedades físicas e biológicas do solo estão associados à implementação adequada do sistema ILP, à altura apropriada de pastejo e à manutenção da cobertura do solo.

Com base na literatura existente sobre sistemas integrados é possível constatar o potencial estratégico dos sistemas integrados de conservação do solo e potencialização da produção. É válido ressaltar que na análise das condições dos solos, é importante levar em conta as especificidades regionais e de cada situação na avaliação da recuperação do solo. Deve-se assim levar em consideração as propriedades e o processo como um todo dos efeitos de diferentes sistemas de produção sobre as condições do solo.

A incorporação do componente florestal ao já consolidado e amplamente relatado na literatura, o sistema lavoura-pecuária (ILP), transformando-o em ILPF, se destaca como uma opção viável para potencializar os benefícios alcançados com integração lavoura-pecuária. Dessa forma, a estratégia ILPF proporciona os benefícios adicionais importantes de diversificação da renda e sombreamento para o componente animal. Além disso, traz vantagens fundamentais ao maximizar o sequestro de carbono e mitigar emissões, tornando maior o sumidouro de carbono no solo, no sistema radicular, na biomassa aérea e, principalmente, no volume de madeira produzida e destinada a diferentes finalidades.

Considerando a significativa quantidade de área de solos degradados encontrados no Brasil, principalmente áreas de pastagens geralmente abandonadas, urge a necessidade de buscar e implementar práticas adequadas de recuperação e conservação dos solos, de forma cada vez mais capilarizada e eficaz no sentido de se estabelecer a longo prazo. Nesse sentido, o incentivo e estabelecimento cada vez maior de tais práticas devem estar alinhados aos fatores econômicos e tecnológicos que evidenciem as vantagens de se praticar um adequado manejo dos solos. Nesse contexto, a implementação de sistemas consorciados de lavoura-pecuária-floresta tem se destacado como uma alternativa promissora e sustentável.

Nas últimas décadas, o Brasil se consolidou como um grande produtor e exportador de alimentos no mundo, com papel fundamental na economia brasileira, no entanto ainda necessita de transformações para se tornar uma potência ambiental. Um ponto que merece atenção é que mesmo com os compromissos assumidos pelo Brasil com suas metas de redução de emissão no

Acordo de Paris, na COP15 em 2009, no Compromisso Global do Metano e no Plano ABC, em 2021 houve recorde de emissões da pecuária e a agricultura do Brasil. Considerando as metas de redução de emissões assumidas para 2025 e 2030, o cenário atual torna o alcance dessas metas cada vez mais distante.

Há necessidade de transformações profundas da visão da sociedade e do setor produtivo primário, a partir de esforços e ações governamentais alinhadas nesse sentido para alcance dessas metas, incentivos e políticas públicas com iniciativas de todas as esferas públicas. Além disso, pode-se incentivar a recuperação de solos, principalmente de pastagens, com informações para os produtores rurais sobre os benefícios econômicos e ambientais que se pode obter com essa iniciativa. Nesse contexto, é fundamental desenvolver sobretudo um amplo monitoramento de propriedades agrícolas com pastagens a serem recuperadas e difundir o acesso a informações sobre financiamento e infraestrutura voltados ao aprimoramento da recuperação e manutenção dessas áreas.

Nesse sentido, há necessidade de ampla divulgação e incentivos para disseminação de soluções de mitigação e adaptação do setor agropecuário brasileiro que podem contribuir para o cumprimento dessas metas, com promoção da agricultura de baixo carbono e desenvolvimento social e justo na produção rural. Essas soluções incluem a promoção da adoção do sistema ILPF e consolidação da sua expansão em áreas produtivas aptas e legais, favorecendo a transição para uma agropecuária sustentável, fundamentais para colocar em prática ações de mitigação das emissões de GEE.

Além disso, é fundamental estimular a adoção de sistemas de ILPF entre produtores rurais de pequeno, médio e grande portes por meio de iniciativas como capacitação e treinamento em técnicas de produção e mecanismos de transferência de tecnologia. Incentivar sua expansão informando produtores rurais sobre os benefícios econômicos e ambientais resultantes desse sistema. Isso exige estabelecer o monitoramento dos sistemas integrados a serem implementados nos municípios e difundir o acesso a informações sobre financiamento, infraestrutura e manutenção do seu uso.

A promoção de formas de produção sustentáveis deve ser fortalecida e adaptada às diferentes realidades regionais do país, e potencializar esforços especialmente no bioma Amazônia, onde a conversão do uso do solo para pastagem cresceu significativamente nas últimas décadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura aborda efeitos positivos da implantação de sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta sobre as propriedades do solo, com potencial de resgate da produtividade e conservação dos solos. A maioria das avaliações ainda tratam dos efeitos a curto prazo dos sistemas ILPF sobre as propriedades do solo, com variações ainda não acentuadas em relação a áreas degradadas. São fundamentais avaliações contínuas para evidenciar efeitos a longo prazo dos sistemas de produção sobre a recuperação do solo e sequestro de carbono.

Os resultados positivos possibilitados com adoção de sistema ILPF podem fornecer subsídios relevantes para fortalecimento e criação de políticas de desenvolvimento agropecuário sustentável no Brasil. Nesse sentido, essas políticas podem incluir nas frentes de ação o foco em parcerias público-privadas e assim proporcionar condições propícias para desenvolvimento e consolidação de práticas de produção mais sustentáveis. Políticas como a facilitação ao acesso ao crédito e pagamento por serviços ecossistêmicos podem representar ferramentas fundamentais nesse sentido.

É importante endossar a importância de instrumentos de promoção da agricultura sustentável e políticas públicas de recuperação da produtividade de solos, visto que a grande perda de solos produtivos pode prejudicar gravemente a produção de alimentos e a segurança alimentar, com acentuação da volatilidade dos preços dos alimentos. O fortalecimento da agricultura sustentável e promoção de alternativas como a adoção de sistemas de produção ILPF tem potencial para agregar valores socioeconômicos à produção agropecuária brasileira, contribuindo também para captação de investimentos, alcance de mercados, e trazendo o Brasil para o protagonismo no que tange os desafios de promover a bioeconomia, com produção e consumo consciente e sustentável.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.L.S.; FRAZÃO, L.A.; LESSA, T.A.M.; FERNANDES, L.A.; VELOSO, A.L.C.; LANA, A.M.Q.; SOUZA, I.A.; PEGORARO, R.F.; FERREIRA, E.A. Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil and Tillage Research**, v. 205, 104785, 2021.

ALVES, F.V.; ALMEIDA, R.G.; LAURA, V.A. **Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2015. 32 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).

ASSIS, P.C.R.; STONE, L.F.; MEDEIROS, J.C.; MADARI, B.E.; OLIVEIRA, J.M.; WRUCK,

F.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

ASSIS, P.C.R.; STONE, L.F.; SILVEIRA, A.L.R.; OLIVEIRA, J.M.; WRUCK, F.J.; MADARI, B.E. Biological soil properties in integrated crop-livestock-forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160209, 2017.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. (Ed.). **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, A.M.C.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P.R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). **Informações Agronômicas**, n. 138, p. 1–18, 2012a.

BALBINO, L.C.; KICHEL, A.N.; BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R.G. **Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações**. In: Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. BUNGENSTAB, D.J. (Ed.). 2ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012, 239 p. 2012b.

BENTON, T.G.; VICKERY, J.A.; WILSON, J.D. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 18, n. 4, p. 182–188, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)

BRASIL, Lei Nº 12.805 de 29 de abril de 2013. **Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

BONETTI, J.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; CAETANO, J.O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, 2018.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.D.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.

CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; FRAZAO, L.A.; CERRI, E.C.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gases emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 183, n. 1, p. 167–175, 2014.

CECHIN, A.D.; VEIGA, J.E. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 3, p. 438-454, 2010.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada & ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Economia, Administração e Sociologia, USP - Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, Brasil, 2021. Disponível em:

<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 19/09/2022.

CORDEIRO, L.A.M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R.L.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G.B.M. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: Estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Caderno de Ciência Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, 2015.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação. 4ª ed. Belém: MBDF, 2011. 215 p.

DOLLINGER, J.; JOSE, S. Agroforestry for soil health. **Agroforest Systems**, v. 92, p. 213-219, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Técnicas de recuperação de pastagens degradadas na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa; 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/205682/tecnicas-derecuperacao-de-pastagens-degradadas-na-amazonia>. Acesso em: 10/02/2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **ILPF: Inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. BUNGENSTAB, D.J. [et al.], Editores técnicos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 835 p.

GERBER, P. J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: FAO, 2013. 139 p.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 199, p. 394-406, 2015.

GIL, J.D.B.; GARRETT, R.D.; ROTZ, A.; DAILOGLOU, V.; VALENTIM, J.; PIRES, G.F.; COSTA, M.H.; LOPES, L.; REIS, J.C. Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 13, 064025, 2018.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Comércio exterior do agronegócio**: Balanço de 2021 e perspectivas para 2022. Carta de conjuntura nº 54. IPEA: Brasília, 2022.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, p. 9-16, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração Lavoura-Pecuária**, 1ª ed. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás - GO, Brasil, 2003.

LEÃO, A.; FORTES, A.; ZOLIN, C.A.; MANGUEIRA, J.; COLMANETTI, M.A.A.; CUADRA, S.V. **GUIA Recuperação de Solos Degradados no Cerrado: Alternativas para produção sustentável**. The Nature Conservancy / EMBRAPA. Brasília: TNC / Embrapa, 2021. 61 p.

LEPSCH, I.F.; ESPINDOLA, C.R.; FILHO, O.J.V.; HERNANI, L.C.; SIQUEIRA, D.S. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 170 p.

LISBOA, F.J.G.; CHAER, G.M.; FERNANDES, M.F.; BERBARA, R.L.L.; MADARI, B.E. The match between microbial community structure and soil properties is modulated by land use types and sample origin within an integrated agroecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 97-108, 2014.

LOPES, L.B.; ECKSTEIN, C.; PINA, D.S.; CARNEVALLI, R.A. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 4, p. 755-761, 2016.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, p. 260-268, 2012.

MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: Simpósio sobre Ecossistema de Pastagens, 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.216-245.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – **Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil** - Coleção 6. 2021. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_PASTAGEM_13.10.2021_ok_ALTA.pdf. Acesso em: 10/07/2022.

MAPBIOMAS - Projeto MapBiomias – **Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil** - Coleção 7. 2022. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_Cole%C3%A7%C3%A3o7_2022_10.10.pdf. Acesso em 15/11/22.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S.B.C.; COSTA, S.E.V.A.; KUNRATH, T.R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

MOREIRA, G.M.; NEVES, J.C.L.; ROCHA, G.C.; MAGALHÃES, C.A.D.S.; FARIAS NETO, A.L.; MENEGUCI, J.L.P.; FERNANDES, R. Physical quality of soils under a crop-livestock-forest system in the Cerrado/Amazon transition region. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, e420213, 2018.

OLIVEIRA, J.; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.T.; ASSIS, P.C.R.; SILVEIRA, A.L.R.; LIMA, M.L.; WRUCK, F.J. JOÃO CARLOS MEDEIROS, J.C.; MACHADO, P.L.O.A. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, p. 105–116, 2018.

OLIVEIRA, Y.M.M.; MATTOS, P.P.; ANDRADE, A.G. **Demands and opportunities for sustainable development**. In: VILELA, G.F.; BENTES, M.P.M. et al. (Ed.). Life on land: contributions of Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. cap. 2, p. 21-25, 2019.

PEREIRA, S.E.M.; SKORUPA, L.A.; MANZATTO, C.V.; PENTEADO, M.I.O.; OLIVEIRA, P.; NOVAES, R.M.L.; SIMÕES, M.G. **Áreas prioritárias para ações de transferência de tecnologia em sistemas ILPF no Brasil**. In: Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: Estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Ladislau Araújo Skorupa, Celso Vainer Manzatto (Eds.). Brasília: Embrapa, 2019.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. The agroecological matrix as alternative to the

landsparring/agriculture intensification model. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, p. 5786–5791, 2010.

POLIDORO, J.C.; FREITAS, P.S.; BHERING, S.B.; CARVALHO, W.J.; RODRIGUES, R.A.R.; DE MELO BENITES, V.; RIBEIRO, J.L. **The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture for controlling soil erosion in Brazil**. In: FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion, p. 553-558, 2019.

POLIDORO, J.C.; DE FREITAS, P.L.; HERNANI, L.C.; DOS ANJOS, L.H.C.; RODRIGUES, R.A.R.; CESÁRIO, F.V.; ANDRADE, A.G.; RIBEIRO, J.L. The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture in the control of soil erosion in Brazil. **Authorea**, 2020.

POLIDORO, J.C.; DE FREITAS, P.L.; HERNANI, L.C.; ANJOS, L.H.C.D.; RODRIGUES, R.D.A.R.; CESÁRIO, F. V.; RIBEIRO, J.L. Potential impact of plans and policies based on the principles of conservation agriculture on the control of soil erosion in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 12, p. 3457-3468, 2021.

PORFIRIO-DA-SILVA, V. **A integração lavoura-pecuária-floresta como proposta de mudança no uso da terra**. In: FERNANDES, E.N.; MARTINS, P.C.; MOREIRA, M.S.P.; ARCURI, P.B. (Eds). Novos desafios para o leite no Brasil. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. p. 197-210.

PRIMAVESI, O. **A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste (Documentos, 72), 2007. 42 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

REDE ILPF. **ILPF em números**. Disponível em: <https://redeilpf.org.br/ilpf-em-numeros>. Acesso em: 22/11/22.

REIS, J.C., KAMOI, M.Y.T., MICHETTI, M., WRUCK, F.J., RODRIGUES-FILHO, S. **Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia de desenvolvimento sustentável no estado de Mato Grosso**. In: Repositório de casos sobre o Big Push para a Sustentabilidade no Brasil. Santiago, Chile. 2020.

SALES, A.; VELOSO, C.A.C.; SILVA, A.R. Dinâmica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta nos atributos físicos de um latossolo amarelo. IN: Seminário de Iniciação Científica e Seminário de Pós-Graduação da Embrapa Amazônia Oriental, Belém: **Anais...**: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. 18 p.

SALTON, J.C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., FABRÍCIO, A.C., MACEDO, M.C.M., BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70–79. 2014.

SILVA, V.P.; MORAES A.; MEDRADO, M.J.S. **Planejamento do número de árvores na composição de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 4 p. (Série Comunicado Técnico, 219).

SILVA, V.P.; MEDRADO, M.J.S.; NICODEMO, M.L.F.; DERETI, R.M. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009a. 48 p.

SILVA, L.G.; MENDES, I.C.; REIS JÚNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 613-20, 2009b.

SILVA, S.I.A.; SOUZA, T.; LUCENA, E.O.; LAURINDO, L.K.; SANTOS, D. Influência de sistemas de cultivo sobre a comunidade da fauna edáfica no nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 829-855, Santa Maria, 2022.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - SEEG. **Infográficos**. Disponível em: <http://seeg.eco.br/infografico>. Acesso em: 10/10/2022.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.

SOUZA, G.S.; THIENGO, C.C.; SILVA, M.W.; DAN, M.L. **Sistemas silvipastoris e preparo do solo na renovação de pastagens degradadas no Espírito Santo**. In: Sistemas integrados de produção: Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias. GONÇALVES, F.G. [et al.] (Eds.). Guarujá, SP: Científica Digital, 2021. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/4265>. Acesso em: 22/10/2022.

STRASSBURG, B.B.N.; LATAWIEC, A.E.; BARIONI, L.G.; NOBRE, C.A.; SILVA, V.P.; VALENTIM, J.F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. 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**, v. 28, p. 84-97, 2014.

SOARES, M.B.; FREDDI, O.S.; MATOS, E.S.; TAVANTI, R.F.R.; WRUCK, F.J.; LIMA, J.P.; MARCHIORO, V.; FRANCHINIG, J.C. Integrated production systems: An alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. **CATENA**, v. 185, 104279, 2020.

UDAWATTA, R.P.; JOSE, S. Agroforestry strategies to sequester carbon in temperate North America. **Agroforestry Systems**, v. 86, n. 2, p. 105-111, 2012.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Federative Republic of Brazil. **Intended nationally determined contribution towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Disponível em: <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Brazil/1/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>. Acesso em: 20/09/2022.

VIEIRA FILHO, J.E.R. **Efeito poupa-terra e ganhos de produção no setor agropecuário**

brasileiro. Brasília: IPEA, 2018. (Texto para Discussão, n. 2386).

VILELA, L.; MARTHA, G.B.; MACEDO, M.C.M.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G.A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1127–1138, 2011.

WADT, P.G.S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.** (Embrapa Acre. Documentos, 90). Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. 29 p.

ZOLIN, C.A.; MATOS, E.S.; MAGALHÃES, C.A.S.; PAULINO, J.; LAL, R.; SPERA, S.T.; BEHLING, M. Short-term effect of a crop-livestock-forestry system on soil, water and nutrient loss in the Cerrado-Amazon ecotone. **Acta Amazonica**, v. 51, p. 102-112, 2021.