



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ANATHAN BICHEL

**DIMENSÕES ESPACIAL E ECONÔMICA DE SISTEMAS  
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

---

Londrina  
2023

ANATHAN BICHEL

**DIMENSÕES ESPACIAL E ECONÔMICA DE SISTEMAS  
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Santos Telles

Coorientadora: Profa. Dra. Laíse da Silveira Pontes

---

Londrina  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A535d Bichel, Anathan .  
Dimensões espacial e econômica de sistemas integrados de produção agropecuária / Anathan Bichel. - Londrina, 2023.  
92 f. : il.

Orientador: Tiago Santos Telles.  
Coorientador: Laíse da Silveira Pontes.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.  
Inclui bibliografia.

1. Agricultura - Tese. 2. Economias agrária e dos recursos naturais - Tese. 3. Economia Florestal - Tese. 4. Sistemas integrados de produção agropecuária - Tese. I. Telles, Tiago Santos. II. Pontes, Laíse da Silveira. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

ANATHAN BICHEL

**DIMENSÕES ESPACIAL E ECONÔMICA DE SISTEMAS  
INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Prof. Dr. Tiago Santos Telles  
Universidade Estadual de Londrina – UEL  
IDR-Paraná

Prof. Dr. Alvadi Antônio Balbinot Júnior  
EMBRAPA

Dr. Tiago Pellini  
IDR-Paraná

Profa. Dra. Sandra Galbeiro  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Adônis Moreira  
EMBRAPA

Londrina, 27 de fevereiro de 2023.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por me conceder o dom da vida, e sempre iluminar a minha trajetória.

À Universidade Estadual de Londrina, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de cursar e me aperfeiçoar ainda mais na área de ciências agrárias.

Ao Prof. Dr. Tiago Santos Telles pela orientação, ensinamentos e presteza nos momentos que precisei para desenvolver os estudos.

À Profa. Dra. Laíse da Silveira Pontes pela coorientação, dedicação e sabedoria nos ensinamentos.

Ao Me. Bruno Volsi e a Dra. Gabriela Gomes Mantovani pela colaboração nos artigos.

À minha esposa Dra. Ediane Zanin por seu apoio incondicional e amor sincero.

Em especial e eterno agradecimento aos meus pais por serem meus exemplos de vida, sempre me oferecendo amor, carinho e uma vida digna.

## RESUMO

BICHEL, Anathan. **Dimensões espacial e econômica de sistemas integrados de produção agropecuária**. 2023. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) combinam atividades agrícolas, e/ou animais, e/ou florestais em uma mesma área, instaladas e manejadas de forma simultânea, escalonadas, sequenciais, temporárias ou permanentes. A determinação de qual sistema adotar depende das características da região, técnicas de produção, incentivos econômicos e aspectos culturais. Assim, no primeiro estudo, o objetivo foi verificar, neste processo, a expansão dos SIPA arborizados no Brasil, bem como a correlação do crédito rural destinado aos SIPA – uma das linhas de crédito do Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Programa ABC). Para tanto, foram utilizados dados dos censos agropecuários (CA) de 2006 e de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e dados do Banco Central do Brasil referentes às 558 microrregiões do país. A partir dos resultados foi possível verificar que, tanto em 2006 quanto em 2017, a região Nordeste apresentou a maior área e concentrou o maior número de estabelecimentos agropecuários com SIPA arborizados no Brasil; e que em 2017 houve uma difusão dos SIPA arborizados para outros estados do país, como Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Ao analisar a linha de crédito destinada ao ILPF e SAF, foi possível observar que grande parte dos estabelecimentos agropecuários com SIPA arborizados não acessaram aos recursos do Programa ABC e, portanto, não o consolidando como política eficiente de incentivo à adoção e expansão destes SIPA. No segundo estudo, o objetivo foi verificar o impacto do desbaste drástico de árvores maduras em um SIPA, bem como a aplicação de doses de nitrogênio (N), em comparação a um SIPA sem árvores (ILP), na produtividade e lucratividade. Para tanto, foram utilizados dados dos anos agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019, de experimento conduzido em Ponta Grossa-PR. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos sistemas ILP e ILPF com aplicação de 90 kg N ha<sup>-1</sup> (ILP-N90 e ILPF-N90) e de 180 kg N ha<sup>-1</sup> (ILP-N180 e ILPF-N180). As árvores foram plantadas em nível em junho de 2006, em espaçamento 3 x 14 m (238 árvores ha<sup>-1</sup>), em seis das 12 unidades experimentais. Em novembro de 2015, foram reduzidas para 40 árvores de eucalipto, sendo o novo arranjo 9 x 28 m. O efeito competitivo das árvores, mesmo após um desbaste drástico, resultou em produção menor das culturas intercalares nos anos finais. Apesar disso, a receita obtida com as árvores mostrou-se importante para cobrir as perdas de produção. Para o estudo econômico dos SIPA, com diferentes doses de N, em uma região subtropical, o aumento da adubação nitrogenada nem sempre garantiu maior lucratividade. Embora todos os SIPA sejam lucrativos, as receitas e os lucros dos sistemas de ILP foram sempre maiores do que os dos sistemas de ILPF.

**Palavras-chave:** Análise Econômica; Análise Espacial; Crédito Rural; Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; Programa ABC.

## ABSTRACT

BICHEL, Anathan. **Spatial and economic dimensions of integrated agricultural production systems**. 2023. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

Integrated Crop-Livestock System (ICLS) combine agricultural, and/or animal, and/or forestry activities in the same area, installed and managed simultaneously, staggered, sequential, temporary, or permanent. The determination of which system to adopt depends on the characteristics of the region, financial incentives, production techniques and cultural aspects. Thus, in the first study, the objective was to verify, in this process, the expansion of forested ICLS in Brazil, as well as the correlation of rural credit destined to Integrated Crop-Livestock-Forest (ICLF) and Agroforestry Systems (SAF) – one of the credit lines of the Program for Adaptation to Climate Change and Low Carbon Emission in Agriculture (ABC Program). For this purpose, data from the 2006 and 2017 Agricultural Censuses (CA) conducted by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and data from the Central Bank of Brazil (BCB) referring to the 558 microregions of the country, were used. From the results, it was possible to verify that, both in 2006 and 2017, the Northeast region had the largest area and concentrated the largest number of agricultural establishments with ICLS in Brazil; additionally, in 2017 there was a spread of ICLS to other states of the country, such as Mato Grosso and Mato Grosso do Sul. When analyzing the credit line allocated to the ICLF and SAF, it was observed that a significant portion of agricultural establishments with ICLS did not access the funds from ABC Program, indicating it was not consolidated as an efficient policy to encourage the adoption and expansion of ICLS. In the second study, the objective was to verify the impact of drastic thinning of mature trees in an ICLF, as well as the application of nitrogen (N) doses, in comparison to an ICLS without trees (ICL), on productivity and profitability. For this purpose, data from agricultural years 2017/2018 and 2018/2019 were used for an experiment conducted in Ponta Grossa-PR. The experimental design was randomized blocks with four treatments and three replications. The treatments consisted of the ILP and ILPF systems with the application of 90 kg N ha<sup>-1</sup> (ICL-N90 and ICLF-N90) and 180 kg N ha<sup>-1</sup> (ICL-N180 and ICLF-N180). Trees were planted in contour lines in June 2006, with a spacing of 3 x 14 m (238 trees ha<sup>-1</sup>), in six of the 12 experimental units. In November 2015, the number of eucalyptus trees was reduced to 40, with the new arrangement being 9 x 28 m. The competitive effect of trees, even after drastic thinning, resulted in lower intercrop production in the final years. Despite this, the revenue generated from the trees proved to be important in covering the production losses. . For the economic study of ICLS, with different doses of N, in a subtropical region, the increase in nitrogen fertilization did not always guarantee greater profitability. Although all ICLS are profitable, the revenues and profits of the ICL systems have always been greater than those of the ICLF systems.

**Key-words:** Economic Analysis; Spatial Analysis; Rural Credit; Integration Crop-Livestock-Forestry System; ABC Program.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Área dos estabelecimentos (hectares) com sistema integrado de produção agropecuária, nas microrregiões do Brasil, em (a) 2006 e (a) 2017) ...37
- Figura 2** – Proporção (%) da área dos estabelecimentos agropecuários com sistema integrado de produção agropecuária em relação a área total dos estabelecimentos, nas microrregiões do Brasil, em (a) 2006 e (b) 2017 .....39
- Figura 3** – Número de estabelecimentos com sistema integrado de produção agropecuária, nas microrregiões do Brasil, em (a) 2006 e (b) 2017.....41
- Figura 4** – Proporção do recurso e do número de contratos do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) em relação ao crédito rural total, para os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022 .....42
- Figura 5** – Volume de recursos (a) e número de contratos (b) do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), no Brasil, entre os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022. ....43
- Figura 6** – Recursos (a) e número (b) de contratos do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), por microrregiões, para os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022. ....44
- Figura 7** – Indicadores de (a) receita, (b) custo total e (c) lucro de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), sem árvores (integração lavoura-pecuária – ILP) e com árvores em fase adulta (ILPF), em função de doses de nitrogênio (90 kg de N e 180 kg de N ha<sup>-1</sup>). ....65

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Número e área dos estabelecimentos agropecuários, e número e área de estabelecimentos com sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) no Brasil, em 2006 e 2017 .....35
- Tabela 2** – Volume total de recursos do crédito rural (a) Volume de recursos do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) (b), no Brasil, nos anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022 .....36
- Tabela 3** – Principais microrregiões por áreas de estabelecimentos (hectares) com sistema integrado de produção agropecuária no Brasil, em 2006 e 2017 .....38
- Tabela 4** – Dez maiores números de estabelecimentos com sistema integrado de produção agropecuária, nas microrregiões do Brasil, em 2006 e 2017 .....40
- Tabela 5** – Precipitação mensal (em mm) de 2006 a 2020 em Ponta Grossa, no Paraná.....56
- Tabela 6** – Ganho de peso vivo (PV) animal por área (kg PV ha<sup>-1</sup>), produtividade de milho (kg ha<sup>-1</sup>) e de soja (kg ha<sup>-1</sup>) em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) com diferentes doses de nitrogênio (N), quais sejam (N), quais sejam: integração lavoura-pecuária (ILP), e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com aplicação de N90, 90 kg de N ha<sup>-1</sup>; N180, 180 kg de N ha<sup>-1</sup>.....61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCB	Banco Central do Brasil
CA	Censo Agropecuário
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
DERAL	Departamento de Economia Rural
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GMD	Ganho Médio Diário
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLS	<i>Integrated Crop-Livestock System</i>
IDR - Paraná	Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR - EMATER
ILF	Integração Lavoura-Florestal
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPCC	Painel Intergovernamental sobre as mudanças Climáticas
IPF	Integração Pecuária-Floresta
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MDCR	Matriz de Dados do Crédito Rural
PAR	<i>Photosynthetically Active Radiation</i>
Plano ABC	Plano de Agricultura de Baixo Carbono
Programa ABC	Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PSA	Pagamento de Serviços Ambientais
SAF	Sistema Agroflorestal
SEAB	Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná

SICOR	Sistema de Operações de Crédito Rural
SIPA	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1 DEFINIÇÕES, TERMINOLOGIAS E INTEGRAÇÕES EM SIPA .....	14
2.2 SIPA NO BRASIL .....	15
2.3 ATUALIDADES E PERSPECTIVAS SOCIOECONÔMICAS E AMBIENTAIS EM SIPA .....	19
2.4 SIPA E AS METAS NACIONAIS DE REDUÇÃO DE GEE E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	23
2.5 NITROGÊNIO .....	26
<b>3 ARTIGO A: EXPANSÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA ARBORIZADOS NO BRASIL</b> .....	<b>29</b>
3.1 RESUMO .....	29
3.2 ABSTRACT .....	29
3.3 INTRODUÇÃO .....	30
3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.4 RESULTADOS.....	34
3.6 DISCUSSÃO .....	45
3.7 CONCLUSÕES .....	51
<b>4 ARTIGO B: ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, SEM E COM ÁRVORES MADURAS, NO SUL DO BRASIL</b> .....	<b>53</b>
4.1 RESUMO.....	53
4.2 ABSTRACT .....	53
4.3 INTRODUÇÃO .....	54
4.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	56
4.4.1 Área Experimental .....	56
4.4.2 Histórico da Área .....	56
4.4.3 Período Experimental .....	56
4.4.4 Delineamento Experimental.....	58
4.4.5 Análise da Produção.....	59
4.4.6 Análise Econômica .....	59
4.4.7 Análise Estatística .....	60
4.5 RESULTADOS.....	61
4.6 DISCUSSÃO .....	66
4.7 CONCLUSÕES .....	72
<b>5 CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>73</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) são estratégicos para atender a produção de alimentos, geração de energia e uso da terra de forma mais sustentável (BRASIL, 2013; BONAUDO *et al.*, 2014; GIL; GARRET; BERGER, 2016; CARVALHO *et al.*, 2018), pois combinam atividades agrícolas, e/ou animais, e/ou florestais em uma mesma área. Esta combinação de atividades em uma mesma área, a muito tempo em uso no Brasil, pode gerar uma série de benefícios, sobretudo o sequestro anual de carbono, maior resiliência produtiva e maior retorno econômico (LEMAIRE *et al.*, 2014; SALTON *et al.*, 2014; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; DE ALMEIDA *et al.*, 2014). Para atingi-los são necessárias tecnologias apropriadas, especialização na atividade, arranjos institucionais e políticas de apoio (WRIGHT *et al.*, 2012).

Os SIPA são reconhecidos como tecnologias para intensificação sustentável tanto da agricultura quanto da pecuária no Brasil. A expansão dos SIPA no país ocorre pela aptidão natural dos trópicos para a produção agrícola e capacidade dos produtores brasileiros em absorver novas tecnologias produtivas e sustentáveis, com baixa emissão de carbono. Existem diversas modalidades de SIPA, tais como: (i) integração lavoura-pecuária (ILP); (ii) integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF); (iii) integração lavoura-floresta (ILF); e (iv) integração pecuária-floresta (IPF).

Estudos têm identificado e avaliado tecnologias, níveis de difusão e determinantes de ocorrência de SIPA tanto em nível nacional, quanto regional (GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; GIL; GARRET; BERGER, 2016). Entretanto, não há uma avaliação da dinâmica espaço-temporal da expansão dos SIPA arborizados no Brasil, tampouco uma análise do impacto dos programas e ações governamentais e institucionais, como o Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Programa ABC), neste processo. Além disso, ainda há poucos estudos com análise econômica dos SIPA com árvores maduras em nível local e, em ambiente subtropical (PEREIRA, 2019; PONTES *et al.*, 2021).

A adoção dos SIPA possui forte relação com as condições sociais, ambientais e econômicas de uma determinada região (GIL *et al.*, 2016). O Brasil se destaca na adoção dos SIPA, no entanto, devido a fatores biofísicos, microclimáticos, socioeconômicos, de riscos e incertezas, possivelmente sua distribuição no país seja

irregular. O setor agropecuário e florestal tem desempenhado importante papel na busca pela intensificação sustentável da agropecuária no Brasil, decorrentes sobretudo do uso dos SIPA, mas ainda não está claro se os incentivos governamentais, como os do Programa ABC têm contribuído nessa expansão. Assim, buscou-se investigar e relacionar essa dinâmica espacial com o Programa ABC. Além disso, como o impacto produtivo e econômico das árvores nas culturas intercalares é variável ao longo do ciclo das mesmas, podendo ser positivo (em geral em início do ciclo (PORFÍRIO-DA-SILVA *et al.*, 2015), neutro ou negativo devido competição por luz e nutrientes (JOSE *et al.*, 2017), buscou-se realizar uma análise econômica acerca de diferentes tipos de SIPA (com árvores maduras após desbaste drástico e não arborizados), com diferentes doses de N, em uma região subtropical do país.

Neste contexto, os objetivos deste estudo foram: (i) verificar a expansão dos SIPA arborizados no Brasil, bem como a correlação do crédito rural destinado a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAF) – uma das linhas de crédito do Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Programa ABC) – neste processo; e (ii) verificar o impacto do desbaste drástico de árvores maduras em um SIPA com árvores, bem como a aplicação de diferentes doses de nitrogênio (N), em comparação a um SIPA sem árvores (ILP), na produção e lucratividade.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Os SIPA são propostas tecnológicas que combinam no espaço e no tempo: lavouras, e/ou animais, e/ou árvores, instaladas e manejadas de forma simultânea, escalonadas, sequenciais, temporárias ou permanentes. Tais sistemas permitem otimizar e maximizar a produção de alimentos (SEKARAN *et al.*, 2021), a bioenergia (ESTEVEZ; BRIGAGÃO; MORGADO, 2021), produtos florestais (BONAUDO *et al.*, 2014), gerando benefícios ambientais (BULLER *et al.*, 2015) e socioeconômicos (COSTA *et al.*, 2018).

Além disso, sistemas de produção agropecuária e florestal integrada constituem importantes formas de uso da terra, atingindo 2,5 bilhões de ha (BELL; MOORE, 2012). Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (2022), cerca de 70% da receita de famílias rurais de países de baixa e média renda, é obtida por meio de cultivos mistos e múltiplos. Os SIPA, sobretudo a ILPF, têm potencial de favorecer diversos serviços ecossistêmicos, tais como: conservação da água e do solo, intensificação do uso da terra, ação contra o vento e a erosão, conforto térmico para os animais (TOMAZ; WANDER, 2017; DOMICIANO *et al.*, 2018), fixação de nitrogênio, redução das amplitudes térmicas, ciclagem de nutrientes e otimização no uso dos meios de produção (SULC; FRANZLUEBBERS, 2014). Estes aspectos relacionados aos SIPA os tornam sustentáveis e lucrativos (PACIULLO *et al.*, 2014; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015). Quando em conjunto com outras práticas conservacionistas, como o plantio direto, cobertura do solo e rotações de culturas, os SIPA são ainda mais sustentáveis (TELLES *et al.*, 2019; BIELUCZYK *et al.*, 2022). Para garantir esta sinergia nos SIPA são necessárias tecnologias apropriadas, arranjos institucionais, políticas de apoio e especialização na atividade (WRIGHT *et al.*, 2012).

Os SIPA são reconhecidos pela associação entre pecuária com culturas agrícolas e/ou florestais. Muitos autores confundem SIPA com SAF, e fazem o emprego incorreto das terminologias, visto que SIPA e SAF podem ser abordados em grupos distintos ou em um mesmo grupo (CARVALHO *et al.*, 2014). No manual do recenseador e no questionário do Censo Agropecuário de 2017 há informações sobre os SIPA, porém apresentado como sinônimo tanto de SAF, quando sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o que pode ser verificado, por exemplo, no trecho: “Área com matas (nativas ou plantadas) que também são utilizadas para

*lavouras ou pastejo de animais (integração lavoura-floresta-pecuária) ...*”. Segundo Santos e Lucas (2020) não há uma descrição detalhada das características e condições do que é abordado como SAF no Censo Agropecuário. Para Silva e Silva (2020) se a linguagem técnica não está clara, o produtor não sentirá à vontade, ou até mesmo motivado, em responder questões sobre os SIPA.

Para Carvalho *et al.* (2014) os SIPA não são novidade, mas novas terminologias e conceitos podem levar do à dificuldade na compreensão de quais tipo de sistema de produção se trata. , o que provoca imprecisão e dubiedade nos meios acadêmico e técnico-científico. Segundo os mesmos autores, na literatura técnica deve se usar o termo Integração Lavoura-Pecuária, e na literatura científica, o termo Sistema Integrado de Produção Agropecuária, cujos acrônimos em português seriam ILP e SIPA, respectivamente. Para fins de indexação internacional, sugerem o termo *Integrated Crop-Livestock System* e uso do acrônimo ICLS. Qualquer que seja o termo utilizado, recomenda descrever quais componentes fazem parte do sistema, e como eles se arranjam nas dimensões tempo e espaço.

## **2.1 DEFINIÇÕES, TERMINOLOGIAS E INTEGRAÇÕES EM SIPA**

O conceito de maior difusão de atividades agropecuárias para SIPA é o proposto pela FAO (2010), a qual aborda que a integração pode ser em níveis de fazenda ou até fora dela, o que pode envolver alguma especialização. A integração bem-sucedida envolve uma integração intencional que reflete uma relação sinérgica entre os componentes (o todo é maior do que a soma das partes) de culturas, gado e/ou árvores, e que esta relação sinérgica, quando administrada de forma adequada, resulta em maior sustentabilidade social (incluindo a comunidade), econômica e ambiental, e melhoria na vida dos agricultores que os administram. A FAO utiliza ainda um segundo termo em seus documentos, i.e. *mixed cropping* (cultivo misto), empregado em documentos mais recentes, e mais especificamente associado a pequenos produtores na África e Ásia. O cultivo misto é abordado como o uso de diferentes culturas, árvores, animais, peixes para garantir uma variedade de fontes de alimentos, forragens, fibras e uso complementar dos recursos naturais. Também traz mais estabilidade para o ecossistema. O cultivo misto é um sistema de semear duas ou três safras ou em sucessão na mesma terra, uma sendo a safra principal e as demais as subsidiárias (CARVALHO *et al.*, 2014).

Os SIPA incluem distintas combinações de atividades, tais como: integração lavoura-floresta (agrissilvicultura, silviagrícola, ILF ou lavoura com árvores), pecuária-floresta (sistema silvipastoril, IPF ou pecuária com árvores), lavoura-pecuária-floresta (sistema agrissilvipastoril, agrossilvipastoril, ILPF ou lavoura-pecuária com árvores) e lavoura-pecuária (sistema agropastoril, ILP ou lavoura-pecuária sem árvores) (BALBINO *et al.*, 2011; GALFORD *et al.*, 2013; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; PONTES *et al.*, 2021). Combe (1982), Engel (1999), Asfaw (2001), Huxley e Van Honten (1997) citam ainda outros sistemas que incluem árvores, como: práticas urbanas e periurbanas (*home gardens*), tendo combinações de árvores/arbustos com a produção de vegetais; sistemas que combinam produção de árvores e insetos (entomoforestria); árvores que revestem tanques utilizadas como produtoras de alimento de peixes (*Aqua-silvo-fishery*); enriquecimento de capoeiras com espécies de importância econômica; taungya; quebra-ventos; cultivo em aleias; quinta florestal; multiestratificado; cabruca. A maioria das formas de integração normalmente são melhor classificadas como parte dos SAF (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008; SHULER *et al.*, 2021).

A FAO destaca que os SAF (*Agroforestry Systems*) seriam um nome coletivo para sistemas de uso da terra e tecnologias onde plantas perenes lenhosas (árvores, arbustos, palmeiras etc.) são usados deliberadamente na mesma terra, unidade de manejo como culturas agrícolas e/ou animais, em alguma forma de arranjo espacial ou sequência temporal. Nos SAF, existem interações ecológicas e econômicas entre os diferentes componentes (CARVALHO *et al.*, 2014).

## 2.2 SIPA NO BRASIL

Os SIPA são adotados no Brasil para diversificar e intensificar sistemas produtivos, agrícolas, pecuárias e florestais dentro de uma mesma área, sobretudo em decorrência da lógica econômica de mercado (ZANASI *et al.*, 2020). Tem sido empregada modalidades de SIPA para reverter processos de degradação ou de áreas improdutivas. Esses sistemas no Brasil parecem estar mais ligados dentre outras práticas, a: lavouras de grãos, em que a introdução de gramíneas forrageiras visa a cobertura do solo para o sistema de plantio direto, possibilitando ainda, na entressafra, oportunidade para uso na alimentação de bovinos; áreas de rotação pasto-lavoura para intensificar o uso da terra e melhorar a integração das atividades;

e, ainda, áreas de pecuária para proteção de extremos climáticos com introdução do componente florestal (VILELA *et al.*, 2011).

Rede de Fomento ILPF (Rede ILPF)<sup>1</sup>, na safra 2015/2016, estimou uma área de 11,5 milhões de ha no Brasil com sistemas integrados, sendo que o sistema de lavoura-pecuária, sem o componente florestal, respondia por 83% da adoção. Portanto, apenas de 17% dos sistemas tinham o componente florestal. Os estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, ambos da região Centro-Oeste, detinham a maior área de adoção de SIPA no Brasil, com aproximadamente 2 milhões e 1,5 milhão de ha, respectivamente. Já os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina possuíam a maior porcentagem de área ILPF em relação, a área sob uso agropecuário, com 20,5% e 19,3%, respectivamente. Já Polidoro *et al.* (2021) estimam que as quatro modalidades de SIPA citadas anteriormente (ILP, ILPF, IPF e ILF) ocuparam 17,42 milhões de hectares nos cinco biomas em 2020 (POLIDORO *et al.*, 2021).

Dados do Censo Agropecuário Brasileiro mostram que no Brasil (IBGE, 2006, 2017), a área com uso de sistemas integrados passou de 8,4 em 2006 para 13,1 milhões de hectares em 2017, um aumento de quase 60% (MAIA *et al.*, 2021). Na região amazônica é observada uma adoção menor em relação a outros biomas (comparando censo de 2006 e de 2017, com o total de SIPA implantados). Nesse período foi observado para o bioma Amazônia aumento de 6% nas áreas com SIPA, de 1,51 milhões de ha para 1,61 milhões de ha (2006, 2017, respectivamente). Já para o bioma Mata Atlântica, que detém crescimento intermediário; em 2006, os SIPA ocupavam 1,26 milhões de ha de e, em 2017, ocupavam 1,57 milhões de ha de todo território, o que representa um aumento de 25% de novas áreas (IBGE, 2006; 2017).

De acordo com Maia *et al.* (2021), a adoção de SIPA no bioma Mata Atlântica pode estar relacionado com a maior acessibilidade ao crédito, além do uso mais intensivo de capital, tecnologia e mão de obra qualificada. No entanto, Silveira *et al.* (2022) relatam que esse crescimento ainda é considerado baixo e pesquisas são desenvolvidas para entender as barreiras responsáveis desse processo lento de adoção. Até o momento, foi reconhecido que as limitações no bioma Mata Atlântica

---

<sup>1</sup> A Rede Fomento ILPF é uma parceria público-privada. Seu objetivo é o de acelerar uma ampla adoção dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta por produtores rurais como parte de um esforço visando a intensificação sustentável da agricultura brasileira.

estão concentradas com a incerteza sobre o sistema, redução na produtividade das principais culturas agrícolas pela falta de modelos e conhecimento da região. Somado a esses fatores, existem ainda as barreiras burocráticas e incertezas (SAGASTUY; KRAUSE, 2019; URRUTH; BASSI; CHEMELLO, 2022). Para Souza, Fritz Filho e Moretto (2021), as dificuldades envolvem não somente as mudanças no pensamento, mas as dimensões econômicas, tecnológicas, sociais e culturais. Tal escolha dificulta a implantação de outros sistemas, muitas vezes pela falta de informação e de assistência técnica para construir e consolidar um novo sistema de produção. Esse cenário reforça a necessidade de melhorias na assistência técnica, de extensão rural, capacitação e treinamento, a fim de incentivar os produtores que ainda utilizam agricultura convencional a migrarem para novas oportunidades de sucesso que os sistemas sustentáveis oferecem (SAGASTUY; KRAUSE, 2019).

No bioma Amazônia, as principais barreiras identificadas estão relacionadas ao acesso ao crédito, posse da terra, infraestrutura, educação rural, mão de obra qualificada e tradições culturais existentes. Segundo Cortner *et al.* (2019) e Carrer *et al.* (2020) deve haver melhorias da distribuição do crédito rural, com linhas de crédito competitivas e sustentáveis; transferência de conhecimento, que aumenta a conscientização sobre tecnologias de alto desempenho; apoio aos produtores, por meio de assistência técnica e extensão rural. Além de destacar a importância das estruturas governamentais, culturais e ecológicas para influenciar a percepção ambiental desses produtores (SILVEIRA *et al.*, 2022; CORTNER *et al.*, 2019).

Para Dos Reis *et al.* (2021), os SIPA nos biomas Cerrado e Amazônia são mais eficientes na conversão de recursos ambientais e econômicos em produtos finais e tendem a um desempenho equilibrado entre os resultados econômicos e ambientais, além de contribuírem para a economia de terra e mitigação de CO<sub>2</sub>. Costa *et al.* (2018) observaram, na região de Cerrado brasileiro, que os sistemas integrados melhoraram a qualidade do emprego, promoveram investimentos de geração futura na sociedade e diminuíram os custos totais de produção em 54%, quando comparados aos sistemas convencionais.

Para que os SIPA sejam adotados amplamente, as tecnologias devem estar disponíveis e acessíveis, o que reforça a importância de estratégias que envolvem um processo integrado de gestão, da sustentabilidade do uso de recursos naturais, finanças, recursos humanos e mercado competitivo. Uma forma de atingir tais objetivos é a implantação de Unidades de Referência Tecnológica (URT) – áreas

ou propriedades modelos e de referência para realidade daquela determinada localidade. Essas URT devem ser implantadas em locais estratégicos e que possuam modelos direcionados para esses sistemas como, por exemplo, a Embrapa, universidades, institutos estaduais e programas regionais (SILVEIRA *et al.*, 2022). Outra questão é tornar os processos de acesso ao crédito menos burocráticos, como os do Programa ABC (principal linha de crédito para o desenvolvimento sustentável, que inclui a implementação das estratégias do ILPF). Além de proporcionar taxas de juros mais atrativas, melhorar a divulgação desse plano de crédito entre os produtores, promover capacitações dos gestores envolvidos com os sistemas (ZU *et al.*, 2018; SILVEIRA *et al.*, 2022), e reformular políticas com ações governamentais e instituições de pesquisa que considerem em seus projetos a sustentabilidade ambiental e inovações tecnológicas acessíveis a localidade de atuação (CROUZEILLES *et al.*, 2019).

O governo brasileiro desenvolveu planos para a intensificação por meio de capacitação, assistência técnica e crédito para agricultores que decidam adotar práticas agrícolas sustentáveis (e.g. ABC PLAN; MAPA, 2019; 2020; VINHOLIS *et al.*, 2021). Ao final de 2016, a exemplo de planos de intensificação, os SIPA atingiram 5,83 milhões de hectares no Brasil (VINHOLIS *et al.*, 2021). No entanto, mesmo atendendo a meta voluntária de 4 milhões de hectares até 2020, conforme plano de redução de emissões de GEE, e evitando a emissão de 22,1 milhões de toneladas de dióxido de carbono (MAPA, 2019); a área ocupada por esses sistemas representava apenas 3,7% da área total de pastagens no Brasil (VINHOLIS *et al.*, 2021).

Oliveira *et al.* (2017) destacam que os sistemas integrados de produção ganharam força por meio do Plano Setorial para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), que é um mecanismo de política para reduzir as emissões agrícolas apoiado por uma iniciativa de crédito. O Plano ABC, conforme destacam o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), oferece empréstimos a juros baixos para agricultores que buscam implementar práticas agrícolas sustentáveis, como parte da política nacional do Brasil para tecnologias de mitigação a mudanças climáticas. A iniciativa é composta por sete programas, seis deles para tecnologias de mitigação e um programa com ações de adaptação às mudanças climáticas: Programa 1: Recuperação de pastagens

degradadas; Programa 2: Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAF); Programa 3: Sistema plantio direto (SPD); Programa 4: Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); Programa 5: Florestas plantadas; Programa 6: Tratamento de dejetos animais; Programa 7: Adaptação às mudanças climáticas.

O Plano ABC foi uma das estratégias setoriais para composição do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) - como marco legal pela Lei 12.187/09 e Decreto nº7.390/2010 - a fim de atender aos compromissos voluntários de redução de gases de efeito estufa (GEE), assumido pelo Brasil em Copenhague, Dinamarca, em 2009, na 15ª Conferência entre as Partes (COP 15) (BRASIL, 2009). Complementarmente, em 2013, instituiu-se a Política Nacional de ILPF por meio da Lei nº 12.805 de 29 de abril e altera a Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991, a qual prevê a recuperação de áreas degradadas e a redução dos desmatamentos por meio dos sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. A política desenvolvida visa a ampliação das linhas de crédito para produtores rurais que adotarem os sistemas ILPF e dando apoio técnico para que possam desenvolver esse tipo de manejo (BRASIL, 2013).

### **2.3 ATUALIDADES E PERSPECTIVAS SOCIOECONÔMICAS E AMBIENTAIS EM SIPA**

Há uma preocupação em como gerenciar o crescimento do setor agropecuário com menor custo ambiental. A segurança alimentar deverá avançar sob tecnologias de intensificação sustentável e que promovam ganhos de eficiência, para produzir mais alimentos sem que se explore mais área, água e insumos (HERRERO *et al.*, 2010; 2013). O Brasil tem enfrentado desafios para equilibrar a produção agrícola e a proteção ambiental; e os SIPA têm se caracterizado como uma das principais estratégias para atender a produção de alimentos, geração de energia e uso da terra com práticas sustentáveis (BRASIL, 2013; BONAUDO *et al.*, 2013; GIL; GARRET; BERGER, 2016).

Alguns produtores e pecuaristas veem pontos positivos na adoção de sistemas integrados, como melhoria da biodiversidade, habitats de vida selvagem, saúde e bem-estar animal, estética da paisagem (GARCÍA DE JALÓN *et al.*, 2018), segurança alimentar, bem-estar social (FAHMI *et al.*, 2018), além de gerar renda adicional (JESSY *et al.*, 2017). Em contraste, apontam que a falta da mão de obra, a complexidade do trabalho, os custos de gestão e os encargos administrativos, são

vistos como os aspectos negativos mais importantes (GARCÍA DE JALÓN *et al.*, 2018; BENDAHAN *et al.*, 2018).

Há uma busca pelo equilíbrio e exploração sustentável dos recursos naturais de modo que se possa atender a demanda de alimentos, o bem-estar humano e animal sem agredir a natureza. Sistemas integrados podem trazer efeitos positivos diversos, sobretudo, pela combinação de valores de produção e biodiversidade, comparado a outros sistemas agrícolas e pecuários convencionais (COSTA *et al.*, 2018). De acordo com Vale *et al.* (2019), a densidade animal para uma pastagem tradicional é de 1 a 2 cabeças por hectare, em pastagem intensificada com suplementação energética-proteica é de 3 a 7 cabeças por hectare, em semiconfinamento é de 8 a 14 cabeças por hectare, e em confinamento de 100 a 600 cabeças por hectare. Em SIPA, o bom gerenciamento poderia quase dobrar o número de cabeças por hectare em relação à pastagem tradicional, sobretudo aquelas que passaram por manejos extensivos e níveis elevados de degradação (ZU ERMGASSEN *et al.*, 2018). O alcance de tais níveis de intensificação dependerá das características econômicas e geográficas da região, acesso a informações, educação e atitudes dos produtores (ZEWELD *et al.*, 2018), bem como oferta de tecnologias apropriadas, especialização na atividade, arranjos institucionais e políticas de apoio (BORREMANS *et al.*, 2016).

SIPA podem ser competitivos relacionado ao cultivo convencional. Dos Reis *et al.* (2021) encontraram, em média, custos de produção 62% menores e custos operacionais 51% menores em SIPA do que no cultivo contínuo. Pontes *et al.* (2021) apontam que em SIPA os insumos representam a maior parte dos custos totais (60%), seguidos de despesas com custos operacionais (27%) e custos indiretos (12%). O maior custo com as árvores em sistema ILPF ocorre no primeiro ano, ano do plantio destas, representando 16% do custo total.

A diversificação, por meio de SIPA, pode melhorar o desempenho econômico, especialmente em áreas desfavorecidas. Pontes *et al.* (2021), em estudo com dois SIPA (ILP, lavoura-pecuária e ILPF, lavoura-pecuária-floresta) na região dos Campos Gerais no Paraná, obtiveram lucro em ILP, no entanto, no ILPF, apesar da importância da renda da madeira, as árvores, quando maduras, prejudicaram a obtenção de lucro ao longo dos anos. No município de Vazante, Minas Gerais, o baixo valor de mercado da madeira destinada à energia em relação à madeira para serraria, resultou em inviabilidade econômica para os arranjos de 9,5 x 1,5 m e 9,5 x 2,0 m. Por

outro lado, o talhão de 9,5 x 4,0 m, com árvores maiores e maior produtividade da soja, foi o mais viável economicamente, apesar da produção de madeira ter sido maior no arranjo 9,5 x 1,5 m, considerando a destinação de 40% da madeira para serraria e os preços e custos assumidos no estudo (BARBOSA *et al.*, 2019).

O milho em ILPF pode sofrer uma queda de produtividade no curto prazo (MAGALHÃES *et al.*, 2019). O sombreamento pode prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular principalmente próximo as linhas das árvores (BIELUCZYK *et al.*, 2021). Neste estudo, de 31 a 80 dias após a germinação do milho, o comprimento de raiz em ILPF foi reduzida em 120–179 cm m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> ao longo do espaço entre as árvores. Para o período de pastagem, a densidade total de comprimento de raiz produzida reduziu 6% na distância de 1,9 m das árvores, mas aumentou 25% a 4,3 e 7,5 m, quando comparado ao ILP. A sombra das árvores de eucalipto na posição ILPF 1,9 m, com transmissão de radiação fotossintética (PAR) principalmente abaixo de 60%, prejudicou drasticamente o crescimento das raízes.

As características, o arranjo e a densidade populacional das árvores em SIPA arborizados podem causar mudanças ambientais, que refletem na produtividade vegetal e animal. Estudos sobre SIPA, realizados em diversas regiões brasileiras, concluíram que a competição entre componentes se torna significativa 4 ou 5 anos após a sua implementação, dependendo do arranjo e população de árvores, reduzindo a produtividade de pastagens ou lavouras intercalares (MAGALHÃES *et al.*, 2019; PEZZOPANE *et al.*, 2019). Reduções na produtividade das pastagens também foram identificadas em regiões sujeitas a graves déficits hídricos, como as regiões pecuárias da Austrália e Nova Zelândia (BENAVIDES *et al.*, 2009; RIVEST *et al.*, 2013). Nesses países, os efeitos adversos são mais significativos em regiões com precipitação anual inferior a 900 mm.

Estudos mostraram viabilidade econômica em SIPA com componente arbóreo quando em densidades de 196 (TRIVELIN, 2020), 263 (BARBOSA *et al.*, 2019) e 448 árvores ha<sup>-1</sup> (TRIVELIN, 2020) em condições específicas. Segundo Trivelin (2020) o sistema com densidade arbórea de 196 árvores por hectare foi equivalente ao tratamento sem árvores não influenciando na produção pecuária, enquanto com 448 árvores por hectare apresentou resultados inferiores ao de 196 árvores por hectare. O custo foi 14% maior no sistema com 196 árvores por hectare, e 33% maior no sistema com 448 árvores por hectare em relação ao convencional. Neste acréscimo nos custos, 55% foram de insumos e 38% para mão de obra. Os

autores concluíram que o aumento da densidade de árvores no SIPA, acarreta aumento no custo de implantação e operacional.

No Brasil, a Embrapa publicou resultados de estudos econômicos sobre SIPA de suas unidades descentralizadas de pesquisa, as quais estão distribuídas nos diversos biomas. Quase todas as análises econômicas (exceto a da Embrapa Cerrados - CPAC) apresentaram resultados otimistas dos SIPA, independentemente de sua configuração ou do bioma em que se encontravam. Os resultados apontaram que sistemas com o componente florestal apresentam, em geral, maiores custos de implantação e de tempo de retorno do capital, o que pode configurar importante barreira à entrada de novos produtores. Por outro lado, são promissores quanto à geração de renda e mitigação de riscos ambientais (embora riscos de mercado possam ser maiores). Para Pereira (2019) o Valor Presente Líquido (VPL) dos SIPA sugere que esses sistemas são competitivos com a monocultura, desde que bem conduzidos tecnicamente e voltados a mercados que remunerem seus produtos pelo valor ambiental e social que o sistema proporciona.

Sistemas integrados podem servir como um meio direto e indireto de atender à “Saúde Planetária - *One Planetary*”, que tem como premissas melhorar o bem-estar animal, humano e os componentes ambientais a fim de atender às metas mundiais de desenvolvimento sustentável (ROSENSTOCK *et al.*, 2019). A união destes fatores poderia promover a segurança alimentar, sustentabilidade, redução do sofrimento animal e humano e aumentar a produtividade de sistemas agrícolas e florestais (TARAZONA *et al.*, 2020) – premissas similares às dos SIPA.

Para Lemaire *et al.* (2014), Soussana; Tallec e Blanfort (2010) e Carvalho *et al.* (2011) o nível que estes serviços são prestados depende da gestão local, tipos de culturas, condições edafoclimáticas e manejos. Para Peyraud; Taboada e Delaby (2014), o manejo inadequado pode trazer pontos negativos como o empobrecimento da fertilidade do solo, perda de biodiversidade, perdas de estoques de carbono e excessos de nitrogênio e fósforo (PEYRAUD, TABOADA, DELABY, 2014).

## 2.4 SIPA E AS METAS NACIONAIS DE REDUÇÃO DE GEE E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Brasil se consolidou como um dos maiores produtores de agrícolas do mundo. No entanto, a expansão das áreas destinadas a agropecuária no Brasil está associada a altas taxas de desmatamento (OVERBECK *et al.*, 2015; JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014; BEUCHLE *et al.*, 2015; GODAR *et al.*, 2014; SPERA, 2017).

As emissões de gases de efeito estufa (GEE), mudanças climáticas (locais e regionais) e a agricultura estão intimamente interligadas (LAPOLA *et al.*, 2014). A necessidade de aumentar a produção agrícola no mundo para a segurança alimentar parece estar em desacordo com a urgência em reduzir os impactos negativos da agricultura (LEMAIRE *et al.*, 2014). A exploração inadequada dos recursos e o uso de práticas extensivas têm colaborado para o aumento das emissões de GEE, responsáveis por 30% do total das emissões antropogênicas, oriundas do desmatamento, uso de fertilizantes, pecuária e outras práticas agrícolas (BEDDINGTON, 2012; IPCC, 2013; THORNTON; HERRERO, 2015).

Os SIPA podem contribuir para alcançar um balanço positivo nas práticas agropecuárias e melhorar as condições de uso do solo, pois representam atividades que otimizam e apresentam potencialidades no sentido ecológico e socioeconômico (BULLER *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2017; CASTRO NETO *et al.*, 2017; SCHEMBERGUE *et al.*, 2017), como na fixação de CO<sub>2</sub> pela vegetação e pelo solo, aumento da biodiversidade e resiliência dos agroecossistemas (BULLER *et al.*, 2015; MBOW *et al.*, 2014; FAO, 2010; ALVES-PINTO, 2017).

Além disso, a diversificação das atividades agrícolas e, conseqüentemente, a redução de riscos comerciais é outro aspecto chave dos SIPA. A adoção destes sistemas melhora os aspectos sociais, ambientais e econômicos da fazenda e gera uma estabilização dos agricultores em suas regiões; com uma produção eficiente, sustentável e de baixo risco (GIL *et al.*, 2015). Em geral, a intensificação envolve um conjunto de peculiaridades econômicas, sociais, políticas, bem como suas interações com as condições locais.

No Brasil, os SIPA são relevantes para atingir as metas da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) (MMA, 2019; UNFCCC, 2015). O Ministério do Meio Ambiente (MMA) destaca o compromisso firmado pelos países na COP, signatários e outros (195 países), a limitar o aquecimento da terra em até 2°C,

com esforços para que a temperatura não subisse mais de 1,5°C. O Brasil visava reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% em 2025; e 43% em 2030, comparadas as do ano de 2005 (MMA, 2019). Para alcançar as reduções, o Brasil tem investido em fontes de energias alternativas renováveis, de modo a assegurar que 45% sejam provenientes destas fontes, enquanto a média mundial é de 13%. No setor de uso da terra, o documento brasileiro propunha restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de vegetação, além de acabar com o desmatamento ilegal.

Outras medidas apresentadas no documento brasileiro para NDC<sup>2</sup>, compreendem o aumento da participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030. Além disso, no setor florestal, a busca é pelo fortalecimento do cumprimento do Código Florestal; fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar, na Amazônia Legal, o desmatamento zero até 2030; ampliar a escala de sistemas de manejo sustentável de florestas nativas, por meio de sistemas de georreferenciamento e rastreabilidade, com vistas a desestimular práticas ilegais e insustentáveis. No setor agrícola, a busca é por fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como principal meio para o desenvolvimento sustentável da agricultura, principalmente por meio da restauração de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 e incremento de 5 milhões de hectares ILPF até 2030 (BRASIL, 2015). No entanto, estas metas de desmatamento zero parecem estar distantes. O estudo de Da Silva *et al.* (2023) aponta que o desmatamento acumulado na Amazônia Brasileira no período 2016–2020 (254.465 km<sup>2</sup>), é maior do que em dois períodos anteriores, ou seja, analisados 92% maior que no período 2005–2010 e 82% maior que no período 2001–2005.

As últimas Conferências das Partes (COP) parecem não ter avançado em medidas de adaptação e em escala de redução para atingirem a meta global e os pactos climáticos (i.e. Glasgow, Escócia COP26). As discussões e debates sobre as mudanças climáticas na COP27 (realizada em 2022, na cidade de Sharm el-Sheikh, no Egito) permanecem frente à criação de fundos e aceleração de transições energéticas, bem como a preparação para a fase final do balanço global do acordo com a COP21 (realizada em 2016, na cidade de Paris, França). O Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC) alerta para os riscos das

---

<sup>2</sup> O NDC (sigla em inglês) - Contribuição Nacional Determinada, é o documento que registra os principais compromissos e contribuições para o futuro climático, apresentado e negociado durante a COP (MMA, 2019).

mudanças e aumento da temperatura, mais que 1,5° C, o que poderia trazer riscos a locais mais pobres.

Estratégias como SIPA tem sido adotada no Brasil para atingir as metas acordadas na COP. Segundo dados da REDE Fomento ILPF (2017), na primeira etapa de incentivo atingiu-se um incremento de 5,98 milhões de hectares de ILPF, cuja meta era um incremento de 4,00 milhões de hectares até 2020; na ratificação ocorrida durante o Acordo de Paris - COP 21 houve um acréscimo na meta de cinco milhões de hectares, totalizando nove milhões de hectares até 2030.

Planos de gestão, desenvolvimento rural sustentável, preservação e mitigação de GEE foram implementadas para atingir tais metas, dentre as quais destacam-se:

- Plano Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável e Solidário (PNDRSS) criado pelo MDA e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável (CONDRAF) ao longo de 2013;
- Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica, Brasil Agroecológico (Planapo) (MDA, 2013);
- Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) (MMA, 2019);
- Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA) (MMA, 2019);
- REED + Brasil (2019);
- Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) (BRASIL, 2017; MMA, 2019);

Lal (2010) destaca que a mitigação às mudanças climáticas pode ir além dos acordos e compromissos traçados nas convenções para se alcançar a segurança alimentar. O autor defende o pagamento à agricultores pela administração e melhoria de serviços ecossistêmicos, onde estes seriam gerados pelo uso de práticas de manejo recomendadas para melhorar a agricultura. No Brasil, esta prática surgiu como uma possibilidade por meio do pagamento de serviços ambientais (PSA), no entanto, sofreu com várias limitações que a tornaram, até então, de difícil aplicação (BRASIL, 2012; MONTAGNINI; FINNEY, 2011).

Os SIPA têm proporcionado ganhos expressivos de melhoria no uso

do solo (CECAGNO *et al.*, 2018). A combinação de atividades agrícolas, pecuárias e /ou florestais é traduzido em maior retorno econômico, impactos positivos em condições edáficas, microclimáticas e favorecimento ao sequestro anual de carbono, contribuindo, assim, para um balanço de carbono positivo. De fato, todos podem se beneficiar dos SIPA, uma vez que tem potencial de garantir retornos socioeconômicos e prestação de serviços ambientais expressivos, no curto, no médio e no longo prazo (LEMAIRE *et al.*, 2014; SALTON *et al.*, 2014; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015).

## 2.5 NITROGÊNIO

O uso irregular de fertilizantes na agricultura é o principal responsável pela contaminação das águas subterrâneas e superficiais (CONCEIÇÃO *et al.*, 2014). Esse uso inadequado aumenta as perdas de N no ambiente, nas formas como amônia ( $\text{NH}_3$ ), amônio ( $\text{NH}_4$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3$ ). A nível mundial, o setor da agricultura e da pecuária, são responsáveis pela emissão de 2/3 do  $\text{N}_2\text{O}$  para atmosfera (RODRIGUES *et al.*, 2017). São muitas as possibilidades de mitigação das emissões de GEE (sistema plantio direto, recuperação de pastagens, manejo de dejetos, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), fixação biológica de nitrogênio (FBN), plantio de florestas, redução das queimadas, dentre outras) para o setor agrícola que impactam diretamente nas emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ .

O nitrogênio (N) é um elemento utilizado em diversas atividades econômicas (RODRIGUES *et al.*, 2017), sobretudo ligados aos setores agrícolas e industriais (GARCIA; CARDOSO, 2013). O N é um dos elementos mais importantes para o crescimento das plantas, e seu metabolismo é o segundo maior processo metabólico vegetal, superado apenas pela fotossíntese. O nitrogênio desempenha papel fundamental na formação da clorofila, é parte constituinte de vitaminas, carboidratos e proteínas (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). O metabolismo deste nutriente envolve complexos sistemas de absorção, assimilação e mobilização que nem sempre são compreendidos em todas as espécies. Trata-se do nutriente mais dispendioso e altamente exigido em diversas culturas (LAVIOLA; DIAS, 2008). O ciclo do nitrogênio compreende cinco etapas específicas: fixação, amonificação, nitrificação, desnitrificação e assimilação. A quantidade e a velocidade com que esses nutrientes sejam absorvidos pelos vegetais dependem de uma série de fatores ambientais, como o clima e solo, além das condições da própria planta principalmente,

estado nutricional, turgescência e características genéticas (MOTA et al., 2020). Silva (2013) cita ainda que as taxas de transformação de N (processos) podem variar de um ecossistema para o outro, uma vez que são controlados por uma série de fatores como água, temperatura, oxigênio e solo (abióticos); comunidade de plantas, micro-organismos, qualidade de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes (bióticos).

As plantas podem adquirir N pelas raízes através de assimilação dos íons amônio  $\text{NH}_4^+$  (dependente do processo de amonificação (ou mineralização do N orgânico) e nitrato  $\text{NO}_3^-$ ; ou ainda transportado para as folhas, onde então ocorre a assimilação (FEITOSA, 2014). Outra forma de fixação de Nitrogênio são os relâmpagos que respondem por 8% dessa fixação. A fixação biológica (FBN) é uma importante via de entrada de N, principalmente, em área de cultivo de leguminosas, como a soja (*Glycine max*) por exemplo. No entanto, somente alguns grupos específicos de microrganismos que possuem a enzima nitrogenase têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico. Trata-se de um complexo enzimático que promove a catálise (quebra da tripla ligação entre os átomos de N) e redução da molécula do  $\text{N}_2$  atmosférico a  $\text{NH}_3$  (ou  $\text{NH}_4^+$ ). A absorção e assimilação de N pela planta são processos multiregulados e integrados ao metabolismo geral da planta (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Lima (2021) e Pontes *et al.* (2021) descreveram mudanças no metabolismo do nitrogênio da plantas em função de doses de N e do sombreamento das em áreas, sobretudo nos níveis de clorofila, desbalanço na assimilação de carbono e nitrogênio, ciclagem do nitrogênio. Em SIPA, por exemplo, essas mudanças interferem no crescimento e produção das espécies utilizadas, principalmente aquelas localizadas abaixo do dossel de árvores, sendo necessário o manejo do sistema para que as espécies se desenvolvam bem em função desta condição (MORAES et al., 2014). Há variações naturais no teor de N encontrado nas folhas de algumas plantas, no entanto, existem indícios de que folhas que recebem maior irradiância solar têm maiores concentrações de N em relação às folhas sombreadas (EVANS, 1989). Em condições de estresse causado pela incidência solar, as plantas podem alterar as concentrações de clorofila e carotenóides, criando um indicador de suscetibilidade (TAIZ; ZEIGER, 2013), inclusive que reduziria a razão clorofila a/b. Uma estratégia da planta em ambiente sombreado seria a remobilização do nitrogênio para a folha fotossinteticamente ativa (NOGUEIRA, 2022). No entanto, estudos realizados com milho revelaram que a remobilização de N normalmente ocorre na fase de enchimento de grãos (MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2001).

Assim a forma de não tornar limitante o N em ambientes de SIPA, sobretudo para as culturas intercalares, seria a disponibilização de nitrogênio no solo com a adição de fertilizantes minerais, associado ao aumento da luminosidade no sistema por meio de desbastes (PONTES *et al.*, 2021). Schreiner (1989), em estudo sobre a influência de diferentes espaçamentos das linhas de eucalipto sobre a produtividade da soja, relatou haver uma tendência de maior produtividade da soja nos tratamentos mais espaçados, atribuindo esta maior produtividade ao fato de haver maior intensidade luminosa nestas áreas. Já Macedo *et al.* (2006) avaliaram a influência do sombreamento na cultura do milho em sistema ILF, na região central de Minas Gerais, e verificaram redução no teor de N no grão de milho à medida que diminuía a distância das árvores de eucalipto.

O nitrogênio, segundo Silva (2018), é um dos nutrientes mais exigidos por culturas como milho, milheto, pastagens e sorgo; enquanto a FBN fornece o N necessário para cultura da soja. Dentre os fertilizantes nitrogenados comercializados e utilizados em pastagens no Brasil, a ureia (44 a 46% de N), e o sulfato de amônio (20 a 21% de N), são os mais utilizados (COSTA *et al.*, 2008). A ureia apresenta alta concentração de N, fácil manipulação e promove menor acidificação do solo, sendo, do ponto de vista econômico, superior às demais fontes, (MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2004). Embora contribuam significativamente com a produtividade das lavouras, os gastos com fertilizantes nitrogenados representam cerca de 30 a 40% dos custos de produção (CONAB, 2023). Isso ocorre, pela baixa disponibilidade de reservas minerais de N no Brasil e elevado custo de extração, sendo necessário recorrer ao mercado externo para atender a demanda do país. O Brasil precisa importar aproximadamente 80% do nitrogênio, 60% do fósforo e 90% do potássio necessário para sua produção agropecuária (OGINO; VIEIRA FILHO, 2022).

### **3 ARTIGO A: EXPANSÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA ARBORIZADOS NO BRASIL**

#### **3.1 RESUMO**

A necessidade de aumentar a produção agrícola mundial e a segurança alimentar parece estar em contradição com a urgência de reduzir os impactos ambientais negativos do setor agrícola. Para reduzir tais impactos é imprescindível a adoção de práticas associadas à resiliência dos agroecossistemas, à expansão da biodiversidade e ao aumento da fixação de CO<sub>2</sub> na vegetação e no solo. Portanto, este artigo teve como objetivo demonstrar o impacto do crédito rural alocado ao Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) e se ele influenciou a expansão da área com o SIPA no Brasil. Foram utilizados dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017 divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto os valores e números dos contratos destinados ao Plano ABC com linha específica ao sistema ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) foram obtidos pelo Banco Central do Brasil. Os dados revelaram uma expansão da área que adota o SIPA no Brasil, embora tenha sido observada uma concentração dessas áreas no Nordeste do país. Mas, ao mesmo tempo, houve dispersão para outras regiões, especialmente para os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, evidenciando a heterogeneidade entre as microrregiões brasileiras. Ao analisar o crédito rural atribuído ao Plano ABC, como incentivo à adoção do SIPA, observou-se que a maior parte das microrregiões não tinha acesso a recursos públicos, e as beneficiadas estavam localizadas no Centro-Oeste e Sul do país. Assim, constatamos que a expansão das áreas com SIPA no Nordeste do Brasil não foi incentivada pelo crédito rural alocado ao Programa ABC.

**Palavras-chave:** Dinâmica Espacial; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; Plano ABC

#### **3.2 ABSTRACT**

The need to increase world agricultural production and food security seems to be at odds with the urgency to reduce negative environmental impacts by the agricultural sector. To reduce such impacts, it is necessary to adopt practices associated with the resilience of agroecosystems, the expansion of biodiversity, and the increase in CO<sub>2</sub> fixation in vegetation and soil, such as, for example, integrated agricultural production systems (ICLS). Therefore, this article aimed to demonstrate the impact of rural credit allocated to the ABC Plan (Low Carbon Emission Agriculture) and whether it influenced the expansion of the area with SIPA in Brazil. Data from the 2006 and 2017 Agricultural Censuses released by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) were used, while the values and numbers of contracts intended for the ABC Plan with a specific line to the ILPF system (Integration crop-livestock-forest) were obtained by the Central Bank of Brazil. The data revealed an expansion of the area that adopts SIPA in Brazil, although a concentration of these areas was observed in the Northeast of the country. But, at the same time, there was a dispersion to other regions, especially to the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, highlighting the heterogeneity between the Brazilian micro-regions. When analyzing the rural credit attributed to the ABC Plan, as an incentive for the adoption of SIPA, it was observed that most of the micro-regions did not have access to public resources, and those that benefited were

located in the Midwest and South of Brazil. Thus, we found that the expansion of areas with SIPA in northeastern Brazil was not encouraged by rural credit allocated to the ABC Program.

**Key-words:** Spatial Dynamics; Integration Crop-Livestock-Forestry System; ABC Plan.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A agropecuária brasileira tem buscado na ciência, tecnologia e inovação, respostas para atender a sua produção com bases cada vez mais sustentáveis. É crescente a preocupação do poder público com questões envolvendo o desenvolvimento do setor agropecuário e a segurança alimentar, aliados ao menor impacto ambiental. Isso porque, para a garantia da segurança alimentar se faz necessária a adoção de tecnologias baseadas na intensificação sustentável da produção agropecuária, que promovam ganhos de eficiência sem a expansão de áreas agricultáveis, maximizando o uso dos recursos naturais e reduzindo o uso de insumos externos (HERRERO *et al.*, 2010; 2013).

O Brasil tem enfrentado desafios para equilibrar a produção agrícola e a proteção ambiental, e os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) têm se caracterizado como estratégias para atender a produção de alimentos, geração de energia e uso da terra de forma mais sustentável (BRASIL, 2013; BONAUDO *et al.*, 2014; GIL; GARRET; BERGER, 2016). Os SIPA, ao integrarem atividades pecuárias, e/ou agrícolas, e/ou florestais, em uma mesma área, apresentam efeitos sinérgicos entre os seus componentes, podendo levar ao aumento da produtividade, aliada a conservação dos recursos naturais – por isso podem ser considerados como modelos de produção sustentável. Além disso, a combinação destas atividades – agrícolas, pecuárias e florestais – pode promover maior retorno econômico ao produtor rural, e contribuir com a geração de empregos diretos e indiretos (LEMAIRE *et al.*, 2014; SALTON *et al.*, 2014; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015).

Os SIPA podem ser estratificados em diferentes categorias (BALBINO *et al.*, 2011; GALFORD *et al.*, 2013; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015), tais como: integração lavoura-pecuária (ILP, ou sistema agropastoril), integração lavoura-floresta (ILF, sistema silviagrícola), integração pecuária-floresta (IPF ou sistema silvipastoril), e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF ou sistema agrossilvipastoril). A ILPF, por exemplo, é uma modalidade de SIPA que combina, no espaço e no tempo, agricultura,

criação de animais e floresta, instaladas e manejadas de forma intercalar, sequencial ou rotacional (ASSIS *et al.*, 2017). Tais sistemas permitem otimizar a produção de alimentos, fibras, bioenergia, e produtos florestais, contribuindo com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), com o sequestro de carbono (ALMEIDA *et al.*, 2013; LEMAIRE *et al.*, 2014; SALTON *et al.*, 2014; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; ASSIS *et al.*, 2017), e com o desenvolvimento da bioeconomia.

Diferentes tipos de SIPA têm sido utilizados para reverter processos de degradação de pastagens ou de áreas improdutivas (PONTES *et al.*, 2021). Os SIPA também podem ser empregados em áreas com lavouras e/ou de pastagens anuais. Adotar os SIPA permite, por exemplo, manter a produção agrícola e pecuária sem a necessidade de abrir novas áreas, por isso são capazes de gerar benefícios ambientais, econômicos e sociais (ALMEIDA *et al.*, 2013; LEMAIRE *et al.*, 2014; SALTON *et al.*, 2014; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; PONTES *et al.*, 2021). Entre os benefícios dos SIPA vale destacar a ciclagem de nutrientes, com melhoria da fertilidade do solo, o aumento do bem-estar dos animais, a redução no conjunto dos estabelecimentos com o aumento da produção de grãos, fibras, carne, leite e produtos madeireiros e não madeireiros, proteção das variações climáticas com introdução do componente florestal, dentre outras práticas que visam a sustentabilidade (VILELA *et al.*, 2011).

O setor agropecuário se destaca por sua dualidade frente aos efeitos climáticos, pois se de um lado é considerado vulnerável às mudanças do clima, do outro, em seus processos de produção, pode contribuir com emissões de gases de efeito estufa (GEE). Diante disso, o governo brasileiro lançou 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), bem como o Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Programa ABC), que visam o desenvolvimento sustentável, e com isso a mitigação de emissões de GEE do setor agropecuário. Tal programa oferece crédito a juros baixos para agricultores que buscam implementar práticas agrícolas sustentáveis, como os SIPA. Apesar do Brasil ter atingido a meta de aumentar a área de ILPF em 4 milhões de hectares entre 2010 e 2020, evitando a emissão de 22,1 milhões de toneladas de dióxido de carbono (TELES *et al.*, 2021), a área ocupada por esses sistemas representava em 2017 apenas 7% da área total utilizada pela agropecuária e florestas no Brasil (FRANCA; SILVA, 2017). Outra meta do Programa

ABC visa a recuperação de áreas com pastagens degradadas. As pastagens degradadas se caracterizam pelo manejo inadequado dos recursos naturais e produtivos e por baixos níveis de tecnologia, como a falta de adubação de manutenção e ocorrência de sobrecarga animal, o que acarreta manejo animal deficiente e baixo desempenho produtivo (MORAES *et al.*, 2014; STRASSBURG *et al.*, 2014).

Estudos têm identificado e avaliado tecnologias, níveis de difusão e determinantes de ocorrência dos SIPA no Brasil com enfoques nacional e estadual (GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; GIL; GARRET; BERGER, 2016; SCHEMBERG *et al.*, 2017), não desagregando em menores níveis de análise territorial ou espacial, como mesorregiões, microrregiões e municípios. Contudo, poucos estudos avaliaram o impacto de políticas agrícolas, como o Programa ABC, na expansão dos SIPA (MAIA *et al.*, 2021; SOUZA PIAO *et al.*, 2021). Além disso, há necessidade de analisar a distribuição regional dos recursos do Programa ABC e se estes foram de fato um instrumento para a expansão dos SIPA, para uma melhor avaliação de eficiência de tais programas.

Segundo Bichel e Telles (2021), a região Nordeste brasileira é bastante dependente do extrativismo florestal. Gil, Siebold e Berger (2015) destacam que a silvicultura, como a do eucalipto, e a agropecuária são tradicionais nas regiões Sul e do Centro-Oeste. Assim, é pressuposto no presente estudo que: (i) houve uma expansão heterogênea das áreas que adotam SIPA arborizados, as quais estão concentradas em mesorregiões do Nordeste e nas regiões Sul e do Centro-Oeste; e (ii) que as áreas que adotam SIPA possuem correlação positiva com os recursos da linha de crédito do Programa ABC destinados aos SIPA. O objetivo deste estudo foi verificar a expansão dos SIPA arborizados no Brasil, bem como a correlação do crédito diferenciado destinado aos SIPA neste processo.

### **3.4 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizados dados dos Censos Agropecuários (CA) de 2006 e de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para as 558 microrregiões do Brasil (IBGE, 2006; 2017). Os dados do CA 2006 se referem ao levantamento de dados de 5.175.636 estabelecimentos agropecuários; e os do CA

2017 se referem ao levantamento de dados de 5.068.445 estabelecimentos agropecuários pesquisados<sup>3</sup>.

Os tipos de SIPA considerados nesta pesquisa se fundamentam nas definições dos CA 2006 e 2017, nos quais os SIPA foram definidos como áreas utilizadas, de forma integrada, para lavouras, pastejo por animais e florestas ou matas (nativas ou plantadas). Os tipos de SIPA considerados nos CA 2006 e 2017, são aqueles em que sempre há o componente arbóreo (florestal) – SIPA arborizados.

Para a análise e caracterização dos SIPA, as variáveis selecionadas dos CA 2006 e 2017 foram: (i) a área total dos estabelecimentos agropecuários; (ii) quantidade total de estabelecimentos agropecuários; (iii) a área dos estabelecimentos agropecuários que adotam SIPA; e (iv) a quantidade estabelecimentos agropecuários que adotam SIPA.

Para investigar o impacto do crédito direcionada do Programa ABC, especificamente para as linhas de créditos destinadas ao financiamento de áreas de

---

<sup>3</sup> O Censo Agropecuário foi realizado pela primeira vez em 1920, como parte integrante do Recenseamento Geral. Na década de 1930, não ocorreu por motivos de ordem política e institucional. A partir de 1940, o levantamento foi decenal até 1970 e passou a ser quinquenal posteriormente, realizando-se no início dos anos de final 1 e 6 e referido aos anos de final 0 e 5. No Censo Agropecuário 1995-1996, as informações foram referidas ao ano-safra (agosto de 1995 a julho de 1996). No Censo Agropecuário 2006, a referência dos dados voltou a ser o ano civil. A edição de 2006 caracterizou-se tanto pela inovação tecnológica introduzida na etapa da operação de campo, com a substituição do questionário em papel pelo questionário eletrônico desenvolvido em computador de mão, o Personal Digital Assistant - PDA, quanto pelo refinamento metodológico, especialmente no que diz respeito à reformulação de seu conteúdo e à incorporação de novos conceitos. Nessa edição, também foi implementado o Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos - Cnefe, que reúne, além da descrição detalhada dos endereços dos domicílios e dos estabelecimentos agropecuários, as coordenadas geográficas de todos os domicílios e estabelecimentos (agropecuário, religioso, de ensino, de saúde e de outras finalidades) da área rural, o que traz subsídios ao planejamento de futuras pesquisas do IBGE. O Censo Agropecuário 2017 voltou a ter como referência o ano-safra (outubro de 2016 a setembro de 2017), porém em período distinto daquele adotado no Censo Agropecuário 1995-1996. No levantamento de 2017, foram introduzidas novas tecnologias para o controle da coleta, tais como: lista prévia de endereços, utilização de imagens de satélite nos dispositivos móveis de coleta para melhor localização do recenseador em relação ao terreno, e uso de coordenadas do endereço e do local de abertura do questionário, as quais permitiram melhor cobertura e avaliação do trabalho. A pesquisa fornece informações sobre o total de estabelecimentos agropecuários; área total desses estabelecimentos; características do produtor; características do estabelecimento (uso de energia elétrica; práticas agrícolas; uso de adubação; uso de agrotóxicos; uso de agricultura orgânica; utilização das terras; existência de recursos hídricos; existência de depósitos e silos; existência de tratores, máquinas e implementos agrícolas, veículos, entre outros aspectos); pessoal ocupado; movimentação financeira; pecuária (efetivos e produção animal); aquicultura e produção vegetal (silvicultura, extração vegetal, floricultura, horticultura, lavouras permanentes, lavouras temporárias e agroindústria rural). A periodicidade da pesquisa é quinquenal, porém os levantamentos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015 não foram levados a efeito devido a cortes orçamentários do governo. O Censo Agropecuário 1990 não ocorreu; o levantamento de 1995 foi realizado em 1996 junto com a Contagem da População; o de 2000 não foi realizado; o de 2005 foi a campo em 2007 junto, mais uma vez, com a Contagem da População; o de 2010 não foi realizado; e o de 2015 foi a campo em 2017. Sua abrangência geográfica é nacional, com resultados divulgados para Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação, Mesorregiões, Microrregiões e Municípios (IBGE, 2023).

Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAF), foram utilizadas informações sobre os valores e o número de contratos destinados ao referido Programa de julho 2013 a junho 2022, do Sistema de Operações de Crédito Rural (SICOR) e da Matriz de Dados do Crédito Rural (MDCR), do Banco Central do Brasil (BCB, 2022). Todos os valores monetários foram corrigidos para dezembro de 2022, pelo Índice de Preço ao Consumidor Amplo (IPCA), e convertidos para dólares de dezembro de 2022.

Com o intuito de verificar se as áreas e os estabelecimentos agropecuários que adotam SIPA possuem correlação positiva com os recursos do Programa ABC destinados ao financiamento dos SIPA, foram realizadas análises a partir do coeficiente de correlação de Pearson.

Para expressar a participação das áreas e o número de estabelecimentos que adotam SIPA, foi calculada a proporção da área dos estabelecimentos agropecuários com SIPA, ou seja, foi realizada a divisão do número de estabelecimentos com SIPA pelo número total de estabelecimentos agropecuário. Também foram apresentados dados acerca do número de contratos e do volume de recursos, do Programa ABC, destinados aos SIPA. Além disso, foram calculadas as proporções do número de contratos e do volume de recursos do Programa ABC destinados aos SIPA em relação ao número total de contratos e de volume de recursos do crédito rural, para os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022.

### **3.5 RESULTADOS**

Entre os anos de 2006 e 2017 houve um aumento de 60,8% no número de estabelecimentos agropecuários com SIPA, e ampliação de 66,5% na área dos estabelecimentos com SIPA (Tabela 1). Apesar dessa evolução verifica-se que o percentual de estabelecimentos com SIPA representaram apenas 5,9% do total em 2006, e 9,9% em 2017; e as áreas com SIPA representaram 2,5% da área total em 2006, e 4,0% em 2017 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Número e área dos estabelecimentos agropecuários, e número e área de estabelecimentos com sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) no Brasil, em 2006 e 2017.

Número e área total dos estabelecimentos agropecuários				
Indicadores	2006		2017	
	Estabelecimentos	Área	Estabelecimentos	Área
Média	9.275	597.993	8.954	629.552
Desvio padrão	9.270	596.654	8.941	627.225
Mínimo	9.281	596.878	8.950	627.371
Máximo	9.273	595.452	8.941	625.976
Total	5.127.037	329.095.259	4.941.898	346.034.083

Número de estabelecimentos agropecuários e área dos estabelecimentos agropecuários com SIPA				
Indicadores	2006		2017	
	Estabelecimentos	Área	Estabelecimentos	Área
Média	548	14.903	879	24.844
Desvio padrão	752	24.092	1.810	50.890
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	5.767	213.855	23.014	558.578
Total	304.380	8.281.532	489.541	13.789.790

**Fonte:** Elaborada com base nos dados dos censos agropecuários de 2006 e de 2017 (IBGE, 2022a, 2022b).

Na Tabela 2 é apresentado um panorama acerca do volume total de recursos do crédito rural e do Programa ABC direcionados aos SIPA no Brasil, entre os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022. Ao analisar o montante total de recursos do crédito rural ao longo desse período, observa-se que entre 2013/2014 e 2015/2016 houve um declínio no montante de recursos, seguido por oscilações. No entanto, a partir de 2019/2020, houve um crescimento, atingindo um pico de R\$ 63,17 bilhões em 2021/2022. O desvio padrão, que mensura a dispersão dos valores em relação à média, permaneceu relativamente constante ao longo dos anos, sugerindo uma consistência na distribuição dos recursos, apesar das flutuações no montante total. No que diz respeito aos recursos do Programa ABC direcionados aos SIPA com árvores, nota-se uma tendência de crescimento gradual ao longo dos anos, embora os valores sejam substancialmente menores em comparação com o crédito rural total. É importante ressaltar que, em alguns anos, há a ausência de dados específicos sobre os recursos do Programa ABC destinados aos SIPA com árvores, o que pode dificultar a análise detalhada da evolução desses valores nesses períodos específicos. O baixo volume de recursos do Programa ABC destinados aos SIPA indica que este não é uma prioridade nas políticas de sustentabilidade ambiental no setor agropecuário.

**Tabela 2.** Volume total de recursos do crédito rural (a) Volume de recursos do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) (b), no Brasil, nos anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022.

<b>(a) Total de recursos do crédito rural (R\$)</b>					
<b>Ano agrícola</b>	<b>Total</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
2013/2014	49,99 B	0,15 M	0,85 M	0	128,00 M
2014/2015	47,27 B	0,15 M	0,79 M	0	123,00 M
2015/2016	34,26 B	0,12 M	0,78 M	0	85,20 M
2016/2017	40,99 B	0,12 M	0,78 M	0	122,00 M
2017/2018	42,88 B	0,12 M	0,82 M	7,46	176,00 M
2018/2019	41,77 B	0,12 M	1,11 M	0,49	548,00 M
2019/2020	44,42 B	0,12 M	0,68 M	0,23	167,00 M
2020/2021	54,98 B	0,14 M	0,76 M	2,21	136,00 M
2021/2022	63,17 B	0,16 M	1,00 M	9,29	337,00 M

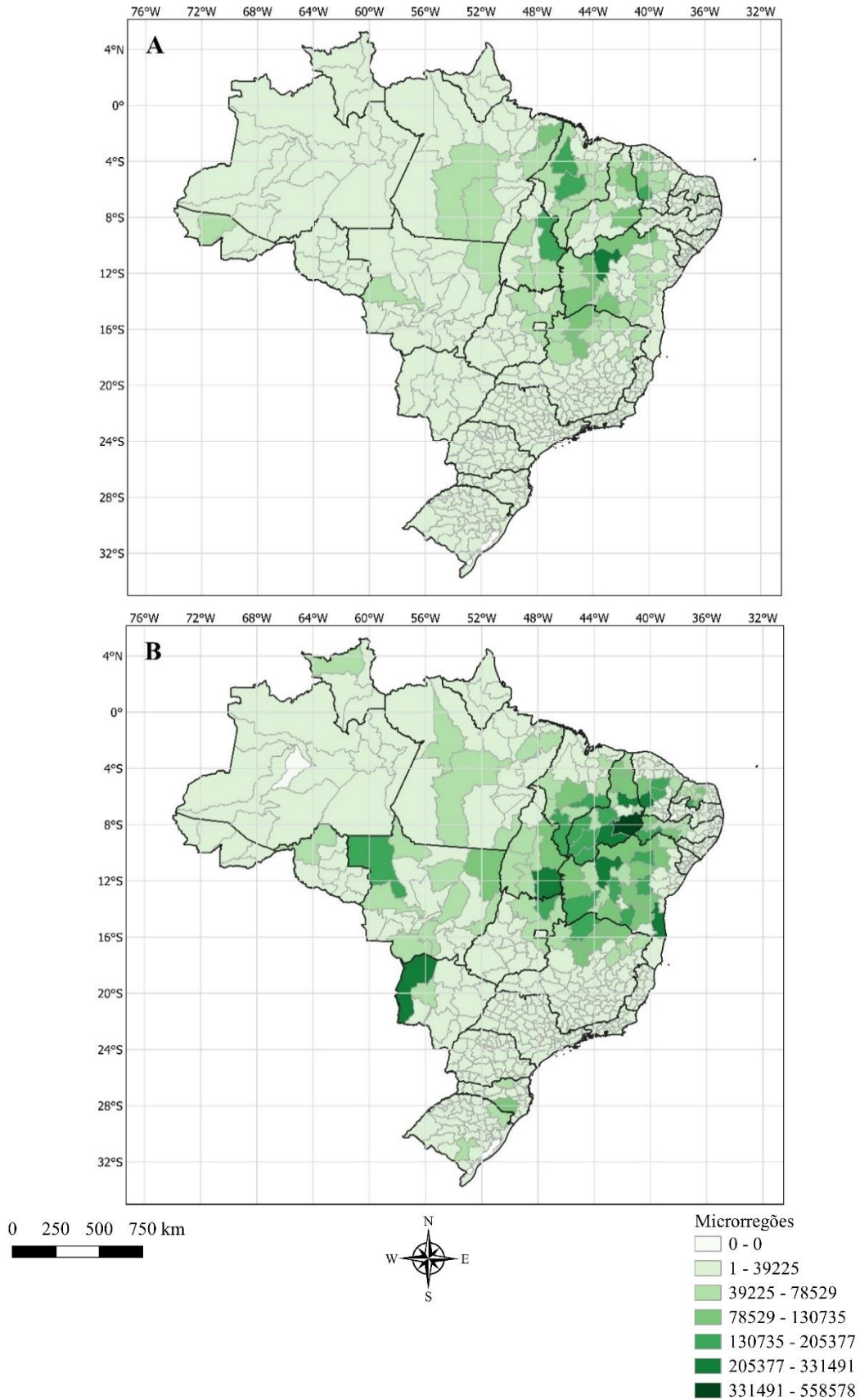
<b>(b) Recursos do Programa ABC destinados aos SIPA com árvores (R\$)</b>					
<b>Ano agrícola</b>	<b>Total</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
2013/2014	0,31 M	0,31 M	–	0,31 M	0,31 M
2014/2015	–	–	–	–	–
2015/2016	15,03 M	0,26 M	0,26 M	0,02 M	1,50 M
2016/2017	17,29 M	0,22 M	0,18 M	0,00 M	0,77 M
2017/2018	24,27 M	0,29 M	0,29 M	0,01 M	1,66 M
2018/2019	22,13 M	0,33 M	0,35 M	0,02 M	1,69 M
2019/2020	35,28 M	0,33 M	0,33 M	0,01 M	1,36 M
2020/2021	33,89 M	0,34 M	0,33 M	0,01 M	1,39 M
2021/2022	35,30 M	0,32 M	0,32 M	0,01 M	1,07 M

**Fonte:** Elaborada com base nos dados do Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

Nota: B: bilhões de reais. M: milhões de reais.

Os SIPA arborizados ocupavam no Brasil, em 2006, uma área de 8,3 milhões de hectares (Tabela 3, Figura 1a). As microrregiões brasileiras que apresentavam as maiores áreas com SIPA e proporções das áreas com SIPA se concentravam na região Nordeste do país, onde dada as características vegetativas e do solo (semiárido da Caatinga), os sistemas silvipastoris são bastante comuns. A microrregião de Barra, no estado da Bahia, foi a que mais se destacou, concentrando 213.855 hectares, ou seja, 2,6% da área total de SIPA no Brasil (Tabela 3). Já em relação à proporção média, foi verificado que na microrregião de Sobral, no estado do Ceará, os SIPA correspondiam a 19,45% da área total da agropecuária (Figura 2).

**Figura 1.** Área dos estabelecimentos (hectares) com sistema integrado de produção agropecuária, nas microrregiões do Brasil, em (a) 2006 e (b) 2017.



**Fonte:** Elaborada com base nos dados dos censos agropecuários (IBGE, 2022a, 2022b).

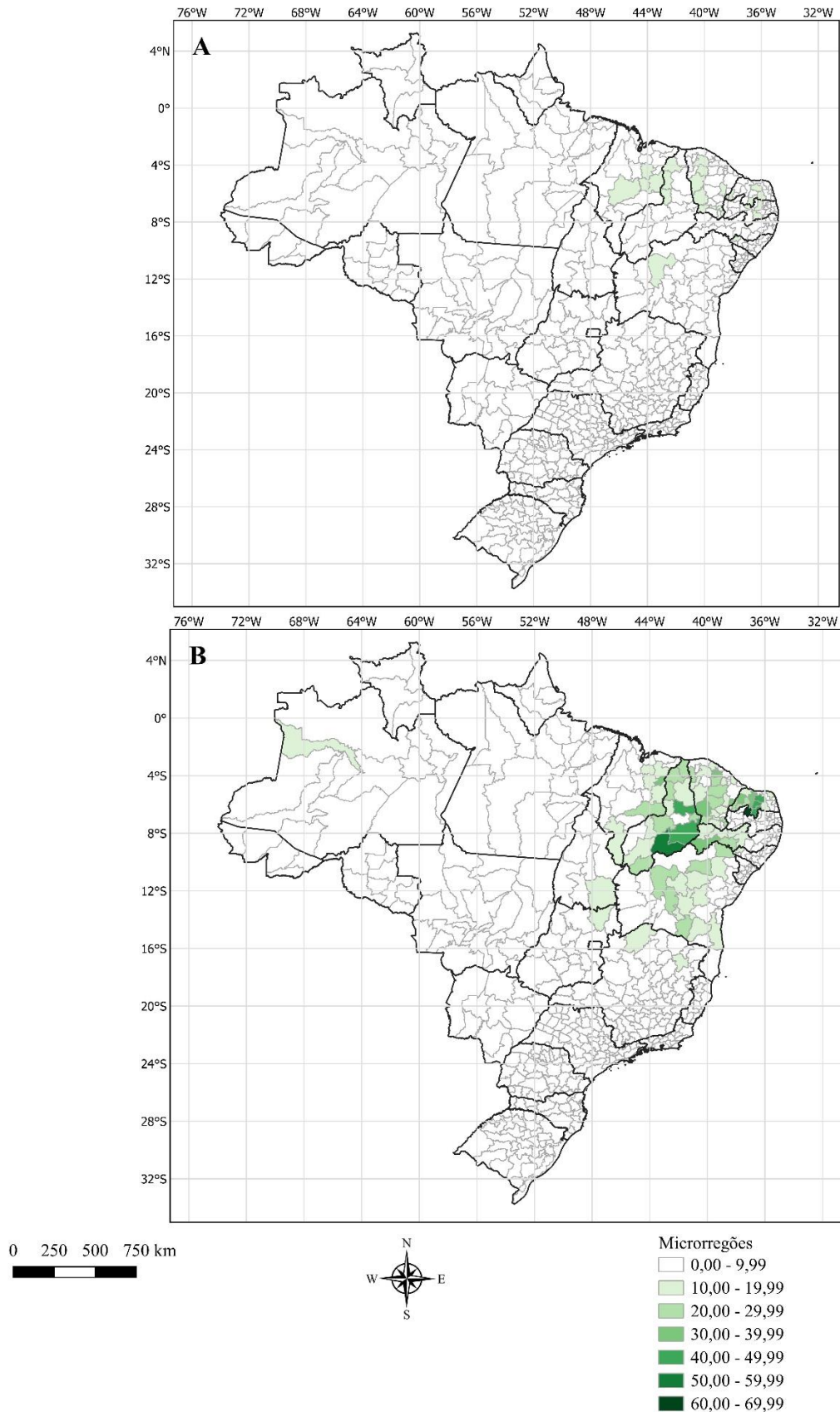
**Tabela 3.** Principais microrregiões por áreas de estabelecimentos (hectares) com sistema integrado de produção agropecuária no Brasil, em 2006 e 2017.

2006			2017		
Microrregião	Área	%	Microrregião	Área	%
Barra (BA)	213.855	2,57%	Alto Médio Canindé (PI)	558.578	4,03%
Alto Mearim e Grajaú (MA)	156.865	1,89%	São Raimundo Nonato (PI)	331.491	2,39%
Pindaré (MA)	142.721	1,72%	Valença do Piauí (PI)	331.353	2,39%
Sertão de Inhamuns (CE)	134.493	1,62%	Dianópolis (TO)	247.233	1,78%
Jalapão (TO)	131.937	1,59%	Ilhéus-Itabuna (BA)	246.861	1,78%
Sertão de Cratéus (CE)	123.394	1,48%	Sertão de Inhamuns (CE)	245.077	1,77%
Guanambi (BA)	110.950	1,33%	Baixo Pantanal (MS)	222.494	1,60%
Cotegipe (BA)	101.894	1,23%	Barra (BA)	216.086	1,56%
Campo Maior (PI)	100.976	1,21%	Petrolina (PE)	205.377	1,48%
Santa Maria da Vitória (BA)	100.864	1,21%	Aripuanã (MT)	197.258	1,42%
Outras	6.998.165	84,15%	Outras	11.061.295	79,80%
<b>Brasil</b>	<b>8.316.114</b>	<b>100,00%</b>	<b>Brasil</b>	<b>13.863.103</b>	<b>100,00%</b>

**Fonte:** Elaborada com base nos dados dos censos agropecuários (IBGE, 2022a, 2022b).

No período analisado, verificou-se uma expansão das áreas com SIPA no Brasil, passando de 8,3 milhões de hectares em 2006 para 13,8 milhões de hectares em 2017 (Tabela 3, Figura 1b), o que corresponde a uma taxa de crescimento de 66,7%. Em 2017 a microrregião de Alto Médio Canindé, no estado do Piauí, concentrou 4,03% da área com SIPA no Brasil com 558.578 hectares. A microrregião de Seridó Ocidental, no estado do Rio Grande do Norte, se destacou pela proporção das áreas com SIPA, que foi 62,8% da área total da agropecuária. Verificou-se ainda que, em 2017, a concentração das microrregiões que adotam SIPA se manteve na região Nordeste do Brasil, mas dois pontos se sobressaíram: (i) houve uma ampliação e, conseqüentemente, uma intensificação de áreas com SIPA, o que pode ser visto pelas microrregiões que adotam as tecnologias (Figura 1b, Figura 2b); e (ii) algumas microrregiões localizadas nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, na região Centro-Oeste, se destacaram pela expansão das áreas com SIPA no período (Figura 1b) como, por exemplo, as microrregiões de Baixo Pantanal, no Mato Grosso do Sul, e Aripuanã, no Mato Grosso (Tabela 3).

**Figura 2.** Proporção (%) da área dos estabelecimentos agropecuários com sistema integrado de produção agropecuária em relação a área total dos estabelecimentos, nas microrregiões do Brasil, em (a) 2006 e (b) 2017.



**Fonte:** Elaborada com base nos dados dos censos agropecuários (IBGE, 2022a, 2022b).

Em 2017 havia 490.647 estabelecimentos com SIPA no Brasil, representando um aumento de 60,4% em relação ao ano de 2006 (Figura 3). Alto Médio Canindé, no Piauí, foi a microrregião que mais concentrou estabelecimentos com sistema integrado - com 23.014 estabelecimentos - representando 4,69% do total de estabelecimentos (Tabela 4). Verifica-se também que a microrregião de destaque foi Alto Médio Canindé no estado do Piauí, pois no ano de 2017 caracterizou-se como a microrregião com a maior área com SIPA (Tabela 3), assim como a maior quantidade de estabelecimentos que adotam tal sistema (Tabela 4).

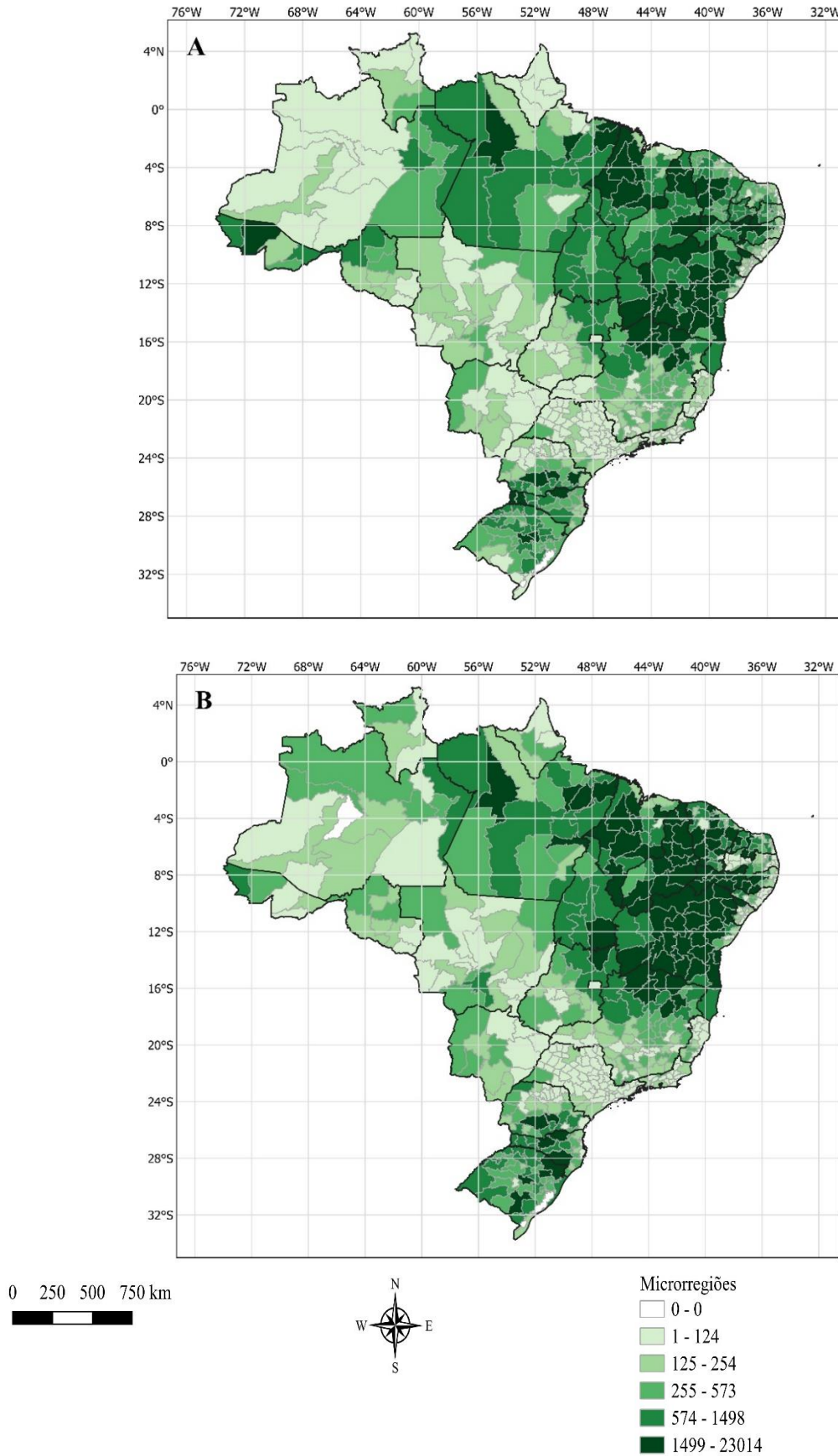
**Tabela 4.** Dez maiores números de estabelecimentos com sistema integrado de produção agropecuária, nas microrregiões do Brasil, em 2006 e 2017.

2006			2017		
Microrregião	Estab.	%	Microrregião	Estab.	%
Guanambi (BA)	5.767	1,89%	Alto Médio Canindé (PI)	23.014	4,69%
Pindaré (MA)	4.596	1,50%	Ilhéus-Itabuna (BA)	16.142	3,29%
Euclides da Cunha (BA)	4.409	1,44%	São Raimundo Nonato (PI)	10.668	2,17%
Guamá (PA)	4.279	1,40%	Brumado (BA)	10.074	2,05%
Alto Médio Canindé (PI)	4.233	1,38%	Boquira (BA)	9.526	1,94%
Alto Mearim e Grajaú (MA)	3.763	1,23%	Euclides da Cunha (BA)	8.611	1,76%
Bom Jesus da Lapa (BA)	3.102	1,01%	Petrolina (PE)	7.613	1,55%
Pajeú (PE)	3.005	0,98%	Araripina (PE)	7.016	1,43%
Juazeiro (BA)	2.936	0,96%	Baixo Parnaíba Piauiense (PI)	6.267	1,28%
Brumado (BA)	2.912	0,95%	Jacobina (BA)	6.066	1,24%
Outras	266.823	87,26%	Outras	385.650	78,60%
<b>Brasil</b>	<b>305.825</b>	<b>100,00%</b>	<b>Brasil</b>	<b>490.647</b>	<b>100,00%</b>

**Fonte:** Elaborada com base nos dados dos censos agropecuários (IBGE, 2022a; 2022b).

Entre 2006 e 2017 houve uma mudança em relação às microrregiões que concentraram estabelecimentos agropecuários com SIPA no Brasil. Apenas duas microrregiões, Alto Médio Canindé e Brumado, se repetem nos dois anos de análise. Ambas as localidades tiveram aumento no número de estabelecimentos com o sistema integrado, sendo de 444% para Alto Médio Canindé e de 246% para Brumado (Tabela 4). Tais resultados evidenciam a tendência de concentração dos estabelecimentos agropecuários com SIPA quando se compara os anos de 2006 e de 2017.

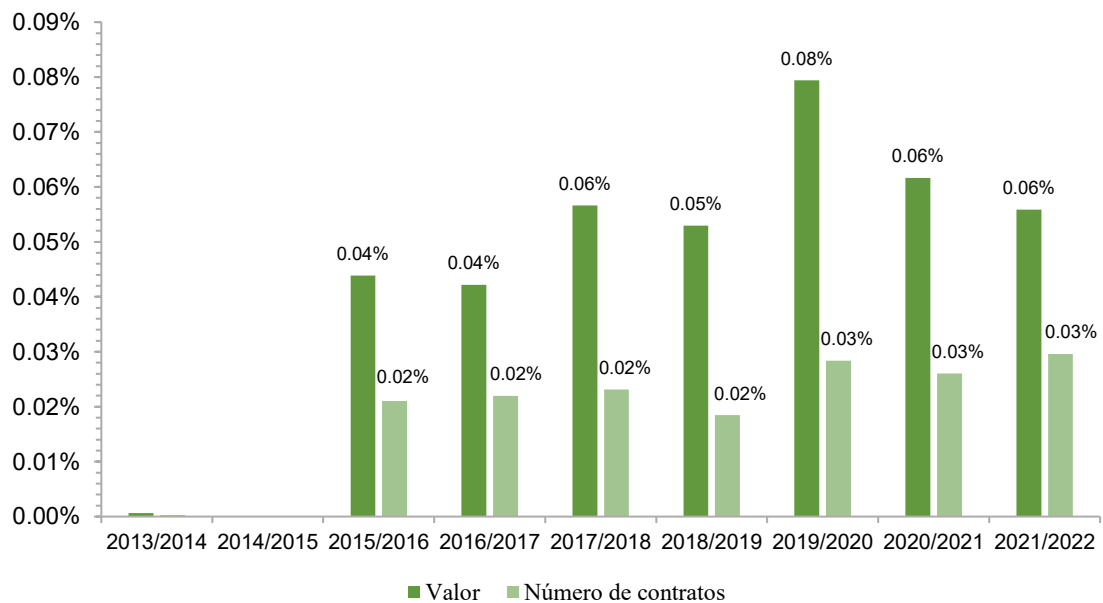
**Figura 3.** Número de estabelecimentos com sistema integrado de produção agropecuária, nas microrregiões do Brasil, em (a) 2006 e (b) 2017.



**Fonte:** Elaborada com base nos dados dos censos agropecuários (IBGE, 2022a, 2022b).

Como já mencionado, as áreas com SIPA cresceram 66,7% entre 2006 e 2017 (Tabela 3). Assim, uma das questões que se busca responder é se houve contribuição da política de crédito do Programa ABC, o qual tem uma linha exclusiva de financiamento destinada aos SIPA no Brasil. Mas, ao desagregar os dados do crédito rural destinado à implementação de SIPA, verifica-se que, em 2021/2022, apenas 0,06% e 0,03% do volume total de recursos e do número total de contratos do crédito rural foram destinados aos SIPA (Figura 4, Figura 5). Entre os anos agrícolas 2013/2014 e 2021/2022 houve um aumento de mais de 100% no volume do crédito rural, do Programa ABC, destinado especificamente aos SIPA. No entanto, em 2013/2014, estes recursos correspondiam apenas a 0,0006% do total do crédito rural, e em 2021/2022 apenas a 0,0559% (Tabela 2, Figura 4).

**Figura 4.** Proporção do recurso e do número de contratos do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) em relação ao crédito rural total, para os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022.

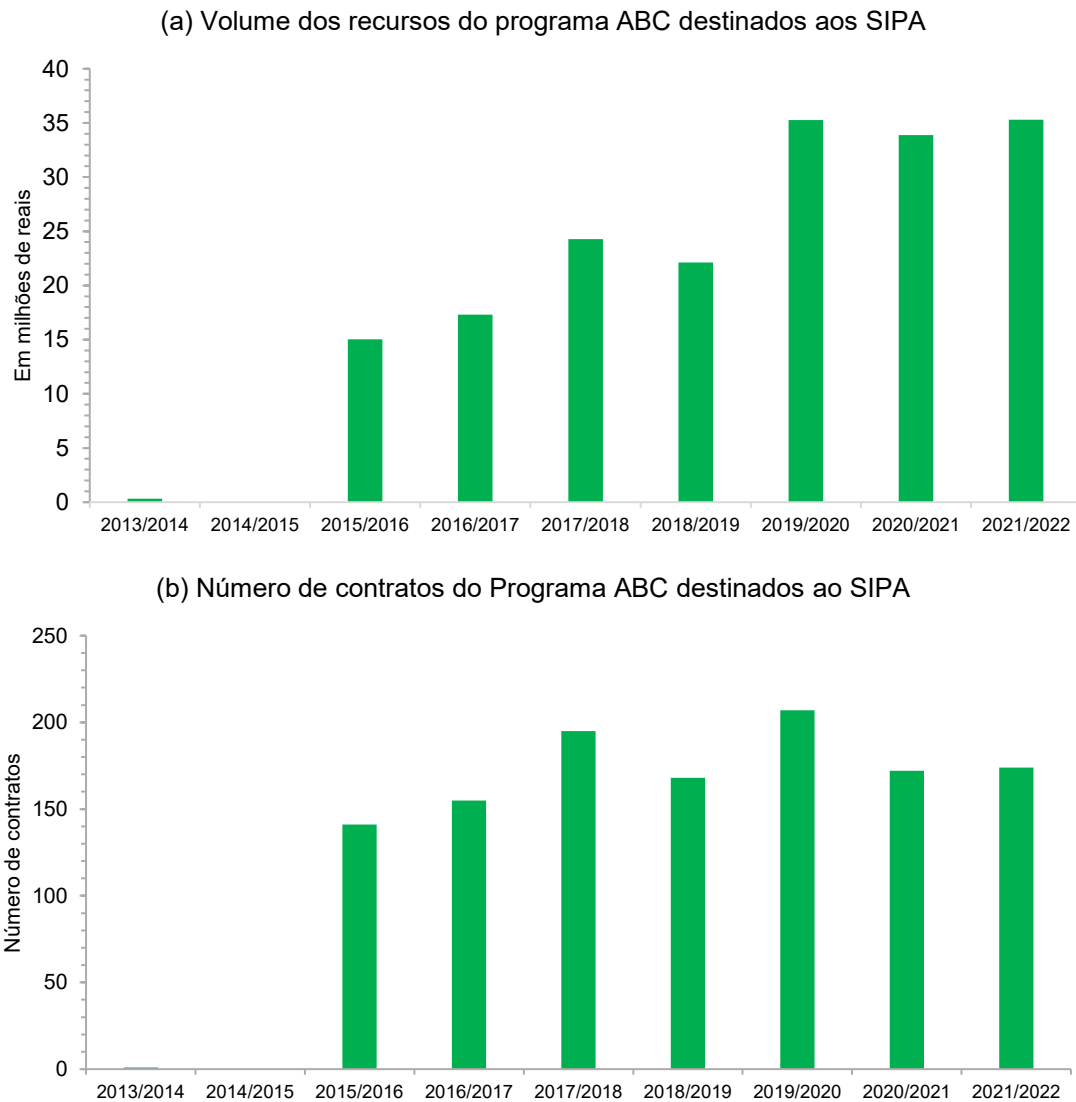


**Fonte:** Elaborada com base nos dados nos dados do Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

Além disso, esperava-se que a expansão dos SIPA para os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, que pode ser observada a partir da Figura 1 e Figura 3, estivesse relacionada com o crédito do Programa ABC para os SIPA, dado que foram os estados que tiveram o maior número de microrregiões contempladas com estes recursos (Figura 5). Contudo, ao analisar se de fato existe uma correlação entre o crédito específico para adoção dos

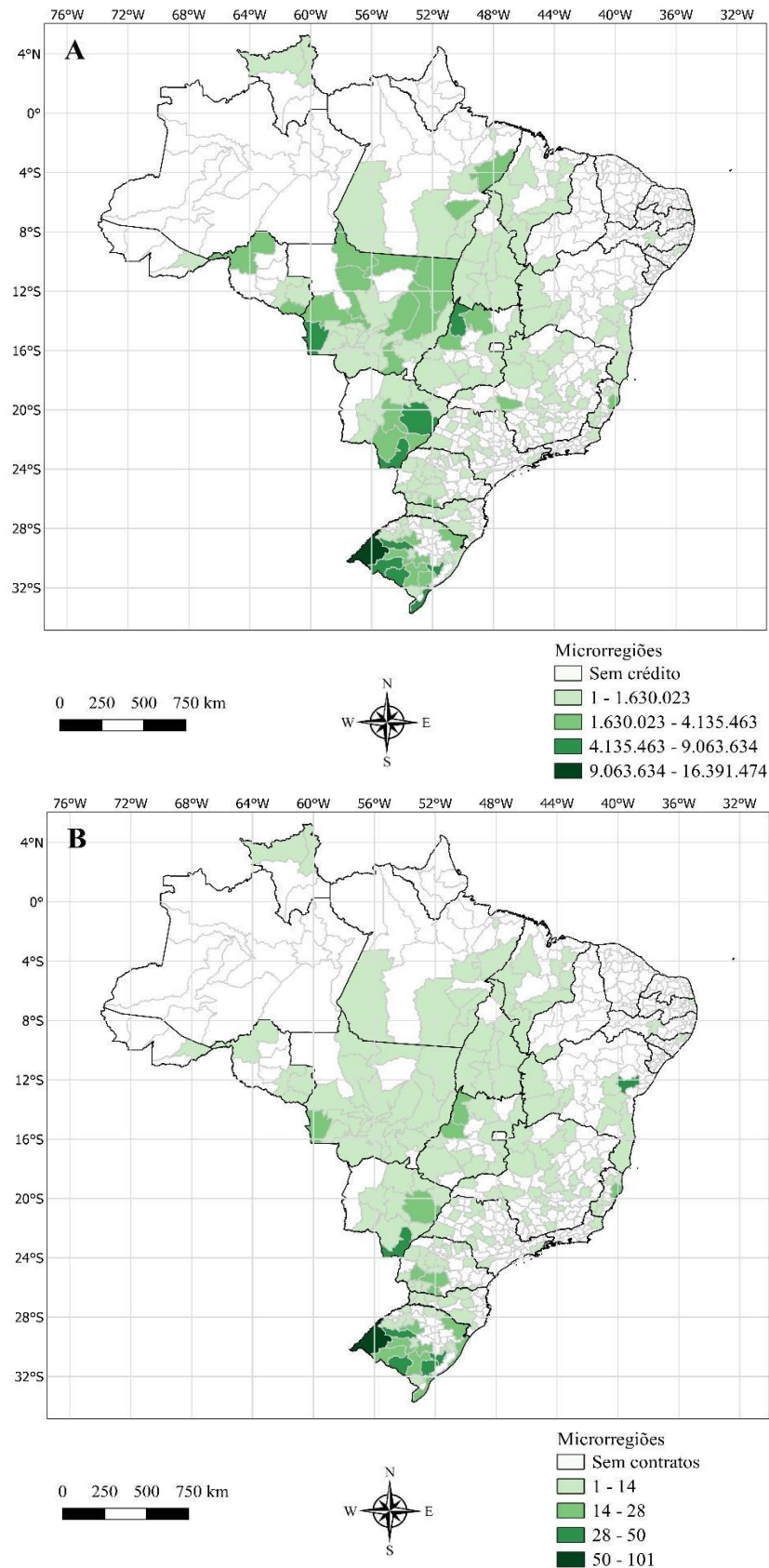
SIPA e a sua expansão, os dados não foram estatisticamente significativos, indicando que os recursos do Programa ABC para os SIPA não influenciaram na expansão da sua adoção.

**Figura 5.** Volume de recursos (a) e número de contratos (b) do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), no Brasil, entre os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022.



**Fonte:** Elaborada com base nos dados do Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

**Figura 6.** Recursos (a) e número (b) de contratos do Programa ABC destinado aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), por microrregiões, para os anos agrícolas de 2013/2014 a 2021/2022.



**Fonte:** Elaborada com base nos dados do Banco Central do Brasil (BCB, 2022).

Em suma verificou-se que, entre 2006 e 2017, houve aumento da proporção de área com SIPA arborizados nos estabelecimentos agropecuários (Figura 1), bem como expansão do número de estabelecimentos agropecuários com SIPA arborizados (Figura 3, Tabela 4). Foi observado uma concentração de microrregiões com SIPA no Nordeste do Brasil, mas ao considerar a perspectiva da área que adota SIPA, houve uma difusão do sistema para outras regiões do país, especialmente para os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Figura 2), indicando uma expansão e distribuição ainda muito heterogênea entre as microrregiões. Além disso, o volume de recursos do crédito rural destinados aos SIPA é irrisório quando comparado ao volume total de recursos do crédito rural (Figura 4), e não há correlação significativa entre a expansão das áreas ou do número de estabelecimentos agropecuários com SIPA com os recursos do Programa ABC neste processo (Tabela 5).

### 3.6 DISCUSSÃO

Entre os anos de 2006 e 2017 observou-se uma expansão das áreas com SIPA arborizados, sendo que as microrregiões que possuem as maiores áreas com SIPA se localizam, principalmente, na região Nordeste e em algumas partes do Centro-Oeste (Figuras 1 e 2). Os dados censitários revelam área maior de SIPA com árvores do que área apresentada pela Associação Rede ILPF (2021), que contemplam ainda os SIPA sem árvores. A Rede ILPF (2021) identificou que os estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, ambos localizados na região Centro-Oeste do Brasil, são os maiores detentores de áreas com adoção de SIPA (com e sem árvores), com aproximadamente 2 milhões e 1,5 milhão de hectares, respectivamente. Já Vinholis *et al.* (2021) indicam que o Brasil apresentava 5,83 milhões de hectares de SIPA em 2016. Esta ampliação das áreas com SIPA pode estar relacionada ao reconhecimento dos inúmeros benefícios gerados com adoção de tais sistemas, como a melhoria da qualidade do solo, redução de pragas, aumento do bem-estar dos animais, proteção dos recursos naturais, ganhos de produtividade, criação de empregos diretos e indiretos e melhoria da renda dos produtores.

Outra justificativa para essa expansão dos SIPA é disponibilidade de linha específica de crédito rural para sua implementação (SENE; BACHA, 2024), porém, como já destacado, o montante destinado a esta finalidade é diminuto. A

referida linha de crédito rural faz parte do Programa ABC, que tem por objetivo a ampliação da adoção de tecnologias agropecuárias eficientes para a minimização das emissões de GEE. No Brasil, devido à preocupação governamental e a importância social, econômica e especialmente ambiental do Programa ABC, constatou-se uma expansão do montante de recursos (ainda que diminutos) e do número de contratos destinados ao Programa (Figura 4). No entanto, identificou-se que grande parte das microrregiões os produtores não conseguiram acessar o crédito (Figura 5). Além disso, mesmo com a implementação de uma linha de crédito específica do Programa ABC destinada ao SIPA, as regiões contempladas com esses recursos estavam localizadas nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, o que está relacionado a SIPA não arborizados (e.g., ILP) assim como exposto por Gianetti e Filho (2021). Contudo, as microrregiões nordestinas, aquelas que tiveram maiores áreas com SIPA arborizados (Figura 2), revelam que não foram os recursos do Programa ABC que impulsionaram a expansão e a consolidação dos SIPA na região Nordeste do Brasil.

A contribuição da agricultura familiar e a concentração de assentamentos de reforma agrária, quilombolas, indígenas, ribeirinhos e outros povos e comunidades tradicionais pode explicar o número de SIPA, mais voltados aos SAF, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. A adoção de sistemas movidos pela lógica agroecológica e de conservação ambiental é importante para subsistência e desenvolvimento destas comunidades, destas regiões e para o mundo (COQUEIJO, 2019; SANTOS; LUCAS, 2022).

A microrregião de Barra (BA), que apresentou a maior proporção de área agropecuária com SIPA em 2006, possui parte de sua produção em associação de culturas, com baixos índices de umidade e irregularidade das chuvas (precipitações inferiores a 900 mm) e altas temperaturas; enquanto outra parte está sob influência do rio São Francisco e do Rio Grande, com boas condições edafoclimáticas para produção. Logo, a sua produção agropecuária também é estabelecida sob formas distintas: uma mais voltada a subsistência e subsistência e venda de produtos, esta última em áreas que é possível praticar a agricultura de “sequeiro” e de áreas irrigadas (MOREIRA *et al.*, 2010), e outra voltada para produção de *commodities*.

A microrregião de Alto Médio Canindé (PI) que apresentou maior quantidade de estabelecimentos e de área com SIPA no censo de 2017, destaca-se nas cadeias produtivas de mel (BENDINI *et al.*, 2021), ovinos e caprinos (SILVA *et al.*, 2017). A microrregião possui mais de 40% da área de seus imóveis rurais com área

protegida e preservada (CASTRO; OSHIRO; CARVALHO, 2020), estando sob clima semiárido e subúmido seco (ANDRADE JÚNIOR; BASTOS; SILVA, 2009) e sendo a agricultura de subsistência a ocupação mais importante (MACIEL, 2016). A microrregião de Guanambi (BA), que apresentou maior quantidade de estabelecimentos com SIPA em 2006, destaca-se nas cadeias produtivas de algodão e de pecuária. Tal região está sob influência do bioma caatinga e, considerando a área dos estabelecimentos, os produtores familiares são a maioria. Os recursos dos programas governamentais de crédito estiveram quase ausentes nos estabelecimentos, pois pouco mais de 6,0% daqueles produtores baianos, familiares ou não familiares, acessaram o crédito público em 2017 (CERQUEIRA; FERRAZ; SOARES, 2020).

Os produtores têm dificuldades para o estabelecimento de SAF na regiões Norte e Nordeste, que vão desde a implantação, manejo e comercialização da produção, ausência de assistência técnica, baixo nível de escolaridade dos agricultores, falta de documentação da terra, falta de verticalização da produção, falta de diversificação da comercialização, até estradas ruins e baixo acesso ao crédito (SANTOS; SILVA, 2020; SANTOS; LUCAS, 2022). As principais linhas de financiamentos acessadas pelos produtores foram fundos constitucionais de financiamento (e.g., FNO Normal e Especial) e o PRONAF D e E, operacionalizados pelo Banco do Brasil e Banco da Amazônia (CALVI, 2009). Dentre os principais produtos financiados apresentam destaque o gado, coco, cupuaçu e cacau (CALVI, 2009).

Há ainda pouca procura para a adoção de SIPA (GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015). Embora o Programa ABC seja reconhecido pelos produtores rurais, as principais dificuldades ou impedimentos para obtê-lo foram: a burocracia (GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015; CORTNER *et al.*, 2019), taxa de juros (aumentou para 8,5% em 2016/2017 e 7,5% em 2017/2018) (DOS REIS, 2021), os requisitos de posse da terra ou registro ambiental, entre outros fatores inerentes ao processo de acesso ao crédito (CORTNER *et al.*, 2019). Ou seja, apesar do reconhecimento dos pontos favoráveis do Programa ABC, os agricultores estavam relutantes em relação às exigências excessivas de documentação e leis ambientais muito rígidas.

Além desses impedimentos, outro ponto fraco do Programa ABC está no acesso ao contexto local e regional, como as regiões Norte e Nordeste, onde a infraestrutura, os recursos humanos e financeiros parecem ser mais escassos

(SOUZA PIAO *et al.*, 2021). A falta de incentivo à adoção de uma agricultura mais sustentável e a insuficiência de redes de informações mais eficazes entre produtores e órgãos competentes, são citados como alguns dos entraves nestas regiões do Brasil (CORTNER *et al.*, 2019; PEROSA; NEWTON; CARRER, 2021). Além disso, os produtores não incorporam facilmente novas tecnologias, pela falta de acesso a mão de obra técnica qualificada para o manejo de grãos e dos componentes florestais que são incluídos no SIPA, sendo que na maioria das vezes, a produção agrícola é a única fonte de renda do domicílio. Tal renda geralmente está aliada a um gerenciamento mais intuitivo, sem controle econômico, financeiro ou técnico (BENDAHAN *et al.*, 2018).

A dificuldade de acesso da linha de crédito rural específica para adoção de SIPA nas regiões Norte e Nordeste, também pode ser refletida pelos dados dos censos agropecuários. Produtores do Norte e Nordeste do Brasil buscaram menos recursos do Programa ABC para os SIPA, do que as demais regiões do Brasil (Figura 5). Embora o bioma Caatinga, particularmente na região Nordeste, apresenta os maiores percentuais de áreas agroflorestais, onde predomina a pecuária em áreas de vegetação adaptadas ao semiárido (MAIA *et al.*, 2021), os recursos do Programa ABC convergiram para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, correspondendo a 77% do valor total do crédito, o que indica que as regiões Norte e Nordeste necessitam de maior atenção do poder público. Gianetti e Filho (2021), em uma análise de alocação de recursos, mostram que a correlação do Programa ABC com a produção de lavouras temporárias e com o PIB municipal é positiva, e amplia-se nos municípios de aptidão agrícola mais elevada. Já a aderência dos recursos do crédito com as características ambientais é menor. Eusébio *et al.* (2021) estudaram o impacto da difusão de sistemas integrados no valor bruto de produção (VBP) por meio de modelos de dados de painel, e seus resultados indicam que há um impacto positivo e significativo no aumento da proporção de área de SIPA em relação a quantidade total produzida de soja, quando se analisa o agregado nacional. Em relação a cultivos específicos, evidenciam impactos positivos no VBP com interação de SIPA com: silvicultura e algodão para o bioma Amazônia; SIPA com soja para o bioma Mata Atlântica; SIPA com silvicultura, milho e soja para o bioma Cerrado; e para o bioma Pampa foi a interação SIPA com silvicultura.

Outros entraves para a adoção de SIPA pelos produtores podem se referir a preocupação com os custos iniciais, nos maiores custos operacionais quando

comparados aos sistemas tradicionais de produção, a incerteza sobre o retorno do investimento (CORTNER *et al.*, 2019), inadimplência (SANTOS, 2009) e nos impedimentos ao acesso a linhas de crédito rural para adoção de SIPA contemplada pelo Programa ABC (CORTNER *et al.*, 2019). Agricultores que inseriram SIPA em suas propriedades são mais propensos a solicitar o crédito rural (CARRER *et al.*, 2020), devido a necessidade de estruturação do sistema, bem como o acréscimo de um seguro em conjunto com o crédito que poderia contribuir com um aumento na adoção (VINHOLIS *et al.*, 2021).

A região Sul obteve o maior número de microrregiões contempladas com valores monetários do Programa ABC. O Paraná, segundo maior em números de microrregiões contempladas no Sul, tem investido em produções cada vez mais sustentáveis, incluindo os SIPA. Na região Centro-Oeste do Brasil, tais sistemas têm se tornado cada vez mais populares, o qual tem recebido incentivos de adoção e buscado programas governamentais para fomentar projetos de pesquisa e extensão, além de linhas de financiamento mais atrativas (LENZ *et al.*, 2019).

As regiões Centro-Oeste e Sudoeste do estado do Paraná, tem microrregiões altamente especializadas na produção leiteira (BANKÚTI *et al.*, 2017; TELLES *et al.*, 2020), uma das atividades que tem investido em SIPA devido aos inúmeros benefícios dessa prática em muitos aspectos do sistema solo-planta-animal (MORAES *et al.*, 2014). Nesse tipo de produção, os estabelecimentos são predominantemente familiares; os quais passaram por profundas modificações estruturais, de uma produção de pequena escala e rudimentar para uma produção moderna e tecnológica (TELLES *et al.*, 2020). Modelos que aliam a produção de alimentos à criação de animais e ao cultivo de espécies arbóreas, como os SIPA, ajudam a recuperar áreas de pastagens degradadas sem aumentar a pressão sobre os recursos naturais, com potencial de manter ou aumentar a produtividade, e conciliar o desenvolvimento econômico local e regional.

Por se tratar de pequenos estabelecimentos familiares, outros sistemas que integram diferentes culturas também têm sido fundamentais nos aspectos sociais, ecológicos e econômicos no Paraná e Sul do Brasil, como o caso da *Ilex paraguariensis*, espécie arbórea que cresce bem no sub-bosque sombreado da Floresta de Araucárias da região. Tais sistemas, que podem ser classificados como sistemas agroflorestais, são importantes na manutenção de serviços ecossistêmicos e corredores de biodiversidade, mas também são significativos para a manutenção de

práticas culturais e agroecológicas tradicionais em pequenas propriedades familiares que incluem um mosaico heterogêneo de lavouras, pecuária, hortas e áreas florestais produtivas, que são essenciais para a segurança alimentar familiar e local (SIMINSKI; SANTOS; WENDT, 2016; LACERDA; HANISCH; NIMMO, 2020).

O estado do Rio Grande do Sul (RS), entre os anos agrícolas de 2013/2014 e 2021/2022, foi um dos estados brasileiros em que os produtores tiveram maior volume de crédito rural do Programa ABC destinado aos SIPA, tendo destaque a microrregião de Campanha Ocidental, que obteve o maior número de contratos (101) e o maior volume de recursos (US\$ 16.391.474) no período. Apesar disso, a quantidade de estabelecimentos agropecuários com SIPA na microrregião é relativamente pequena quando comparada com o número de estabelecimentos que adotam o SIPA em todo o Rio Grande do Sul, pois a microrregião de Campanha Ocidental correspondia a 1,3% e 3,3% dos estabelecimentos com SIPA no RS em 2006 e 2017 (IBGE, 2006, 2017).

A capacitação e as informações técnicas são determinantes para adoção de SIPA; assim como devem ser contrastadas com o perfil dos produtores. Os agricultores podem ter diferentes percepções: produtor “ecocêntrico” que possui um comportamento pró-ambiental e que sugere um aumento na probabilidade de adoção de SIPA, ou um produtor com visão “antropocêntrica” com uma orientação mais econômica (FOGUESATTO *et al.*, 2019). Os perfis e atitudes sobre conservação, controle comportamental e disponibilidade de mão de obra são fatores de influência na decisão de adoção do SIPA (McGINTY; SWISHER; ALAVALAPATI, 2008).

Além disso, os dados dos CA 2006 e 2017 podem estar sujeitos à medição de erros devido ao fato de que consideram como terras agroflorestais. As informações contidas nos censos agropecuários são autodeclaradas pelos produtores, e estes podem ter diferentes interpretações do que é um SIPA e um sistema agroflorestal. Estas discordâncias do significado de áreas florestais entre os declarantes podem gerar correlação espacial (MAIA *et al.*, 2021). Maia *et al.* (2021) apresentam um exemplo dessa situação com o bioma Caatinga. Este bioma possui alguns aglomerados com zero ou poucas áreas de sistemas agroflorestais, enquanto as áreas agroflorestais prevalecem em municípios circunvizinhos. Assim, esta heterogeneidade espacial encontrada dentro do mesmo bioma pode ocorrer devido a interpretações particulares dos produtores do que é um sistema agroflorestal e um SIPA.

### 3.7 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo verificar se a expansão dos SIPA arborizados no Brasil está correlacionada com o crédito rural destinado a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAF) – uma das linhas de crédito do Programa para a Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Programa ABC). Os resultados encontrados revelaram que entre 2006 e 2017 houve uma expansão da área e do número de estabelecimentos agropecuários que adotam SIPA arborizados no Brasil, porém denotam que esta expansão não está correlacionada ao recursos do crédito rural destinados ao Programa ABC para os SIPA.

Foi observado uma concentração da área e dos estabelecimentos agropecuários que adotam SIPA arborizados na região Nordeste, mas ao mesmo tempo houve uma difusão do sistema para outras áreas do país, especialmente para os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, evidenciando uma distribuição irregular entre as microrregiões, especialmente para o ano de 2017.

Ao considerar o crédito rural destinado ao Programa ABC, como incentivo a adoção de SIPA por parte dos produtores, identificamos que em grande parte das microrregiões os produtores não acessaram o crédito. Além disso, mesmo com a implementação de uma linha de crédito específica do Programa ABC, as microrregiões mais contempladas com os recursos da política pública foram as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil. Contudo, as microrregiões nordestinas são aquelas que tiveram maiores áreas com SIPA, o que evidencia que não foi o Programa ABC que fomentou a expansão do SIPA nesta região, mas os benefícios do próprio sistema. As regiões Sul e Centro-Oeste tiveram mais contemplações do crédito do que as regiões Norte e Nordeste, mostrando que há uma deficiência na estrutura, tanto de monitoramento quanto da distribuição dos recursos do programa.

A primeira hipótese deste estudo foi confirmada, revelando que a expansão das áreas que adotam SIPA estão concentradas no Nordeste e no Centro-Oeste, evidenciando a heterogeneidade do país. Esse resultado pode estar associado a limitação da base de dados, pois os censos agropecuários disponibilizados pelo IBGE só contemplam SIPA arborizados, o que pode não ser o caso da região Sul, onde sistemas ILP podem ter maior abrangência. A segunda hipótese foi rejeitada, pois não há correlação positiva da expansão das áreas com SIPA arborizados com os

recursos do Programa ABC, o que fica evidente ao observar a concentração das microrregiões contempladas pelo crédito no Centro-Oeste e Sul do Brasil.

Os maiores limites dessa pesquisa foram as informações dos censos agropecuários de 2006 e de 2017, pois os produtores autodeclaram se adotam (ou não) SIPA, os quais podem ter diferentes concepções sobre o que se trata o sistema. Além disso, os tipos de SIPA considerados nos censos agropecuários correspondem aqueles que possuem o componente florestal (ILF; IPF; ILPF), não considerando a especificação ILP, mais comum no Brasil e, por consequência, a impossibilidade de uma análise desagregada desses elementos.

## 4 ARTIGO B: ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, SEM E COM ÁRVORES MADURAS, NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO

### 4.1 RESUMO

Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) combinam atividades agrícolas, e/ou animais, e/ou florestais em uma mesma área, podendo ser instalados e manejados de forma simultânea, escalonadas, sequenciais, temporárias ou permanentes. A determinação de qual sistema adotar depende das características da região, incentivos financeiros, técnicas de produção e aspectos culturais. O objetivo foi avaliar o impacto de diferentes doses de nitrogênio e de um desbaste drástico de árvores, ou seja, de um arranjo inicial de 14 x 3 m para 28 x 9 m, na rentabilidade de tal sistema de produção. Um experimento foi conduzido na estação experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER (IDR-Paraná), Ponta Grossa-PR, no período de 2006 a 2019. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e três repetições. Duas doses de adubação nitrogenada (N) (90 kg N ha<sup>-1</sup> e 180 kg N ha<sup>-1</sup>) foram testadas em cada SIPA, resultando em quatro tratamentos, a saber: sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), com aplicação de 90 kg N ha<sup>-1</sup> (ILP-N90), ILP com aplicação de 180 kg N ha<sup>-1</sup> (ILP-N180), sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), ILPF-N90 e ILPF-N180. As árvores foram plantadas em nível à encosta em junho de 2006, no espaçamento de 14 x 3 m (238 árvores ha<sup>-1</sup>), em seis das 12 unidades experimentais. Em novembro de 2015 foram reduzidos para 40 árvores de eucalipto, sendo o novo arranjo 28 x 9 m. O efeito competitivo das árvores, mesmo após desbaste drástico, resultou em menor produção de culturas consorciadas no sistema nos anos finais. Apesar disso, a renda obtida com as árvores mostrou-se importante para cobrir as perdas de produção. Para o estudo econômico do SIPA em diferentes doses de N, em região subtropical, o aumento da adubação nitrogenada não garantiu aumento significativo na renda. As receitas e lucros do ILP foram superiores aos do ILPF, 1,5 e 4,5 vezes, respectivamente, comparando sistemas com doses de N (na fase de pastagem) de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palavras-chave:** Fertilização Nitrogenada; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); Lucratividade; Manejo Florestal

### 4.2 ABSTRACT

Integrated Crop-Livestock System (ICLS) combine agricultural and/or animal and/or forestry activities in the same area, and can be installed and managed simultaneously, staggered, sequential, temporary, or permanent. The determination of which system to adopt depends on the characteristics of the region, financial incentives, production techniques and cultural aspects. The objective was to evaluate the impact of different doses of nitrogen and a drastic thinning of trees, that is, from an initial arrangement of 14 x 3 m to 28 x 9 m, on the profitability of such a production system. An experiment was conducted at the experimental station of the Rural Development Institute of Paraná - IAPAR – EMATER (IDR-Paraná), Ponta Grossa-PR, from 2006 to 2019. The

experimental design was in randomized blocks with four treatments and three replications. Two doses for nitrogen (N) fertilization ( $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  and  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) were tested in each ICLS, resulting in four treatments, namely: Integration crop-livestock system (CLI) with application of  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  (CLI-N90), CLI with application of  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  (CLI-N180), integration crop-livestock-forestry system (CLFI), CLFI-N90 and CLFI-N180. Trees were planted perpendicular to the slope in June 2006, spaced  $14 \times 3 \text{ m}$  ( $238 \text{ trees ha}^{-1}$ ), in six of the 12 experimental units. In November 2015 they were reduced to 40 eucalyptus trees, the new arrangement being  $28 \times 9 \text{ m}$ . The competitive effect of trees, even after drastic thinning, resulted in lower production of intercrops in the system in the final years. Despite this, the income obtained from the trees proved to be important to cover production losses. For the economic study of ICLS at different doses of N, in a subtropical region, the increase in nitrogen fertilization did not guarantee a significant increase in income. The revenues and profits of the CLI system were higher than those of CLFI, 1.5 and 4.5 times, respectively, comparing systems with N doses (in the pasture phase) of  $90$  and  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectively.

**Key-words:** Nitrogen Fertilization; Integration Crop-Livestock-Forestry System; Profitability; Forest Management

### 4.3 INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), com ou sem árvores, constituem importantes formas de uso da terra (PONTES *et al.*, 2021). Os SIPA são projetados para explorar o sinergismo solo-planta-animal-floresta e atender bases sustentáveis (SEKARAN *et al.*, 2021).

O Brasil se destaca na adoção dos SIPA (GIL *et al.*, 2015; GIL *et al.*, 2016), apesar de ainda enfrentar desafios para equilibrar a produção agrícola com questões ambientais (GIL *et al.*, 2019), evidenciando o quanto a perspectiva econômica ainda é pouco discutida (PONTES *et al.*, 2021; DOS REIS, 2021). O tempo de avaliação e de desenvolvimento dos SIPA (seis anos ou mais, quando o componente florestal compõe o sistema), bem como os fatores inerentes a cada componente do sistema de produção (lavoura, pecuária e floresta), até atingir a consolidação, pode ser o principal fator que dificulta a discussão econômica, sobretudo, quando se considera o componente arbóreo.

Além disso, a adoção generalizada de insumos como fertilizantes, defensivos e máquinas para aumentar a produtividade na agricultura, a qual tem sido cada vez mais comum, tem gerado preocupação acerca do potencial de degradação aos recursos naturais (DAVIS *et al.*, 2012). Assim, avaliar doses de fertilizantes - sobretudo o nitrogênio (N), macronutriente mais requerido pela maior parte das culturas, se faz necessário, já que podem ter efeitos distintos sobre a produtividade

das culturas, lucratividade e impacto no ambiente (DOS REIS *et al.*, 2021), a exemplo dos gases de efeito estufa (BRATTI *et al.*, 2022), em função dos componentes adotados em SIPA. Além disso, os SIPA podem potencializar ainda mais o uso do N, já que a ciclagem de nutrientes reduz a dependência por fertilizantes químicos (DOS REIS *et al.*, 2021).

O impacto das árvores nas culturas intercalares é variável ao longo do ciclo das mesmas, podendo ser positivo, na maioria dos casos no início do ciclo (PORFÍRIO-DA-SILVA *et al.*, 2015), neutro ou negativo devido competição por luz e nutrientes (JOSE *et al.*, 2017). Estudos mostram que, até o quarto ano, a produtividade dos componentes nos sistemas ILP e ILPF são semelhantes (TRIVELIN *et al.*, 2020; PONTES *et al.*, 2021), após esse período, o número de árvores poderia afetar a produção agrícola e pecuária. A venda das árvores compensaria economicamente esta diferença (TRIVELIN *et al.*, 2020). Tais efeitos são também dependentes do manejo das árvores (via desramas e desbastes) que visa, por exemplo, aumentar a incidência de luminosidade para as culturas intercalares. Diversos autores descreveram mudanças no rendimento e rentabilidade de culturas intercalares com os efeitos de sombreamento e de doses de N (LIMA, 2021; PONTES *et al.*, 2021); sendo que a fertilização nitrogenada em sistemas integrados pode se tornar mais efetiva quando o sombreamento não é severo (LOPES *et al.*, 2017; PACIULLO *et al.*, 2011). Todavia, na literatura acerca dos SIPA arborizados, há escassez de resultados acerca dos efeitos das árvores “maduras” na produção e na rentabilidade das lavouras e dos animais.

Assim, o objetivo com o presente estudo é verificar o impacto de distintas doses de adubação nitrogenada na produção, receita, custo de produção e lucro de SIPA sem árvores (integração lavoura-pecuária), e de SIPA com árvores maduras (integração lavoura-pecuária-floresta, com árvores em final de ciclo, rotação completa, i.e., 11º e 12º anos após o plantio).

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Área Experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Modelo do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER (IDR-Ponta Grossa-PR) (25°07'22"S, 50°03'01"W), no período de 2006 a 2019. O local possui clima subtropical úmido (Cfb), de acordo com o sistema de classificação de Köppen, com ocorrência frequente de geadas e temperatura média anual de 17,6 °C, variando de 14 °C em julho a 21 °C em janeiro. A precipitação média histórica é de 1554 mm (IDR-Paraná), de 2006 a 2020 a precipitação média foi de 1657,8 mm (Tabela 5). O solo é uma transição de Cambissolo e Latossolo (OLIVEIRA *et al.*, 2020), com relevo suave ondulado, com 19% de argila, 3 % de silte e 78% de areia (PONTES *et al.*, 2018 a, b).

**Tabela 5.** Precipitação mensal (em mm) de 2006 a 2020 em Ponta Grossa, no Paraná.

PRECIPITAÇÃO (mm)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOT
2006	164	78	157	10,3	26,3	36,9	48,6	58,6	196	107	218	200	1300,5
2007	309	182	174	76,5	185	6,1	160	27	68,7	104	132	292	1715,2
2008	177	54,1	119	182	87,1	148	69,6	178	58,1	251	85,5	97,8	1507,4
2009	278	179	63,5	6,4	50,9	90,8	316	65	271	223	206	97,1	1846,3
2010	331	255	286	173	102	70	124	45,1	94,7	186	96,6	276	2038
2011	310	232	102	60,7	41	124	160	404	38,6	174	112	120	1878,3
2012	293	82,8	52,6	251	72,2	284	82	9,8	56,2	128	68,3	165	1543,7
2013	76,9	312	176	73,6	117	334	128	27,9	211	129	124	182	1891,3
2014	153	74,5	151	80	111	166	55	43,9	219	73,2	259	256	1641,8
2015	159	373	129	92,8	245	61,9	251	44,9	123	158	172	219	2027,6
2016	204	368	125	106	193	126	94,6	187	54,9	143	123	106	1829,2
2017	210	192	128	73,5	124	189	0	96,2	37	284	161	241	1736,3
2018	289	57,2	238	13,5	40,9	122	2,7	44,7	53,8	326	62,5	57	1306,6
2019	164	200	135	158	208	87,6	19	27,4	118	79,9	177	84,8	1457,8
2020	110	147	52,9	29,4	48,5	172	41,9	174	34,2	102	103	132	1146,7
Valores anuais (mm)													
MÉD	215,2	185,6	139,2	92,4	110,1	134,6	103,4	95,5	108,9	164,4	139,9	168,4	1657,8
MÍN	76,9	54,1	52,6	6,4	26,3	6,1	0,0	9,8	34,2	73,2	62,5	57	1146,7
MÁX	331,0	372,6	286,0	250,6	245,2	334,0	316,0	403,5	270,5	325,7	259,3	291,5	2038
D.PAD	77,7	103,7	61,7	68,5	66,6	84,8	86,9	100,0	75,4	73,6	55,5	73,3	264,2

Nota: IAT \*Estação local.

#### 4.4.2 Histórico da Área

O experimento foi implantado em uma área inicialmente degradada, utilizada para pastoreio extensivo (PONTES *et al.*, 2020). Em junho de 2006, sistemas integrados de produção agropecuária foram estabelecidos em toda a área, sendo em parte destinada a integração lavoura-pecuária - ILP (6 unidades experimentais e, em outra, destinada a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta - ILPF (6 unidades experimentais). Nas unidades de ILPF, foram implantadas três espécies arbóreas Eucalyptus [*Eucalyptus dunnii* Maiden]; Aroeira-vermelha [*Schinus terebinthifolius* Raddi]; Grevílea-robusta [*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R.Br.]), plantadas de forma perpendicular ao declive, em espaçamento 14 x 3 m (238 árvores ha<sup>-1</sup>). Para a recuperação da área, inicialmente, foi cultivado o arroz (*Oryza sativa* L.), em todas as unidades experimentais. O arroz foi selecionado como primeira safra devido a sua tolerância aos altos teores em alumínio e baixa saturação por bases no solo. O arroz (cultivar IPR 117) foi semeado concomitante com o plantio das árvores e cultivado de acordo com as recomendações técnicas para a região. O *E. dunnii* foi utilizado neste experimento por ser tolerante a geadas não muito severas.

A partir do inverno de 2010, o sistema de produção integrou o gado em pastagem de estação fria (aveia preta + azevém), e a rotação de culturas, alternando o milho (*Zea mays* L.) e a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), durante a estação quente, a cada ano, na mesma área de cultivo. Devido ao impacto dos animais nas árvores (PORFÍRIO-DA-SILVA *et al.*, 2012), a área experimental foi desbastada para 159 árvores ha<sup>-1</sup> (por desbaste da aroeira-vermelha) durante o verão de 2013 e, a fim de diminuir o nível de sombreamento das árvores, para 79 árvores ha<sup>-1</sup> (por desbaste de grevílea) durante o verão de 2015 (PONTES *et al.*, 2017). A densidade das árvores foi reduzida pelo desbaste de fileiras inteiras de eucalipto em novembro de 2015, a fim de melhorar a penetração da radiação solar. Assim, a partir da safra de verão 2016/2017 o novo arranjo de árvores foi de 28 x 9 m (40 árvores ha<sup>-1</sup>).

#### 4.4.3 Período Experimental

No presente estudo foi avaliado o impacto do desbaste de *Eucalyptus dunnii* na recuperação da lucratividade do sistema ILPF nos anos agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019 (dois últimos anos do estudo), isto é, previamente ao corte final das árvores, que ocorreu em abril de 2019.

Nestes dois últimos anos experimentais, a mistura de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) + azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) foi semeada a cada ano em sistema de plantio direto com uma densidade de semeadura de 45 e 15 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em abril/2017 e maio/2018. No outono de cada ano, foram feitas calagem, adubação fosfatada e potássica conforme análises de solo em cada unidade experimental. Milho (safra 2017/2018, cultivar Balu 280 Pro, com adubação de base de 400 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, fórmula 04-30-10) e soja (safra 2018/2019, cultivar Apollo, com adubação de base de 230 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, fórmula 02-20-18) foram semeados no início de outubro/17 e novembro/18, respectivamente.

#### 4.4.4 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro tratamentos e três repetições. O total foram 12 parcelas, cada uma com  $0,99 \pm 0,231$  ha. Foram testadas duas doses para a fertilização com nitrogênio (90 kg N ha<sup>-1</sup> e 180 kg N ha<sup>-1</sup>), em cada SIPA, resultando nos quatro tratamentos: ILP com aplicação de 90 kg N ha<sup>-1</sup> (ILP-N90), ILP com aplicação de 180 kg N ha<sup>-1</sup> (ILP-N180), ILPF com aplicação de 90 kg N ha<sup>-1</sup> (ILPF-N90), e ILPF com aplicação de 180 kg N ha<sup>-1</sup> (ILPF-N180). A adubação nitrogenada com ureia foi realizada em uma única aplicação durante cada inverno, isto é, na fase com pecuária, aproximadamente 40 dias após a semeadura do pasto. As doses de N foram escolhidas para fornecer condições limitantes (N90) e não limitantes (N180) para o desenvolvimento das forrageiras (PONTES *et al.*, 2021).

#### 4.4.5 Análise da Produção

Em cada área experimental foram mantidos três animais “testers” da raça Purunã (com idade entre 8 e 10 meses-fêmeas) durante a fase pecuária do experimento. Os animais foram pesados no início e no final de cada ciclo de pastejo, após jejum de sólidos por aproximadamente 16 h. A diferença de peso foi usada para calcular o ganho médio diário (GMD, g animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) dos animais “testers”, ver mais detalhes em Pontes *et al.* (2021). O ganho de peso por hectare foi determinado multiplicando-se o GMD pelo número de animais-dia/ha.

As culturas de grãos foram colhidas mecanicamente. Os resultados foram corrigidos para 13% de umidade e expressos em kg ha<sup>-1</sup> para as culturas de milho e soja. O rendimento da cultura em cada safra foi determinado com base nas médias de cada repetição e tratamento; seguindo a metodologia de Pontes *et al.* (2018) e Carpinelli *et al.* (2021).

Para a população de árvores foi realizado um inventário, considerando uma intensidade de 10%, onde uma árvore em cada 10 teve seu diâmetro a altura do peito (DAP) e sua altura total medidos. Posteriormente, cinco classes de DAP foram estabelecidas, com um intervalo de classe de 10 cm e cada árvore de amostra representando o ponto médio de cada classe. O volume do tronco das árvores de amostra, que representou cada classe DAP (PONTES *et al.*, 2021). O período final, consolidando o sistema, foi em 2019, com o corte das árvores.

#### 4.4.6 Análise Econômica

Para a análise econômica foram considerados os seguintes indicadores: receita, custo de produção e lucro. Para o cálculo dos indicadores econômicos foi utilizado a metodologia descrita em Volsi *et al.* (2020). Assim, a receita foi obtida pela multiplicação da produção animal, produção de grãos no ILP, e da produção animal, produção de grãos e produção florestal no ILPF, expressa em hectares, pelos respectivos preços de venda. Os preços de venda considerados no estudo são os do Departamento de Economia Rural da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB, 2020). A receita com as árvores foi obtida pelo valor total com a venda das árvores, dividido pelos anos de experimento.

Para o cálculo dos custos, foi contabilizado todos os serviços e insumos utilizados para o custeio dos sistemas de produção, bem como operações agrícolas e mão de obra. Foram também consideradas outras despesas inerentes à produção, tais como assistência técnica, taxas, seguros, juros, transporte, encargos e impostos. Foi realizado uma pesquisa sobre o custo médio para todas as operações agrícolas e insumos relacionados às safras (por exemplo, sementes, fertilizantes), animais (por exemplo, suplementos minerais, vacinas) e árvores (por exemplo, corte das árvores), para cada ano experimental, com base nas informações obtidos de pelo menos três cooperativas e empresas da região. Os valores obtidos para as árvores foram diluídos entre os anos do experimento.

Para estabelecer os custos operacionais de semeadura, pulverização, colheita, poda e desbaste, incluindo mão de obra, usamos os coeficientes técnicos experimentais da estação onde o experimento foi conduzido. O coeficiente técnico, segundo Pontes *et al.* (2021), representa o tempo gasto na realização de cada atividade agrícola e florestal por ha ou por animal. Assim, os valores para operações agrícolas (manual e mecânico), bem como os insumos foram apresentados em hectares. Para os custos das árvores no ILPF, considerou-se a área que era ocupada por árvores; esse percentual foi aplicado na redução de custos com alguns insumos (por exemplo, sementes e fertilizantes) (PONTES *et al.*, 2021). Com relação ao lucro, foi usado a relação entre receita e custo operacional para cada tratamento.

Todos os indicadores econômicos foram corrigidos para valores de dezembro de 2021. Para correção monetária foi utilizado o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que é o índice oficial de inflação do Brasil.

#### 4.4.7 Análise Estatística

Análises de variância foram realizadas para análise da produção animal, por área, usando um modelo em parcelas subdivididas (PONTES *et al.*, 2018b) no Stagraphics Centurion XV (2006). No modelo, as parcelas principais foram os tratamentos (SIPA versus doses de N) e as subparcelas foram os anos. Todos os fatores, exceto os blocos, foram considerados como fixos. Interações foram verificadas e excluídas do modelo final quando não significativas ( $p > 0,05$ ). Para as variáveis de produtividade de soja e milho, apenas os fatores tratamentos e blocos

foram considerados na ANOVA. Também foram realizadas as comparações de médias pelo teste Least Significant Difference – LSD ( $p < 0,05$ ).

#### 4.5 RESULTADOS

A produção animal e de grãos nos ILP foram superiores as dos ILPF, independente da dose de N (Tabela 6). No ILP-N90, a produção animal, em termos de ganho de peso vivo (PV), foi 74,1% maior do que aquela verificada no ILPF-N90 e 48,3% maior do que a do ILPF-N180. No ILP-N180, a produção animal foi 98% maior do que a do ILPF-N90 e 68,6% maior do que do ILPF-N180. Com relação à cultura do milho, no ILP-N90 a produção foi 44,5% maior do que no ILPF-N90 e 52,3% maior que no ILPF-N180. No ILP-N180 se verificou produção de milho 67,9% maior do que no ILPF-90 e 77% maior do que no ILPF-N180. Em relação à cultura da soja, no ILP-N90 a produção foi 258,8% maior do que no ILPF-N90 e 254,7% maior do que no ILPF-N180. No ILP-N180 a produção de soja foi 183,5% maior do que a verificada no ILPF-N90 e 180,3% maior do que no ILPF-N180.

No sistema ILP-N90, a receita total no ano de 2017-2018 foi de R\$ 9.072 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 7.075 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, houve uma redução de 22% (Figura 7a). Nesse sistema, no primeiro ano, em que se produziu milho, a produção animal representou 62% da receita e a produção de grãos 38%; já no segundo ano, em que se produziu soja, houve uma inversão, a produção de grãos foi responsável por 68% da receita, enquanto a produção animal respondeu por 32%.

**Tabela 6.** Ganho de peso vivo (PV) animal por área (kg PV ha<sup>-1</sup>), produtividade de milho (kg ha<sup>-1</sup>) e de soja (kg ha<sup>-1</sup>) em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) com diferentes doses de nitrogênio (N), quais sejam: integração lavoura-pecuária (ILP), e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com aplicação de N90, 90 kg de N ha<sup>-1</sup>; N180, 180 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Variável	ILP-N90	ILP-N180	ILPF-N90	ILPF-N180
Ganho de peso animal (kg PV ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )*	350 ± 69,6 a	398 ± 64,9 a	201 ± 52,2 b	236 ± 45,9 b
Milho (kg ha <sup>-1</sup> ) Safra 2017-2018	8993 ± 741,3 a	10452 ± 590,8 a	6222 ± 333,7 b	5904 ± 717,9 b
Soja (kg ha <sup>-1</sup> ) Safra 2018-2019	3707 ± 95,7 a	2929 ± 312,1 a	1033 ± 125,4 b	1045 ± 142,3 b

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste LSD ( $P < 0,05$ ). \*Integrou gado em pastagem de estação fria. \*\*Em ILPF: Produção de grãos foi calculado por ha de área útil; ou seja, descontado a área ocupada pelas árvores.

No sistema ILP-N180, a receita no ano de 2017-2018 foi de R\$ 10.000 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 6.782 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que representou uma redução de 32%. Nesse sistema também se verificou uma inversão de importância, parecida com a do sistema ILP-N90, ou seja, no primeiro ano, em que se produziu milho, a produção animal correspondeu a 60,4% da receita e a produção de grãos a 39,6%; já no segundo ano, em que se produziu soja, a produção animal foi responsável por 43,9% da receita, enquanto que a produção de grãos foi responsável por 56,1%. Quando analisado o valor acumulado dos dois anos, a produção animal foi responsável por 54% da receita total.

Quando adicionado o elemento floresta ao sistema (ILPF), observou-se que a receita obtida na produção animal e de grãos foi menor do que a constatada nos sistemas de integração sem floresta (ILP). No sistema ILPF-N90, a receita total no ano de 2017-2018 foi de R\$ 7.495 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 3.784 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma redução de 49,5%. A produção animal do primeiro ano respondia por 47% do total da receita, a de grãos por 37% e a de árvores por 16%; enquanto que no ano de 2018-2019 a produção animal passou a responder por 27% do total da receita, grãos por 41% e o componente florestal por 32%. Quando analisada a receita acumulada nos dois anos, tanto a produção animal quanto a de grãos obtiveram valores próximos, sendo de R\$ 4.555 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e R\$ 4.316 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, seguido da receita com a produção florestal, que foi de R\$ 2.408.

No sistema ILP-N180, a receita no ano de 2017-2018 foi de R\$ 6.922 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 4.114 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, redução de 40,6%. Nesse sistema, a produção animal do primeiro ano correspondia a cerca de 45%, de grãos de 38% e floresta de 17% do valor total, enquanto que no segundo ano a produção animal correspondia a cerca de 33%, de grãos a 38% e floresta 29% do valor total.

A receita no ano 2017-2018, independente da dose de N, na ILP foi derivada da produção pecuária (pastejo de inverno), seguido de milho no verão; e na ILPF derivada da produção pecuária (pastejo de inverno), seguido de milho no verão e do eucalipto. Já no ano de 2018-2019, tanto no ILP quanto no ILPF, a receita do componente lavoura foi derivada da produção de soja. Somente no tratamento ILPF-N90, em 2018-2019, o eucalipto teve uma receita superior a produção pecuária (Figura 7a). O valor máximo observado para a receita foi de R\$ 10.000 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em

2017-2018, com o tratamento ILP-N180. Na ILPF observou-se valores menores de receita para produção pecuária, milho e soja, em relação a ILP (Figura 7a).

O custo total de produção foi composto pelas despesas com insumos, operações agrícolas e outros custos (Figura 7b). Para os anos agrícolas 2017-2018 e 2018-2019, os custos foram principalmente relacionados com os insumos, sobretudo fertilizantes. O custo total acumulado nos dois anos foi de R\$ 9.830,5 ha<sup>-1</sup> para ILP-N90; R\$ 10.312,30 ha<sup>-1</sup> para ILP-N180; R\$ 9.361,20 ha<sup>-1</sup> para ILPF-N90 e R\$ 9.611,30 ha<sup>-1</sup> para ILPF-N180. No geral, os custos com insumos representaram 63% dos custos no sistema ILP-N90 e 64% no ILP-N180, enquanto que no sistema ILPF chegaram a representar 70% no sistema ILPF-N180 e 69% no ILPF-N90; seguidos de custos com operações agrícolas (20% ILP-N90 e 19% ILP-N180 e 17% para ILPF-N90 e ILPF-N180, respectivamente) e outros custos (17% ILP-N90 e ILP-N180, respectivamente; e 14% ILPF-N90 e 13% ILPF-N180). Quando se soma os dois anos agrícolas 2017-2018 e 2018-2019, a custo acumulado foi de R\$ 16.782 ha<sup>-1</sup> para ILP-N90; R\$ 16.147 ha<sup>-1</sup> para ILP-N180; R\$ 11.279 ha<sup>-1</sup> para ILPF-N90 e R\$ 11.036 ha<sup>-1</sup> para ILPF-N180.

Com relação aos custos de produção, no sistema ILP-N90, no ano de 2017-2018, este foi de R\$ 5.732 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 4.098 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, houve uma redução de 28,5% (Figura 7b). O custo total acumulado neste sistema ficou em R\$ 9.830 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Desse valor, os insumos representaram cerca de 63%, enquanto que os custos com as operações agrícolas e outros custos foram responsáveis por 20% e 17%, respectivamente, do custo total.

No sistema ILP-N180, o custo total no ano de 2017-2018 foi de R\$ 6.076 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 4.236 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, uma redução de 30,3%. O custo total acumulado para este sistema ficou em R\$ 10.312 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Desse valor, os insumos representaram cerca de 64%, enquanto as operações e outros custos ficaram na ordem de 19% e 17% respectivamente. Para ambos os sistemas, verificou-se uma redução de aproximadamente 30% dos custos em relação ao ano de 2017-2018 para o de 2018-2019.

No sistema ILPF, o custo total foi em média 6% menor do que no sistema ILP. No ILPF-N90 o custo total no ano de 2017-2018 foi de R\$ 5.661 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 3.700 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O custo total acumulado para este sistema ficou em R\$ 9.361 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Desse valor, os insumos representaram cerca de 69%, enquanto as operações e outros custos ficaram na ordem de 17% e 14% respectivamente.

No sistema ILPF-N180, o custo total no ano de 2017-2018 foi de R\$ 5.690 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 3.922 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O custo total acumulado para este sistema ficou em R\$ 9.612 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Desse valor, os insumos representaram cerca de 70%, enquanto as operações e outros custos ficaram na ordem de 17% e 13% respectivamente. Os maiores custos com insumos estão relacionados aos elevados preços dos fertilizantes.

Com relação ao lucro, o sistema ILP-N90 apresentou no ano de 2017-2018 um lucro de R\$ 3.341, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 2.977, ou seja, uma redução de 10,9% (Figura 7c). O lucro acumulado deste sistema foi de R\$ 6.317. Já com relação ao sistema ILP-N180, o lucro no ano de 2017-2018 foi de R\$ 3.923, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 2.546, ou seja, uma redução de 35,1%. O lucro acumulado desse sistema foi de R\$ 6.469. O lucro do sistema ILP-N180 foi 2,4% maior se comparado ao sistema ILP-N90.

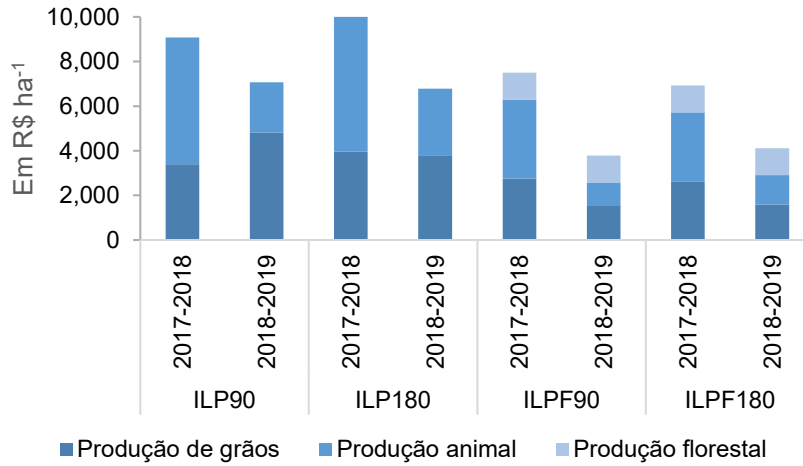
Os menores lucros foram obtidos no sistema ILPF. O sistema ILPF-N90 apresentou no ano de 2017-2018 um lucro de R\$ 1.834, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 84, ou seja, uma redução de 95,4%. O lucro acumulado desse sistema foi de R\$ 1.918. Já com relação ao sistema ILPF-N180, o lucro no ano de 2017-2018 foi de R\$ 1.232, enquanto que no ano de 2018-2019 foi de R\$ 193, ou seja, uma redução de 84,3%. O lucro acumulado desse sistema foi de R\$ 1.425. O lucro do sistema ILPF-N180 foi 25% menor se comparado ao sistema ILPF-N90.

O lucro obtido nos sistemas ILP foi superior ao obtido nos sistemas ILPF (Figura 7c). Em 2017-2018 o ILP-N180 apresentou um lucro de R\$ 3.923,10 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que foi o maior tanto em relação aos anos agrícolas quanto entre os SIPA avaliados; seguido pelo ILP-N90, no mesmo ano, com lucro de R\$ 3.340,50 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; em ambos os SIPA. Já no ano de 2018-2019 os lucros obtidos, em geral, foram menores aos de 2017-2018; mas os lucros com a soja foram superiores aos obtidos com o milho no ano anterior; enquanto a pecuária teve lucros inferiores comparados a mesma atividade no ano anterior.

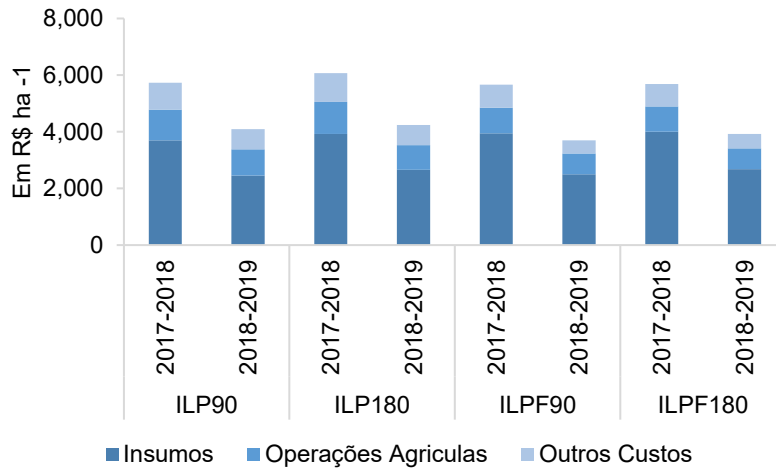
Os menores lucros foram obtidos no sistema com árvores. No ano de 2018-2019 o tratamento ILPF-N90 teve lucro de apenas R\$ 83,90 ha<sup>-1</sup> e o tratamento ILPF-N180 de R\$ 192,60 ha<sup>-1</sup>.

**Figura 7.** Receita das atividades (a), custo total (b) e lucro (c) de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), sem árvores (integração lavoura-pecuária – ILP) e com árvores em fase adulta (ILPF), em função de doses de nitrogênio (90 kg de N e 180 kg de N ha<sup>-1</sup>).

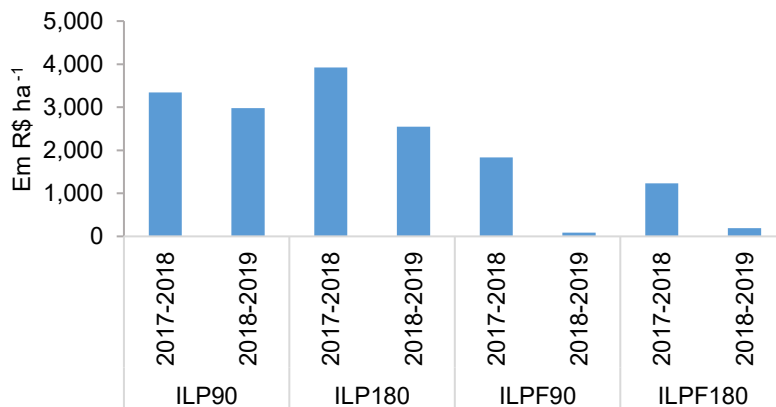
(a) Receita



(b) Custo total



(c) Lucro



## 4.6 DISCUSSÃO

Uma avaliação dos dois últimos anos dos SIPA, com árvores maduras (ILPF) e sem árvores (ILP) foi realizada com base nos indicadores de produção, receita, custos de produção e lucro, considerando diferentes dose de N ( $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  e  $180 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ). Para todos os SIPA, o lucro acumulado foi positivo, o que mostra que tanto o ILP quanto o ILPF são rentáveis. O custo total foi menor nos SIPA arborizados (ILPF). Menores custos para sistemas com mais componentes integrados também foram encontrados por Costa *et al.* (2018), que destacam que os SIPA proporcionam maior eficiência do uso do solo ao longo do ano agrícola, enquanto sistemas convencionais exigiam até 6 vezes mais área para produzir. Todavia, diferentes cenários devem ser considerados, já que o local, espécies utilizadas, o manejo, as condições edafoclimáticas, bem como o mercado local, podem influenciar os indicadores econômicos de um SIPA.

O ILP-N90 e ILP-N180 apresentaram lucros acumulados semelhantes, e superiores aos dos ILPF-N90 e ILPF-N180. No caso do ILPF, em ambas as doses de N ( $90 \text{ kg N ha}^{-1}$  e  $180 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ), a renda gerada pelas árvores contribuiu para cobrir os custos de produção, e ainda gerou lucro. No entanto, o alto nível de perdas, tanto da produção animal quando de grãos, observado nos últimos anos do ILPF, deve ser considerado como um alerta para se evitar uma redução drástica da renda dos agricultores que desejam introduzir árvores. Embora a ILP possa integrar de forma mais consistente os componentes da lavoura e da pecuária, na ILPF os componentes lavoura e pecuária nem sempre podem ser associados a produção florestal. Por exemplo, nos primeiros anos da fase de introdução do componente florestal no ILPF, o animal não pode ser introduzido devido aos danos que podem ocasionar nas árvores – a menos que as árvores estejam protegidas contra os animais (OLIVEIRA; PELISSARI; CARVALHO, 2012). Já a partir do 3º e 4º ano, o sombreamento passa a ser o principal fator limitante do desenvolvimento dos componentes lavoura e pastagens no sistema (PONTES *et al.*, 2021). Em sistemas de ILPF com árvores maduras, espécies de pastagens tolerantes à sombra podem ser uma alternativa, pois são capazes de manter a produtividade no sub-bosque em níveis crescentes de fechamento do dossel (JOSE *et al.*, 2017).

Em contraste com o SIPA sem árvores, no SIPA com árvores nem sempre o aumento da dose de N foi convertido em uma maior lucratividade. Além

disso, foi possível observar que o aumento da dose de N não atenuou o efeito do sombreamento causado pelas árvores. O nível mais baixo de N, provavelmente combinado com a ciclagem e mineralização de matéria orgânica nos SIPA (CARPINELLI *et al.*, 2020), pode ter fornecido N para as plantas em um nível não limitante. Pandey *et al.* (2011) descobriram que o fertilizante nitrogenado aumentou a produção de forragem sob as árvores; no entanto, este aumento foi dependente da intensidade da sombra. Sob condições de alta sombra, a resposta ao N foi mais limitada, tornando esta prática questionável. Lopes *et al.* (2017) e Paciullo *et al.* (2011) destacam que a eficiência da fertilização é inversamente proporcional ao grau de sombreamento projetado em uma pastagem. Portanto, na ILPF as doses de N devem ser variadas ao longo do tempo, devido a mudanças no nível de sombreamento para, em última análise, reduzir os custos de produção com adubação nitrogenada. Assim, com a redução da dependência de insumos externos, e consequentemente com a redução dos custos de produção, os resultados apresentados neste estudo, tanto para o ILP quanto para o ILPF, poderiam ser ainda melhores. Este estudo corrobora com a hipótese de que sistemas integrados reduzem a dependência externa de insumos e, conseqüentemente reduzem os custos de produção (DOS REIS, 2021), bem como a hipótese de que sistemas integrados podem ser utilizados como uma estratégia para recuperar áreas degradadas (VILELA *et al.*, 2011; SALTON *et al.*, 2014; DOS REIS, 2021).

Os SIPA com espécies arbóreas com maior valor agregado podem aumentar a lucratividade na ILPF (GRAVES *et al.*, 2007). Por isso, outros fatores importantes na ILPF são a seleção adequada das espécies de árvores a serem plantadas e a definição do arranjo espacial do componente florestal. O *E. dunnii*, apresenta qualidades superiores a outras espécies subtropicais (a ex. *E. benthamii*) em relação ao seu crescimento, uniformidade e boa cicatrização interna de nós após a poda com menor núcleo nodoso, tendendo a apresentar maior extensão de madeira limpa com qualidade para geração de produtos sólidos (BRAZ; NUTTO; MATOS, 2017). Segundo os autores (BRAZ; NUTTO; MATOS, 2017) essa extensão de madeira limpa pode trazer ganhos de mercado; sobretudo na região subtropical do Brasil, onde é cultivado com maior frequência; além de melhorar as respostas ao sombreamento dentro da ILPF.

Com um arranjo espacial de árvores, como o empregado neste estudo, o desbaste deve ser antecipado para se obter uma baixa densidade de árvores

para minimizar a competição arbórea e melhorar a penetração da irradiância solar na cultura da entrelinha, ao longo do tempo. O desbaste é uma técnica muito útil na ILPF, no entanto, os critérios para definição do momento de sua realização são diferentes daqueles estabelecidos para o plantio homogêneo (SOUZA, 2020). O desbaste deve ser realizado dependendo da cultura consorciada e do objetivo do produtor, quando o foco for a cultura agrícola, o desbaste deve ser antecipado quando começa a competição interespecífica. Oliveira *et al.* (2022) obtiveram resultados satisfatórios para massa de forragem e ganho de peso animal com até 99 árvores por hectare, espaçadas em 28m à orientação Leste-Oeste. Já Pontes *et al.* (2018) avaliaram a produção de milho para silagem (a área estava com 7 anos de condução do sistema em um arranjo espacial de 14x3m) e obtiveram resultados de melhor qualidade para matéria seca, fibra e proteína na área com as árvores. Pezzopane *et al.* (2020) obtiveram resultados de diminuição do valor de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 65,3% para 54,8%, quando comparada a transmissão da PAR durante o ciclo 2016/2017, com o mesmo período de 2017/2018, causado pelo crescimento lateral das copas das árvores. Tonini, Magalhães e Faria (2019) destacaram que as perdas de soja foram pequenas até o ponto em que as árvores apresentaram 4,1 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> de área basal, o que indica um ponto máximo para se evitar quedas severas na produtividade dos componentes da lavoura e da pecuária nos SIPA arborizados.

O desbaste das árvores em SIPA pode ser vendido como biomassa para energia (lenha), escoras ou toras de menor diâmetro; estes dois últimos com maior valor agregado. Contudo, embora os resultados econômicos sejam importantes, vale destacar que na ILPF se busca alcançar maiores rendimentos por unidade de área e na utilização dos recursos naturais (LEMAIRE *et al.*, 2014), a fim de se alcançar maiores rendimentos (PONTES *et al.*, 2021), além de benefícios sociais e ambientais, que devem ser considerados, especialmente no contexto da produção global de alimentos e mudanças climáticas (CARON *et al.*, 2018).

O sombreamento das árvores pode afetar negativamente a altura das plantas, biomassa, vagens, grãos por vagem e rendimento de grãos do componente lavoura, sendo essas perdas observadas com mais frequência próximas as árvores do que na parte central, seja pelo sombreamento ou pelo crescimento radicular (CARPINELLI *et al.*, 2021; BIELUCZYK *et al.*, 2021). A perda de produção animal em pastagens também foi observado nas área de SIPA com árvores (SARTOR *et al.*, 2006). No estudo de Bieluczyk *et al.* (2021), no período de cultivo de milho,

considerando a camada de solo de 0-70 cm, o crescimento das raízes foi limitado na ILPF em todas as distâncias avaliadas (1,9 m, 4,3 m e 7,5 m), em comparação com a ILP. Assim, no milho, um maior espaçamento inicial entre as linhas, e até mesmo a redução do número de linhas, deve ser levada em consideração, dependendo das prioridades de produção, para minimizar a redução do rendimento do grão. Mugunga *et al.* (2017) e Carpinelli *et al.* (2021) destacam que a diminuição da radiação solar nas plantas e a competição por água e nutrientes no solo são os principais fatores responsáveis pela diminuição da produtividade das culturas. A distribuição vertical das raízes finas do eucalipto é muito importante para evitar a competição entre espécies (SARTO *et al.*, 2020). Bosi *et al.* (2020a) em um estudo sobre disponibilidade de água no solo em pastagem a pleno sol, e em sistema silvipastoril, verificaram que a retirada de água do solo é mais rápida nas áreas abaixo das árvores, causada pelo vigoroso sistema radicular dos eucaliptos. O conteúdo de água acaba sendo ainda mais limitado em virtude da textura do solo, De acordo com Prevedello (2012), horizontes arenosos apresentam uma redução mais acentuada do conteúdo de água com o aumento das tensões aplicadas e, em virtude do espaço poroso ser composto principalmente por poros de diâmetros maiores e a área superficial específica das partículas serem menor, retém menos água que solo argiloso, dificultando a retenção de água. Pezzopane *et al.* (2020) destacam que a competição por água nos SIPA depende do clima local e são, em geral, mais relevantes em regiões com clima seco no verão. Mas isso pode ocorrer em sítio-específicos, como verificado neste estudo na safra 2018/2019, quando a falta de chuvas afetou a produção de soja na germinação e desenvolvimento vegetativo, uma vez que as árvores maduras, que possuem maior número de raízes, podem ter aumentado a competição dos recursos hídricos e minerais do solo.

Na ILPF as árvores não impactaram a produção pecuária e de grãos nos primeiros anos de SIPA (~4º ano), apresentando resultados semelhantes aos do ILP (PONTES *et al.* 2021). Após esse período, mesmo sob um desbaste drástico, o fechamento da copa das árvores diminuiu a produção de grãos, forragem e a produção animal e, conseqüentemente, geraram perdas econômicas para tais atividades que continuaram a serem observadas no ILPF até atingir o sistema completo, com o corte de todas as árvores. Souza (2020), em um estudo com soja no oitavo ano de sistema ILPF, em Sinop no Norte de Mato Grosso, também verificou que houve redução na produtividade de plantas de soja em sistemas ILPF, mesmo sob desbastes drásticos.

A perda de produtividade da soja foi de 26% em desbaste seletivo de 50% das árvores e 14% no desbaste sistemático. Fatores como água e nutrientes podem interferir mais que o próprio sombreamento, isso ocorre quando há uma quantidade maior de árvores remanescentes pós-desbaste, o que além da maior quantidade de sombra favorece o efeito de dreno das árvores para água e nutrientes (SOUZA, 2020; BOSI *et al.*, 2019b). A condução de árvores “maduras” durante o ciclo final pode ter o mesmo efeito “dreno”, já que há um estabelecimento maior da copa e do sistema radicular destas plantas.

Plantas C<sub>4</sub> (milho, por exemplo) ficam saturadas apenas sob condições de luz solar plena (REYNOLDS *et al.*, 2007), e essas pequenas reduções no nível de luz influenciam a taxa fotossintética, resultando em diminuição da produtividade. Já as plantas C<sub>3</sub> (a soja, aveia e azevém, por exemplo) são mais adaptáveis à sombra e tornam-se saturadas em aproximadamente 50% da luz solar (PENG *et al.*, 2009; REYNOLDS *et al.*, 2007). A soja e as espécies forrageiras não operam com potencial fotossintético total, pois foram observadas perdas no rendimento em relação a mesma planta crescendo em pleno sol. Neste estudo, o sistema ILPF comprometeu mais produção de soja, do que a produção das demais culturas. Isso se deve ao sombreamento e ao período de estiagem, o que acarretou em uma maior competição por recursos. Como observado por Reynolds *et al.* (2007) e Jose *et al.* (2017), fatores inerentes a precipitação, competição por recursos minerais e sombreamento influenciam na produtividade e o desenvolvimento da planta (REYNOLDS *et al.*, 2007; JOSE *et al.*, 2017).

Apesar do aumento da incidência de PAR, promovida pelo desbaste drástico de árvores, na ILPF, plantas de milho podem ainda apresentar alterações morfológicas quando comparadas ao milho cultivado em ILP. Aspectos relacionados à qualidade da luz (vermelho: quase vermelho) sob as copas das árvores podem ter influenciado a dominância, promovendo maiores alturas de planta e inserção de espiga, o que afeta a morfologia do milho (SANGOI *et al.*, 2002; PEZZOPANE *et al.*, 2020).

Um outro aspecto importante no manejo dos SIPA com ILP ou ILPF, é a necessidade de manejo e adubação das pastagens. Visto que os gastos com insumos respondem por mais de 60% dos custos de produção, sendo as despesas com fertilizantes as de maior expressão, as doses mais altas de N (180 kg N ha<sup>-1</sup>), elevam os custos. De acordo com Volsi *et al.* (2021) os fertilizantes, em especial o N, são responsáveis por boa parte do custo total de produção. Na fase das pastagens há

uma menor extração de nutrientes, assegurada pela maior capacidade de ciclagem de nutrientes das culturas, e como consequência há uma otimização no sistema de produção (FARIAS *et al.*, 2020). Para Pontes *et al.* (2021) em decorrência desses fatores, no manejo dos SIPA sob alta fertilidade do solo, após sucessivas rotações de pastagens/culturas, ou uma vez que a integração sistema seja estável, é essencial considerar mudança no sistema de fertilização, a fim de obter economia de insumos diante dessa margem existente. Além disso, em SIPA com árvores, a tendência é de uma maior fixação biológica de nitrogênio, devido a decomposição de folhas, ramos e galhos. Segundo Ren *et al.* (2021), estes são aspectos importantes a se considerar quando se pensa na segurança ambiental, uma vez que o uso em excesso de fertilizantes nitrogenados pode contaminar o ambiente, como os sistemas hídricos e a atmosfera.

A integração lavoura-pecuária, assim como a integração lavoura-pecuária-floresta, baseiam-se no princípio de que a maior ciclagem de nutrientes, promovida pelo pastejo de inverno, traz importante contribuição para os cultivos voltados à produção de grãos no verão. A presença de maiores teores de matéria orgânica contribui para imobilização temporal do nutriente, que posteriormente ficaria disponível para as próximas culturas (BONA FILHO, 2002). Isso só é possível pelo constante retorno e reutilização do mesmo nutriente dentro do sistema e entre os componentes solo-planta-animal. Alves *et al.* (2015), apontam que a maior quantidade de resíduos na superfície do solo e na subsuperfície através das raízes, promove maior quantidade de nutrientes a serem ciclados entre a fase pastagem e a fase lavoura. E a adubação nitrogenada da pastagem promove maior produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, o que possibilita alcançar altas produtividades nos cultivos subsequentes (BERNARDON, 2016).

A alta variabilidade do rendimento das culturas nas regiões subtropicais, a qual pode ser minimizada nos SIPA, juntamente com fatores climáticos, incentivam os agricultores na tomada de decisão acerca da sua adoção. As culturas de milho e soja, comumente utilizadas nos SIPA, apresentam maiores riscos associados a produção e volatilidade de preços no mercado internacional, enquanto o manejo das pastagens destinadas a alimentação animal e os preços dos produtos da pecuária são mais estáveis (REYNOLDS *et al.*, 2007; CARRER *et al.*, 2020). Os sistemas integrados mostram menor sensibilidade à flutuação dos preços das *commodities* e riscos inerentes à produção, ilustrando sua capacidade de redução do

risco de mercado (DOS REIS *et al.*, 2023). Todavia, no segundo ano do presente estudo o lucro foi reduzido, em todos os SIPA analisados, devido à forte estiagem que ocorreu no inverno, afetando sobremaneira a fase com pecuária. Ainda em relação ao lucro, os componentes agrícola e pecuário na ILP avaliadas apresentaram melhor resposta do que na ILPF, apesar dos produtos derivados dos componentes florestais também apresentarem mais estabilidade de preços (PONTES *et al.*, 2020).

Ainda que os resultados em relação a ILP sejam melhores, de acordo com Costa *et al.* (2018) iniciativas que agregam valor aos produtos neutros em carbono e que sejam mais socioeficientes podem aumentar a atratividade da ILPF. A adoção dos SIPA pode contribuir para atender à crescente demanda global por alimentos e energia, ao mesmo tempo em que minimiza impactos ambientais, recuperando áreas de pastagens degradadas, preservando áreas florestais, promovendo efeitos positivos para sociedade. Assim, independente do SIPA adotado, os seus benefícios podem permitir a intensificação sustentável da produção agropecuária.

#### **4.7 CONCLUSÕES**

O aumento da adubação nitrogenada nem sempre garantiu um aumento de produtividade e de receita, tampouco maior lucratividade.

Todos os SIPA analisados neste estudo independente da dose de N aplicada, foram lucrativos. A receita dos SIPA com ILP foi 1,5 vezes maior que a daqueles com ILPF; o lucro nos SIPA com ILP foi 4,5 vezes maior que a dos SIPA com ILPF, comparando sistemas com doses de N (na fase pastagem) de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>.

No SIPA com ILPF, o efeito competitivo das árvores maduras, mesmo após um desbaste drástico, resultou em uma produção menor das culturas intercalares. Apesar disso, a receita obtida com as árvores mostrou-se importante para cobrir as perdas de produção dos componentes da lavoura e da pecuária.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados deste estudo mostram uma expansão da área e do número de estabelecimentos que adotam SIPA, porém a heterogeneidade entre as microrregiões foi uma das evidências mais significativas. A região Nordeste permanece sendo a que detém maior número de SIPA, mas houve uma difusão do sistema para outros estados como Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Ao considerar o crédito rural destinado ao Programa ABC, como incentivo a adoção de SIPA por parte dos produtores, identificamos que grande parte das microrregiões não acessaram o crédito. Além disso, mesmo com a implementação de uma linha de crédito específica do Programa ABC, as microrregiões mais contempladas com os recursos dessa política pública foram as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil. Contudo, as microrregiões nordestinas são aquelas que tiveram maiores áreas com SIPA, o que evidencia que não foi o Programa ABC que fomentou a introdução do SIPA nesta região, mas os benefícios do próprio sistema. As regiões Sul e Centro-Oeste tiveram mais contemplações do crédito do que as regiões Norte e Nordeste, mostrando que há uma deficiência na estrutura, tanto de monitoramento quanto da distribuição dos recursos do programa.

A primeira hipótese deste estudo foi confirmada, revelando a expansão das áreas que adotam SIPA, as quais estão concentradas no Nordeste e no Centro-Oeste, evidenciando a heterogeneidade do país. Esse resultado pode estar associado à limitação da base de dados, pois os censos agropecuários disponibilizados pelo IBGE, só contempla SIPA arborizados, o que pode não ser o caso da região Sul, onde sistemas ILP podem ter maior abrangência. A segunda hipótese foi rejeitada, pois não há correlação positiva da expansão das áreas com SIPA com os recursos do Programa ABC, o que fica evidente ao observar a concentração das microrregiões contempladas pelo crédito no Centro-Oeste e Sul do Brasil.

Apesar do crédito especial e subsidiado para implementação de SIPA ser conhecido pelos produtores rurais, sua demanda foi pequena. Entre os entraves e os motivos da baixa procura pelo crédito rural, estão: preocupação com os custos iniciais; altos custos operacionais quando comparados com os sistemas tradicionais; incerteza sobre o retorno do investimento; exigências excessivas de documentação e

leis ambientais extremamente rígidas; os requisitos de posse da terra ou registro ambiental; entre outros fatores.

Os maiores desafios dessa pesquisa foram as informações dos censos agropecuários de 2006 e de 2017, pois os produtores autodeclararam se adotam (ou não) SIPA, os quais podem ter diferentes concepções sobre o que se trata o sistema. Além disso, os tipos de SIPA considerados nos censos agropecuários correspondem aqueles que possuem o componente florestal (ILF; IPF; ILPF), não considerando a especificação ILP, mais comum no Brasil; e por consequência, a impossibilidade de uma análise desagregada desses elementos.

Para o estudo econômico de SIPA em diferentes doses de N, em uma região subtropical, o aumento da adubação nitrogenada não garantiu um aumento significativo nas receitas. As receitas e os lucros do sistema ILP foram maiores que as de ILPF, 1,5 e 4,5 vezes, respectivamente, comparando sistemas com doses de N (na fase pastagem) de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

O efeito competitivo das árvores, mesmo após um desbaste drástico, resultou em uma produção menor das culturas intercalares no sistema nos anos finais. Apesar disso, a receita obtida com as árvores mostrou-se importante para cobrir as perdas de produção.

O manejo das culturas, agrícola e silvicultural, dentro de SIPA deve ser acompanhado simultaneamente, a fim de se explorar melhor a sinergia dos componentes e reduzir efeitos de variação sazonal (a ex. mercadológico).

Os SIPA deste estudo foram lucrativos, tais sistemas foram apropriados para área com degradação de pastagem, onde os resultados econômicos são limitados pelo solo e condições climáticas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 2, p. 50-59, 2008.

ALMEIDA, R. G.; DE ANDRADE, C. M. S.; PACIULLO, D. S.; FERNANDES, P. C.; CAVALCANTE, A. C. R.; BARBOSA, R. A.; DO VALLE, C. B. Brazilian agroforestry systems for cattle and sheep. **Tropical Grassland**, v.1, p. 175–183, 2013.

ALMEIDA, F.L.; CALONEGO, J. C.; CATUCHI, T. A.; TIRITAN, C. S.; ARAÚJO, F. F.; SILVA, P. C. G. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de eucalipto em cultivo consorciado. **Colloquium Agrariae**, v. 10, p. 33-44, 2014.

ALVES, R. C.; BREMM, C.; NUNES, C. L. R.; BARRO, R. S.; BARTH NETO, A.; SCHONS, R. M. T.; CAETANO, L. A. M.; CARVALHO, P. C. D. F. Suprimento de nitrogênio para culturas de verão pela aplicação antecipada em azevém pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.1406-1415, 2015.

ALVES-PINTO, H. N.; LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. B.; BARROS, F. S.; SANSEVERO, J. B.; IRIBARREM, A.; SILVA, A. C. Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. **Land Use Policy**, v. 60, p. 419-426, 2017.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; DA SILVA, C. O. **Zoneamento de aptidão climática para a videira europeia no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

ASFAW, Z. Origin and evolution of rural home gardens in Ethiopia. **Biologiske Skrifter Kongelige Danske Videnskabernes Selskab**, v. 54, p. 273-286, 2001.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; SILVEIRA, A. L. R.; DA OLIVEIRA, J. D. M.; WRUCK, F. D. 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.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. D.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.46, n.10, p. 1-12, 2011.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Matriz de dados do crédito rural – Crédito concedido**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 27 de agosto de 2022.

BÁNKUTI, F. I.; CALDAS, M. M.; BÁNKUTI, S. M. S.; GRANCO, G. Spatial dynamics: a new “milk corridor” in Paraná state, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2107-2117, 2017.

BARBOSA, R. A.; REIS, G. G. D.; REIS, M. D. G. F.; OLIVEIRA, C. H. R. D.; SILVA, M. L. D.; CACAU, F. V.; CALIMAN, J. P. Growth, yield and economic analysis of an eucalypt-soybean consortium: effect of the distance between trees within the row. **Revista Árvore**, v. 43, n. 1, e430202, 2019.

BEDDINGTON, J. R.; ASADUZZAMAN, M.; CLARK, M. E.; FERNÁNDEZ BREMAUNTZ, A.; GUILLOU, M. D.; HOWLETT, D. J. B.; WAKHUNGU, J. What next for agriculture after Durban? **Science**, v. 335, n. 6066, p. 289-290, 2012.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, p. 1-12, 2012.

BENAVIDES, R.; DOUGLAS, G. B.; OSORO, K. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 327-350, 2009.

BENDAHAN, A. B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; DE MEDEIROS, R. D.; DE LUCENA COSTA, N.; TOURRAND, J. F. Management and labour in an integrated crop-livestock-forestry system in Roraima, Brazilian Amazonia. **Cahiers Agricultures**, v. 27, n. 2, 25005, 2018.

BENDINI, N. J.; SOUZA, D.; MELO DE BARROS, R.; MEDEIROS, S.; DE ABREU, M.; CONCEIÇÃO VIEIRA MELQUÍADES, C. Mapping bee flora in honey producing areas of the Alto Médio Canindé microregion in Piauí state, Brazil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.15, 2021.

BERNARDON, A. **Altura do pasto e adubação nitrogenada sobre a produção de forragem e eficiência no uso de nutrientes em sistema de Integração Lavoura Pecuária**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, 2015.

BICHEL, A.; TELLES, T.S. Spatial dynamics of firewood and charcoal production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127714, 2021.

BIELUCZYK, W.; DE CÁSSIA PICCOLO, M.; PEREIRA, M. G.; LAMBAIS, G. R.; DE MORAES, M. T.; SOLTANGHEISI, A.; CHERUBIN, M. R. Eucalyptus tree influence on spatial and temporal dynamics of fine-root growth in an integrated crop-livestock-

forestry system in southeastern Brazil. **Rhizosphere**, v. 19, 100415, 2021.

BIELUCZYK, W.; BONETTI, J.; DENARDIN, L. D. O.; PIRES, G.; BERNARDI, A. D. C.; PEZZOPANE, J.; SOUZA, E. D. Manejo integrado para a sustentabilidade de sistemas integrados de produção agropecuária. *In*: MARTINS, A. G.; BATISTA, A. H.; WENDING, B.; PEREIRA, G. P.; SANTOS, W. O. (ed.). **Manejo do solo em sistemas integrados de produção**. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 80-128.

BONA FILHO, A. **Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio**. 2002. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

BONAUDO, T.; BENDAHAN, A. B.; SABATIER, R.; RYSCHAWY, J.; BELLON, S.; LEGER, F.; TICHIT, M. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43-51, 2014.

BORREMANS, L.; REUBENS, B.; VAN GILS, B.; BAEYENS, D.; VANDEVELDE, C.; WAUTERS, E. A sociopsychological analysis of agroforestry adoption in Flanders: understanding the discrepancy between conceptual opportunities and actual implementation. **Agroecology and Sustainability Food Systems**, v. 40, n. 9, p. 1008-1036, 2016.

BOSI, C.; SENTELHAS, P. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M.; CROPGRO-Perennial Forage model parameterization for simulating Piatã palisade grass growth in monoculture and in a silvopastoral system. **Agricultural Systems**, v. 177, 102724, 2020a.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Soil water availability in a full sun pasture and in a silvopastoral system with eucalyptus. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 429-440, 2020b.

BRASIL. **Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. Lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

BRASIL. **Política Nacional de Recuperação de Vegetação Nativa**. Decreto nº 8.972, de 23 de Janeiro de 2017. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso: 27 jun. 2019.

BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L.; RIBEIRO, R. H.; BESEN, M. R.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; PIVA, J. T. Nitrous oxide and methane emissions affected by grazing and nitrogen fertilization in an integrated crop-livestock system. **Geoderma**, v. 425, 116027, 2022.

BRAZ, R. L.; NUTTO, L.; DE MATOS, J. L. M. Effect of pruning on wood quality of *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*. **Scientia Forestalis**,

v. 45, n. 114, p. 261-274, 2017.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas, **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BULLER, L. S.; BERGIER, I.; ORTEGA, E.; MORAES, A.; BAYMA-SILVA, G.; ZANETTI, M. R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v.137, p. 206-219, 2015.

CALVI, M. F. **Fatores de adoção de sistemas agroflorestais por agricultores familiares do município de Medicilândia, Pará**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

CARON, B. O.; SGARBOSSA, J.; SCHWERZ, F.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; BEHLING, A. Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 3799-3812, 2018.

CARRER, M.J.; MAIA, A. G.; VINHOLIS, M. D. M. B.; DE SOUZA FILHO, H. M. Assessing the Effectiveness of Rural Credit Policy on the Adoption of Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. **Land Use Policy**, v. 92, 104468, 2020.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A. Integration of Grasslands within Crop Systems in South America. *In*: Eds. LEMAIRE, G.; HODGSON, J. CHABBI, A. Grasslands Productivity and Ecosystems Services. **Oxford shire - UK: CABI**, 2011. p. 219-226.

CARVALHO, J. L. N.; AUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, p. 175-186, 2010.

CARVALHO, P. C. D. F.; MORAES, A. D.; PONTES, L. D. S.; ANGHINONI, I.; SULC, R. M.; BATELLO, C. Definitions and terminologies for integrated crop-livestock system. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 1040-1046, 2014.

CARVALHO, P. C. D. F.; PETERSON, C. A.; NUNES, P. A. D. A.; MARTINS, A. P.; DE SOUZA FILHO, W.; BERTOLAZI, V. T.; ANGHINONI, I. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 8, p. 3513-3525, 2018.

CECAGNO, D.; GOMES, M. V.; DE ANDRADE, S. E. V. G.; MARTINS, A. P.; DE OLIVEIRA DENARDIN, L. G.; BAYER, C.; DE FACCI CARVALHO, P. C. Soil organic carbon in an integrated crop-livestock system under different grazing intensities. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 3, p. 1-7, 2018.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA)

(2022). **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

CERQUEIRA, C. A. de; FERRAZ, M. I. F.; SOARES, N. S.. Panorama da produção agropecuária das regiões intermediárias do estado da Bahia em 2017. **Boletim regional, urbano e ambiental** | 23 | Edição Especial Agricultura 2020.

COMBE, J. Agroforestry techniques in tropical countries: Potential and limitations. **Agroforestry Systems**, 1, 13-27, 1982.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

CONCEIÇÃO, F.T.; MAZZINI, F.; MORUZZI, R.B.; NAVARRO, G.R.B. Influências naturais e antrópicas na qualidade da água subterrânea de poços de abastecimento público na área urbana de Marília (SP). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 227-238, 2014.

COQUEIJO, S. de L. **Sistemas agroflorestais vs agricultura convencional: avaliação da sustentabilidade em comunidades de agricultura familiar no baixo sul da Bahia**. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

CORTNER, O.; GARRETT, R. D.; VALENTIM, J. F.; FERREIRA, J.; NILES, M. T.; REIS, J.; GIL, J. Perceptions of Integrated Crop-Livestock Systems for Sustainable Intensification in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 82, p. 841–853, 2019.

COSTA, M. P.; SCHOENEBOOM, J. C.; OLIVEIRA, S. A.; VINAS, R. S.; DE MEDEIROS, G. A. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1460-1471, 2018.

COSTA, K. A. de P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; RODRIGUES, C.; SEVERINO, E.C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1591-1599, 2008.

CROUZEILLES, R.; SANTIAMI, E.; ROSA, M.; PUGLIESE, L.; BRANCALION, P. H.; RODRIGUES, R. R.; PINTO, S. There is hope for achieving ambitious atlantic forest restoration commitments. **Perspectives Ecology and Conservation**, v. 17, p. 80–83, 2019.

DA SILVA, F. D.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; DE FACCIO CARVALHO, P. C. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p.

60-69, 2014.

DA SILVA, R.M.; LOPES, A.G.; SANTOS, C.A.G. Deforestation and fires in the Brazilian Amazon from 2001 to 2020: Impacts on rainfall variability and land surface temperature. **Journal of Environmental Management**, v. 326, 116664, 2023.

DAVIS, A. S.; HILL, J. D.; CHASE, C. A.; JOHANNIS, A. M.; LIEBMAN, M. Increasing cropping system diversity balances productivity, profitability and environmental health. **Plos One**, v. 7, n. 10, e47149, 2012.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (DERAL). Disponível em: <<https://www.agricultura.pr.gov.br/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

DOMICIANO, L.F.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P.; DA SILVA, N. M. F.; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S.; PEDREIRA, B. C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 920–929, 2018.

DOS REIS. **Integrated crop-livestock-forest systems: a brazilian alternative for agriculture sustainability**. 2021. 149 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

DOS REIS, J. C.; RODRIGUES, G. S.; DE BARROS, I.; RODRIGUES, R. D. A. R.; GARRETT, R. D.; VALENTIM, J. F.; SMUKLER, S. Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, 124580, 2021.

DOS REIS, J.C.; KAMOI, M.Y.T.; MICHETTI, M.; WRUCK, F.J.; RODRIGUES, R.A.R.; NETO, A.L.F. Economic and environmental impacts of integrated systems adoption in Brazilian agriculture-forest frontier. **Agroforestry Systems**, p. 1-17, 2023.

ENGEL, V. L. **Introdução aos sistemas agroflorestais**. Botucatu: FEPAF, 1999.

ESTEVES, E. M. M.; BRIGAGÃO, G. V.; MORGADO, C. R. V. Multi-objective optimization of integrated crop-livestock system for biofuels production: A life-cycle approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, 111671, 2021.

EUSÉBIO, G. D. S., Moraes, A. S., FASIABEN, M., Maia, A. G. (2021). Impactos da difusão de sistemas agroflorestais na produção de soja: uma análise a partir dos censos agropecuários 2006 e 2017. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 59.; ENCONTRO BRASILEIRO DE PESQUISADORES EM COOPERATIVISMO, 6., Brasília, DF, 2021. Anais... Brasília, DF: UnB, 2021.

EVANS, J.R. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. **Plant Physiol**, v.16, p.533–548, 1989.

FAHMI, M. K. M.; DAFA-ALLA, D. A. M.; KANNINEN, M.; LUUKKANEN, O. Impact of agroforestry parklands on crop yield and income generation: case study of rainfed farming in the semi-arid zone of Sudan. **Agroforestry System**, v. 92, n. 3, p. 785-800, 2018.

FARIAS, G. D.; DUBEUX, J. C. B.; SAVIAN, J. V.; DUARTE, L. P.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; BREMM, C. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, p. 1-9, 2020.

FEITOSA, A.G. de S. **Modulação da fotossíntese e assimilação do nitrogênio por condições de elevado CO<sub>2</sub> atmosférico em plantas de soja**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **An International consultation on integrated crop-livestock systems for sustainable development**. Plant production and protection division consultation documents. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 20 jun 2022.

FOGUESATTO, C. R.; BORGES, J. A. R.; MACHADO, J. A. D. Farmers' typologies regarding environmental values and climate change: Evidence from southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 232, p. 400-407, 2019.

FRANCA, T. J. F.; SILVA, J. R. O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, SP, v. 47, n. 1, jan./mar., 2017.

GARCÍA DE JALÓN, S.; BURGESS, P. J.; GRAVES, A.; MORENO, G.; MCADAM, J.; POTTIER, E.; VITYI, A. How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. **Agroforestry System**, v. 92, n. 4, p. 829-848, 2018.

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

GALFORD, G. L.; SOARES-FILHO, B.; CERRI, C. E. P. Prospects for land-use sustainability on the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. **Philosophical Transactions of the Royal Society B.**, v. 368, n. 1619, 20120171, 2013.

GRAVES, A. R.; BURGESS, P. J.; PALMA, J. H. N.; HERZOG, F.; MORENO, G.; BERTOME, M.; DUPRAZ, C.; LIAGRE, F.; KEESMAN, K.; VAN DER WERF, W.; KOEFFEMAN DE NOOY VAN DEN BRIEL, J. P. Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable and forestry systems in three European countries. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 434- 449, 2007.

GIANETTI, G. W.; FERREIRA FILHO, J. B. S. O Plano e Programa ABC: uma análise da alocação dos recursos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 1, e216524, 2021.

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

GIL, J. D. B.; GARRET, R.; BERGER, T. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. **Land Use Policy**, v. 59, p. 557-568, 2016.

GIL, J. D.; DAI OGLOU, V.; VAN ITTERSUM, M.; REIDSMA, P.; DOELMAN, J. C.; VAN MIDDELAAR, C. E.; VAN VUUREN, D. P. Reconciling global sustainability targets and local action for food production and climate change mitigation. **Global Environmental Change**, v. 59, 101983, 2019.

GODAR, J.; GARDNER, T. A.; TIZADO, E. J.; PACHECO, P. Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 43, p. 15591-15596, 2014.

HERRERO, M.; THORNTON, P. K., NOTENBAERT, A. M., WOOD, S., MSANGI, S., FREEMAN, H. A., ... & ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 822-825, 2010.

HERRERO, M.; GRACE, D.; NJUKI, J.; JOHNSON, N.; ENAHORO, D.; SILVESTRI, S.; RUFINO, M. C. The roles of livestock in developing countries. **Animal**, v. 7, p. 3-18, 2013.

HUXLEY, P.; VAN HOUTEN, H. **Glossary for agroforestry**. Nairobi: World Agroforestry Center, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2006**: segunda apuração. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2022a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2017**: resultados definitivos. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2022b.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Taxas anuais de desmatamento na Amazônia brasileira - projeto PRODES**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change**

- 2013:** The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- JESSY, M.D.; JOSEPH, P.; GEORGE, S. Possibilities of diverse rubber based agroforestry systems for smallholdings in India. **Agroforestry System**, v. 91, n. 3, p. 515-526, 2017.
- JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, p. 459-473, 2014.
- JOSE, S.; WALTER, D.; KUMAR, B. M. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 317–331, 2017.
- LACERDA, A. E. B.; HANISCH, A. L.; NIMMO, E. R. Leveraging traditional agroforestry practices to support sustainable and agrobiodiverse landscapes in Southern Brazil. **Land**, v. 9, n. 6, 176, 2020.
- LAL, R. Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. **Food Security**, v. 2, n. 2, p. 169-177, 2010.
- LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 27-35, 2014.
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v 32, n.5, p. 1969-1975, set./out. 2008.
- LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P.C. de F.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.
- LENZ, A. M.; ROSA, H. A.; MERCANTE, E.; MAGGI, M. F.; MENDES, I. D. S.; CATTANI, C. E. V.; GURGACZ, F. Expansion of eucalyptus energy plantations under a Livestock-Forestry Integration scenario for agroindustries in Western Paraná, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 39-48, 2019.
- LIMA, R. C. de. **Teores de nitrogênio, fósforo e potássio em pontos de deposição de urina bovina em solos de textura argilosa e arenosa**. 2021. 112 f. 2021. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- LOPES, C. M.; PACIULLO, D. S. C.; ARAÚJO, S. A. C.; MORENZ, M. J. F.;

GOMIDE, C. A. M.; MAURÍCIO, R. M.; BRAZ, T. G. S. Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. **Ciência Rural**, v. 47 n. 2, 20160472, 2017

MAIA, A. G.; DOS SANTOS EUSEBIO, G.; FASIABEN, M. D. C. R.; MORAES, A. S.; ASSAD, E. D.; PUGLIERO, V. S. The Economic Impacts of the Diffusion of Agroforestry in Brazil. **Land Use Policy**, v. 108, 105489, 2021.

MACEDO, R. L. G.; BEZERRA, R. G.; VENTURIN, N.; VALE, R. S.; OLIVEIRA, T. K. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônômicas do milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, p. 701-709, 2006.

MACIEL, L. M. **Entre o rural e o urbano: processos migratórios de trabalhadores rurais do Alto Médio Canindé piauiense para região central do estado de São Paulo**. 2016. 310 f. Tese (Instituto de Filosofia e Ciências Humanas) - Universidade de Campinas, São Paulo, 2016.

MAGALHÃES, C. D. S.; PEDREIRA, B. C.; TONINI, H.; DE FARIAS NETO, A. L. Produtividade agrícola, pecuária e florestal em diferentes sistemas de produção no norte de Mato Grosso. *In: Primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável*. Brasília: Embrapa Agrossilvipastoril, 2019. p. 164-173.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.B.; MANZONI, C.S.; BARIONI, L.G. Perdas de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 2240-2247, 2004.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; QUILLERÉ, I.; GALLAIS, A.; HIREL, B. The challenge of remobilization in plant nitrogen economy. A survey of physio-agronomic and molecular approaches. **Annals of Applied Biology**, v.138, p.68–81, 2001.

MBOW, C.; VAN NOORDWIJK, M.; LUEDELING, E.; NEUFELDT, H.; MINANG, P. A.; KOWERO, G. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 61-67, 2014.

MCGINTY, M. M.; SWISHER, M. E.; ALAVALAPATI, J. Agroforestry adoption and maintenance: self-efficacy, attitudes and socio-economic factors. **Agroforestry Systems**, v. 73, n. 2, p. 99-108, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Contribuição Nacionalmente**

**Determinada.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTIC). **Taxa de desmatamento na Amazônia Legal.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/15259-governo-federal-divulga-taxa-de-desmatamento-na-amaz%C3%B4nia.html>. Acesso em: 25 junho, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Plano Safra 2020-2021. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 03 dez. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Plano ABC em números. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 05 dez. 2020.

MONTAGNINI, F.; FINNEY, C. Payments for environmental services in latin America as a tool for restoration and rural development, **Ambio**, v. 40, n. 3, p. 285-297, 2011.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. D. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1024–1031, 2014.

MOTA, F.D. **Modelo matemático para otimização na seleção de fertilizantes via fertirrigação.** 2020. 94 f Tese Agronomia (Irrigação e Drenagem) – FCA. Universidade Estadual Paulista (Unesp), São Paulo, 2020.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D.D. da; SILVA, M. P. da. Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande. **Barreiras: Gazeta Santa Cruz**, 2010.

MUGUNGA, C. P.; GILLER, K. E.; MOHREN, G. M. J. Tree-crop interactions in maize-eucalyptus woodlot systems in shouthern Rwanda. **European Journal of Agronomy**, v. 86, p. 78-86, 2017.

NOGUEIRA, C.C.M. **Nitrogênio e Fotossíntese em Plantas de Cana-de-Açúcar sob sombreamento.** 2022. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2022.

OGINO, C.M.; VIEIRA FILHO, J.E.R. **Preços de fertilizantes Impactando a produção agrícola brasileira.** Boletim regional, urbano e ambiental . Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. 2022.

OLIVEIRA, E. B.; PELISSARI, A.; CARVALHO, P. D. F. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, p. 67-76, 2012.

OLIVEIRA, J. M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. D. M.; ASSIS, P. C. R.; SILVEIRA, A. L. R.; DE LELES LIMA, M.; MACHADO, P. L. O. D. A. Integrated

farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 105-116, 2017.

OLIVEIRA, F.; DA SILVEIRA PONTES, L.; ASSMANN, T. S.; DOS SANTOS, B. R. C.; CARPINELLI, S.; DA FONSECA, A. F. Dry matter decomposition and potassium cycling in no-till integrated crop-livestock systems: the effects of tree shading and nitrogen fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 4, p. 627-632, 2020.

OLIVEIRA, A. F.; MENEZES, G. L.; GONÇALVES, L. C.; DE ARAÚJO, V. E.; RAMIREZ, M. A.; JÚNIOR, R. G.; LANA, A. M. Q. Pasture traits and cattle performance in silvopastoral systems with Eucalyptus and Urochloa: Systematic review and meta-analysis. **Livestock Science**, v. 262, 104973, 2022.

OVERBECK, G. E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R.; LEWINSOHN, T. M.; FONSECA, C. R.; MEYER, S. T.; PILLAR, V. D. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, v. 21, p. 1455–1460, 2015.

PACIULLO, D. S. C.; FERNANDES, P. B.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; SOBRINHO, F. S.; CARVALHO, C. A. B. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 2, p. 270-276, 2011.

PACIULLO, D.S.C.; PIRES, M. F. A.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; MAURÍCIO, R. M.; GOMIDE, C. A. M.; SILVEIRA, S. R. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass–legume pastures shaded by tropical trees. **Animal**, v. 8, n. 8, p. 1264-1271, 2014.

PANDEY, C. B.; VERMA, S. K.; DAGAR, J. C.; SRIVASTAVA, R. C. Forage production and nitrogen nutrition in three grasses under coconut tree shades in the humid-tropics. **Agroforestry Systems**, v. 83, p. 1-12, 2011.

PENG, X.; ZHANG, Y.; CAI, J.; JIANG, Z.; ZHANG, S. Photosynthesis, growth and yield of soybean and maize in a tree-based agroforestry intercropping system on the Loess Plateau. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 569-577, 2009.

PEYRAUD, J. L.; TABOADA, M.; DELABY, L. Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: A review. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 31-42, 2014.

PEZZOPANE, J. R. M.; BONANI, W. L.; BOSI, C.; DA ROCHA, E. L. F.; DE CAMPOS BERNARDI, A. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; DE FARIA PEDROSO, A. Reducing competition in a crop–livestock–forest integrated system by thinning eucalyptus trees. **Experimental Agriculture**, v. 56, n. 4, p. 574-586, 2020.

PEREIRA, M. A. **Avaliação econômica de sistemas de Integração Lavoura-**

**Pecuária-Floresta: as experiências da Embrapa.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2019.

PEROSA, B.; NEWTON, P.; CARRER, M. J. Access to information affects the adoption of integrated systems by farmers in Brazil. **Land Use Policy**, v. 106, 105459, 2021.

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, p. 3457-3468, 2021.

PONTES, L. D. S.; CARPINELLI, S.; STAFIN, G.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; SANTOS, B. R. D. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop livestock systems with trees. **Grassland Science**, v. 63, n. 1, p. 29-35, 2017.

PONTES, L. D. S.; TULLIO, G. F.; DE MARTINS, A. S.; MOLETTA, J. L.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Corn yield for silage and grains in different integrated crop-livestock systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 315–323, 2018a.

PONTES, L. D. D.; BARRO, R. S.; SAVIAN, J. V.; BERNDT, A.; MOLETTA, J. L.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; DE FACCI CARVALHO, P. C. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: the effect of shade and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 253, p. 90–97, 2018b.

PONTES, L. D. S.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MOLETTA, J. L.; TELLES, T. S. Long-term profitability of crop-livestock systems, with and without trees. **Agricultural Systems**, v. 192, 103204, 2021.

PORFÍRIO-DA-SILVA, VANDERLEY; MORAES, A.; PELISSARI, A.; MOLETTA, J. L.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, E. B. Yield of maize grown in the alley cropping systems in the Campos Gerais, PR. **Scientia Agraria**, v. 16, p. 27-32, 2015.

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em argissolo sob eucalipto e campo nativo.** Santa Maria–RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 120 f. 2012. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria.

REDE ILPF. **ILPF em Números.** Disponível em: <<https://www.redeilpf.org.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2021.

REYNOLDS, P. E.; SIMPSON, J. A.; THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 362–371, 2007.

REN, H.; HAN, K., LIU, Y., ZHAO, Y., ZHANG, L., HE, Q., ZHAO, B. Improving smallholder farmers' maize yields and economic benefits under sustainable crop intensification in the North China Plain. **Science of the Total Environment**, v. 763, 143035, 2021.

RIVEST, D.; PAQUETTE, A.; MORENO, G.; MESSIER, C. A meta-analysis reveals mostly neutral influence of scattered trees on pasture yield along with some contrasted effects depending on functional groups and rainfall conditions. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 16, p. 74–79, 2013.

RODRIGUES, R.; DE MELLO, W Z.; DA CONCEIÇÃO, M.C.G.; DE SOUZA, P.A.; DA SILVA, J.J.N. Dinâmica do nitrogênio em sistemas agrícolas e florestais tropicais e seu impacto na mudança do clima. **Revista Virtual de Química**, 2017, 9 (5), 1868-1886. 2017

ROSENSTOCK, T. S.; DAWSON, I. K.; AYNEKULU, E.; CHOMBA, S.; DEGRANDE, A.; FORNACE, K.; STEWARD, P. A planetary health perspective on agroforestry in Sub-Saharan Africa. **One Earth**, v. 1, n. 3, p. 330-344, 2019.

SAGASTUY, M.; KRAUSE, T. Agroforestry as a biodiversity conservation tool in the Atlantic Forest? Motivations and limitations for small-scale farmers to implement agroforestry systems in North-Eastern Brazil. **Sustainability**, v. 11, 6932, 2019.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHET, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, v. 79, p. 39–51, 2002.

SANTOS, N. M. DA S. **A inadimplência no microcrédito do PRONAF: o caso do município de Barra-BA**. 2009. 182 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2009.

SANTOS, J. A.; LUCAS, F. C. A. SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO SUDESTE PARAENSE:: Uma análise dos censos agropecuários de 2006 e 2017. **Cadernos Cajuína**, v. 7, n. 2, p. e227224-e227224, 2022.

SANTOS, A; SILVA, R. Sistemas agroflorestais no município de Paragominas, Pará. **HOLOS**, Natal, Ano 36, v.3, p.1-15, 2020

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.

SARTO, M. V.; BORGES, W. L.; SARTO, J. R.; RICE, C. W.; ROSOLEM, C. A. Root and shoot interactions in a tropical integrated crop–livestock–forest system. **Agricultural Systems**, v. 181, 102796, 2020.

SARTOR, L.R.; SOARES, A.B.; ADAMI, P.F.; FONSECA, L.; MIGLIORINI, F.; MEZZALIRA, J. Produção de forragem de espécies de inverno em ambiente sombreado. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 1, n. 1, p. 13-21, 2006.

SCHEMBERG, A.; CUNHA, D. A. D.; CARLOS, S. D. M.; PIRES, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. v. 55, n.1, 009-030, 2017.

SCHREINER, H.G. Culturas intercalares de soja em reflorestamentos de eucaliptos no Sul-Sudeste de Brasil. Colombo. **Boletim de Pesquisa Florestal**. N. 18/19, p.1-10. 1989.

SCHULER, H. R.; ALARCON, G. G.; JONER, F.; DOS SANTOS, K. L.; SIMINSKI, A.; SIDDIQUE, I. Ecosystem Services from Ecological Agroforestry in Brazil: A Systematic Map of Scientific Evidence. **Land**, v. 11, n. 01, p. 83, 2022.

SEKARAN, U.; LAI, L.; USSIRI, D. A.; KUMAR, S.; CLAY, S. Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security – A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 5, 100190, 2021.

SENE, S. M. D.; BACHA, C. J. C. Adoção dos sistemas integrados na agropecuária do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 62(1): e264625, 2024.

SILVA, L. M. M. **Desempenho agrônômico de milho em função do tratamento de sementes com Azospirillum brasiliense sob diferentes doses de nitrogênio mineral**. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal, Ciências AgroVeterinárias) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

SILVA, R. A. B.; Batista, M. D. C. D. S., Alves, R. P. A., Alves, F. S. F., Pinheiro, R. R., Diniz, B. L. M., ... & Paula, N. R. D. O. Investigação sorológica das lentivirose de pequenos ruminantes nas microrregiões homogêneas do Alto Médio Canindé, Picos e Floriano, Piauí, Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, 2017.

SILVA, N. G.; SILVA, C. V. Percepção dos produtores rurais sobre os sistemas integrados na produção agropecuária (SIPAs). **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 172-186, 2020.

SILVA, S. K. **Fixação e transferência de nitrogênio em cultivos consorciados e solteiros de gramíneas e leguminosas**. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVEIRA, J. G.; OLIVEIRA NETO, S. N. D.; CANTO, A. C. B. D.; LEITE, F. F. G. D.; CORDEIRO, F. R.; ASSAD, L. T.; RODRIGUES, R. D. A. R. Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 5, 2563, 2022.

SIMINSKI, A.; DOS SANTOS, K. L.; WENDT, J. G. N. Rescuing agroforestry as strategy for agriculture in Southern Brazil. **Journal of Forestry Research**, v. 27, n. 4, p. 739-746, 2016.

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 334–350, 2010.

SOUZA, A.L. de. **Produtividade de soja no oitavo ano de sistemas ILPF**. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Estado de Mato Grosso, Mato Grosso, 2020.

SOUZA, C.R.; FRITZ FILHO, L.F.; MORETTO, C. F. Os processos produtivos agrícolas na zona de amortecimento da Floresta Nacional de Passo Fundo. **Revista Econômica e Sociologia Rural**, v. 60, , e21670, 2021.

SOUZA PIAO, R.; SILVA, V. L.; NAVARRO DEL AGUILA, I.; DE BURGOS JIMÉNEZ, J. Green growth and agriculture in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 3, 1162, 2021.

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

SPERA, S. Agricultural intensification can preserve the brazilian cerrado: applying lessons from Mato Grosso and Goiás to Brazil’s last agricultural frontier. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1-7, 2017.

STATGRAPHICS CENTURION XV 2006 <https://www.statgraphics.net>

STRASSBURG, B. B.; LATAWIEC, A. E.; BARIONI, L. G.; NOBRE, C. A.; DA SILVA, V. P.; VALENTIM, J. F.; 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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal* 5º ed. Ed: Artmed. Porto Alegre. 954 p.2013.

TARAZONA, A. M.; CEBALLOS, M. C.; BROOM, D. M. Human relationships with domestic and other animals: One health, one welfare, one biology. **Animal**, v. 10, n. 1, 43, 2020.

TELLES, T. S.; RIGHETTO, A. J.; DA COSTA, G. V.; VOLSI, B.; DE OLIVEIRA, J. F. Conservation agriculture practices adopted in southern Brazil. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 17, n. 5, p. 338-346, 2019.

TELLES, T. S., BACCHI, M. D., COSTA, G. V.; SCHUNTZEMBERGER, A. Milk production systems in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**,

v. 92, n. 1, e20180852, 2020.

TONINI, H.; MAGALHÃES, C. A. D. S.; FARIA, A. L. D. Technical thinning age of eucalyptus trees grown in crop-forest integration systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00648, 2019.

TOMAZ, G. A.; WANDER, A. E. Barreiras à adoção do sistema ILPF em Goiás. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 93-100, 2017.

THORNTON, P. K.; HERRERO, M. Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in Sub-Saharan Africa. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 830-836, 2015.

TRIVELIN, G. A.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; LUZ, P. A.; BERNARDES, E. M.; LUPATINI, G.C.; ARANHA, H.S.; SANTANA, E.A.R.; ARANHA, A.S.; SEKIYA, B.M.S.; SANTOS, J.M.F.; EUFRADE-JUNIOR, H. J. Animal production and economic viability of integrated crop livestock systems. *International Journal for Innovation Education and Research*, v. 8, n. 8, p. 530-540, 2020.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Paris agreement**. Disponível em: <<http://unfccc.int/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

URRUTH, L. M.; BASSI, J. B.; CHEMELLO, D. Policies to encourage agroforestry in the Southern Atlantic Forest. **Land Use Policy**, v. 112, 105802, 2022.

VALE, P.; GIBBS, H.; VALE, R.; CHRISTIE, M.; FLORENCE, E.; MUNGER, J.; SABAINI, D. The Expansion of Intensive Beef Farming to the Brazilian Amazon. **Global Environmental Change**, v. 57, 101922, 2019.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACEDO, M.; MARCHÃO, R.; GUIMARÃES JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. Integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

VINHOLIS, M. D. M. B.; SAES, M. S. M.; CARRER, M. J.; DE SOUZA FILHO, H. M. The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian Low Carbon Agriculture Plan. **Journal Cleaner Production**, v. 280, 124334, 2021.

VOLSI, B.; BORDIN, I.; HIGASHI, G. E.; TELLES, T. S. Economic profitability of crop rotation systems in the Caiuá sandstone area. **Ciência Rural**, v. 50, n.2, e20190264, 2020.

VOLSI, B.; HIGASHI, G. E.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. Production and profitability of diversified agricultural systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, e20191330, 2021.

WRIGHT, I. A.; TARAWALI, S.; BLÜMMEL, M.; GERARD, B.; TEUFEL, N.; HERRERO, M. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 5, p. 1010-1015, 2012.

ZANASI, C.; RABBONI, C.; ROTA, C.; BUNGENSTAB, D. J.; LAURA, V. A. The carne carbono neutro accordance to Brazilian consumers' attitude towards beef. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 11, n. 4, p. 360-376, 2020.

ZEWELD, W.; TARAWALI, S.; BLÜMMEL, M.; GERARD, B.; TEUFEL, N.; HERRERO, M. Impacts of socio-psychological factors on actual adoption of sustainable land management practices in dryland and water stressed areas. **Sustainability**, v. 10, n. 9, 2963, 2018.

ZU ERMGASSEN, E. K.; LCÂNTARA, M. P. D.; BALMFORD, A.; BARIONI, L.; NETO, F. B.; BETTARELLO, M. M.; LATAWIEC, A. Results from on-the-ground efforts to promote sustainable cattle ranching in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v.10, n. 4, 1301, 2018.