

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

LUIZA PECCI CANISARES

**Estoque de carbono e nutrientes no solo em áreas sob intensificação de
pastagem e expansão de cana-de-açúcar no estado de São Paulo**

Piracicaba

2022

LUIZA PECCI CANISARES

**Estoque de carbono e nutrientes no solo em áreas sob intensificação de
pastagem e expansão de cana-de-açúcar no estado de São Paulo**

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

**Dissertação apresentada ao Centro de Energia
Nuclear na Agricultura da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Mestre em
Ciências**

**Área de Concentração Biologia na Agricultura e
no Ambiente**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Martinelli

Piracicaba

2022

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Pecci Canisares, Luiza

Estoque de carbono e nutrientes no solo em áreas sob intensificação de pastagem e expansão de cana-de-açúcar no estado de São Paulo / Luiza Pecci Canisares; orientador Luiz Antonio Martinelli. - - Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

107 p.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Sustentabilidade 2. Qualidade do solo 3. Mudança no uso da terra 4. Impacto ambiental 5. Sequestro de carbono. I. Título

CDU 631.417.1 : 332.3

Elaborada por:

Marilia Ribeiro Garcia Henyei
CRB-8/3631

Resolução CFB N° 184 de 29 de setembro de 2017

DEDICATÓRIA

Aos meu pais, João Carlos e Sirlei por todo amor, dedicação, compreensão e por sempre apoiarem minhas decisões e meus sonhos. Ao meu irmão Lucas, por todo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências pela possibilidade de realização do curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa.

Ao Professor Luiz Antonio Martinelli pela orientação, dedicação à minha formação e principalmente pela amizade, carinho e inspiração como professor e ser humano. É imensurável minha gratidão por todos os ensinamentos profissionais e pessoais ao longo dessa jornada. Obrigada por ter aberto as portas do Laboratório de Ecologia Isotópica, e por ter me proporcionado oportunidades profissionais inesquecíveis.

Aos Professores do Laboratório de Ecologia Isotópica, Plínio de Camargo e Marcelo Moreira, pelos ensinamentos e convivência.

Aos técnicos do Laboratório de Ecologia Isotópica (LEI): Edmar, Fabiana, Isadora, Gustavo, Toninha e Geraldo.

A Sara, secretária do Laboratório de Ecologia Isotópica (LEI), por todo suporte e apoio.

À equipe da Unidade de Pesquisa de Desenvolvimento de Brotas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA): Érica, Nilson e Nave pelo apoio durante a realização das atividades. E à equipe da área experimental localizada em Salto de Pirapora, próxima ao campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR, Sorocaba, SP, Brasil).

Aos pós-doutorandos Eduardo Mariano, Adibe Luiz Abdalla Filho e Taciana Gomes pelos ensinamentos, convivência e pela contribuição para a realização deste trabalho e para minha formação.

Aos doutorandos e amigos Ana Claudia Batista, Rodrigo Figueiredo, Maria Gabriella, Lucas Reis e Maurício Cunha pelo companheirismo e apoio.

Às colegas de mestrado Carolina e Juliana pela amizade e suporte.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Isotópica (LEI): Carla Simon, Thais Diniz, Gabriela Medeiros, Fernanda Gaudio, Melissa Martinez.

As amigas que se tornaram minha família piracicabana. A Beatriz Martins pelo amor, cuidado e parceria nos momentos fáceis e difíceis. Sou grata por dividir comigo não só a vida, mas também as experiências da pós graduação. A Bianca pelo amor, carinho e por todos os momentos que dividimos até hoje.

Aos queridos amigos que mesmo a distância se fazem presente Beatriz, Luísa, Carolina, Vívian, Flávia, Gabriel e Vitória. Obrigada por toda paciência, amor e apoio.

A minha família pelo apoio e cuidado. Obrigada por sempre incentivarem meu crescimento profissional.

Aos meus avós Ivani, Hilda, Otávio e João (*in memoriam*) por todos os ensinamentos e lembranças mais puras que carrego. Sou imensamente grata por toda dedicação a minha formação pessoal e por compreenderem certa ausência causada pela distância.

A Giulia pelo companheirismo em todos esses anos. Obrigada por fazer parte da minha jornada.

Ao meu irmão Lucas por todo amor, apoio e cuidado. Te admiro e sou grata por toda ajuda pessoal e profissional. Obrigada por estar sempre comigo.

Aos meus pais João Carlos e Sirlei pelo amor e dedicação em qualquer circunstância. Vocês são meus maiores exemplos de vida, são minha alegria e sustentação. Meu amor por vocês não consegue ser traduzido em palavras. Carrego vocês em tudo que faço.

Muito obrigada!

RESUMO

CANISARES. L. P. **Estoque de carbono e nutrientes no solo em áreas sob intensificação de pastagem e expansão de cana-de-açúcar no estado de São Paulo**. 2022. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

A capacidade de adicionar carbono orgânico no solo, chamada de sequestro de carbono, vem sendo estudada como uma das formas de mitigação das mudanças climáticas. Esse processo aumenta os estoques do elemento no solo e pode ser decorrente de mudanças no uso e manejo da terra. O acúmulo não só de carbono, mas de outros nutrientes podem alterar atributos físicos e químicos do solo e podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo. Neste estudo, foi avaliado como o manejo e a mudança nos usos da terra afetaram os estoques de carbono e nutrientes do solo, os resultados foram comparados com suas respectivas áreas de vegetação nativa. Assim, esse trabalho fornece subsídios consistentes para auxiliar na avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Neste sentido, objetivo deste estudo foi investigar como os diferentes usos e manejos do solo influenciam a dinâmica dos nutrientes no solo, através de uma avaliação detalhada nos estoques de carbono, nitrogênio, cálcio, magnésio e potássio e no teor de fósforo orgânico. As etapas do trabalho compreenderam estimar os estoques de carbono e macronutrientes mencionados acima em solos sob vegetação nativa (VN) (floresta Ombrófila Semidecídua Estacional), cana-de-açúcar (CN), pastagem com baixa lotação animal (PE) e pastagem intensiva com alta lotação animal (PI) em duas áreas experimentais localizadas respectivamente na Unidade de Pesquisa de Desenvolvimento de Brotas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA, Brotas, SP, Brasil) e a segunda, localizada em Salto de Pirapora, próxima ao campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR, Sorocaba, SP, Brasil). Amostras de solo foram coletadas até 50 cm de profundidade. Em Brotas, os estoques de todos os elementos foram menores na floresta, com a mudança no uso da terra houve ganho de aproximadamente 19,7; 19,5 e 14 Mg ha⁻¹ de C, 1,6; 1,5 e 1,2 Mg ha⁻¹ de N, 1,4; 1,6 e 1,3 Mg ha⁻¹ de Ca, 0,8; 1,0 e 0,7 Mg ha⁻¹ de Mg e 0,3; 0,2 e 0,25 Mg ha⁻¹ de K, respectivamente nos tratamentos PE, PI e CN, em relação a vegetação nativa da área na camada de 0-50 cm. Em Salto de Pirapora, observamos o oposto, com a mudança no uso da terra a maioria dos estoques foram maiores na floresta, o saldo foi de aproximadamente 2,1; -2,4 e 4,5 Mg ha⁻¹ de C, 1,9; 1,3 e 1,8 Mg ha⁻¹ de N, 3,4; 3,1 e 2,5 Mg ha⁻¹ de Ca, 0,4; 0,16 e 0,2 Mg ha⁻¹ de Mg e 0,3; 0,08 e 0,25 Mg ha⁻¹ de K, respectivamente nos tratamentos PE, PI e CN, em relação a vegetação nativa da área na camada de 0-50 cm. A área de vegetação nativa localizada em Brotas sofreu perturbação, além disso, os solos das duas áreas experimentais são distintos, impossibilitando a comparação entre elas e dificultando a comparação dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Qualidade do solo. Mudança no uso da terra. Impacto ambiental. Sequestro de carbono.

ABSTRACT

CANISARES. L. P. **Soil carbon and nutrients stocks in areas under intensified pasture and expansion of sugar cane in São Paulo State**. 2022. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

The ability to store organic carbon into the soil, called carbon sequestration, has been studied as one of the ways to mitigate climate change. This process increases the element's stocks in the soil and may be affected by changes in land use and management. The accrual of not only carbon but other elements in the soil can alter the physical and chemical attributes of the soil and can be used as an indicator of soil quality. This study assessed how the management and change in land uses affect the carbon and nutrient stocks of the soil; the results were compared with their respective areas of native vegetation. Thus, this study provides consistent background to assist in assessing the sustainability of agricultural production systems. Therefore, the objective of this study was to investigate how the different land uses and managements influence the soil nutrients dynamics, through a detailed evaluation of carbon, nitrogen, calcium, magnesium, and potassium stocks and organic phosphorus content. This work aimed to estimate the carbon and macronutrient stocks in soils under native vegetation (VN) (Ombrophylous Semideciduous Seasonal Forest), sugarcane (CN), low-input pastures (PE), and intensive pasture with high animal stocking (PI) in two experimental areas located respectively in the Research and Development Unit of Brotas, of the Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA, Brotas, SP, Brazil); the second, located in Salto de Pirapora, near the campus of the Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR, Sorocaba, SP, Brazil). Soil samples were collected up to 50 cm deep. In Brotas, all of the element's stocks were lower in the forest, with the change in land use there was an increase of approximately 19,7; 19,5 and 14 Mg ha⁻¹ of C, 1,6; 1,5 and 1,2 Mg ha⁻¹ of N, 1,4; 1,6 and 1,3 Mg ha⁻¹ of Ca, 0,8; 1,0 and 0,7 Mg ha⁻¹ of Mg and 0,3; 0,2 and 0,25 Mg ha⁻¹ of K, respectively in the PE, PI, and CN treatments, compared to the native vegetation of the area in the 0-50 cm. In Salto de Pirapora, was observed the opposite pattern, with the change in land use most of the stocks were higher in the forest and the balance was approximately 2,1; -2,4 and 4,5 Mg ha⁻¹ of C, 1,9; 1,3 and 1,8 Mg ha⁻¹ of N, 3,4; 3,1 and 2,5 Mg ha⁻¹ of Ca, 0,4; 0,16 and 0,2 Mg ha⁻¹ of Mg and 0,3; 0,08 and 0,25 Mg ha⁻¹ of K, respectively in the PE, PI, and CN treatments, compared to the native vegetation of the area in the 0-50 cm. The area of native vegetation located in Brotas has suffered disturbance, in addition, the soils of the two experimental areas are different, making it impossible to compare them and making it difficult to compare the results obtained.

Keywords: Sustainability. Soil quality. Land use change. Environmental impact. Carbon sequestration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ranking - Agricultura - Valor da produção (2020).....	25
Figura 2 – Mapa de localização da Unidade de Pesquisa de Desenvolvimento de Brotas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA, Brotas, SP, Brasil) e da área experimental localizada em Salto de Pirapora, próxima ao campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR, Sorocaba, SP, Brasil).....	32
Figura 3 – Croqui da Unidade de Pesquisa de Desenvolvimento de Brotas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA, Brotas, SP, Brasil).....	34
Figura 4 – Croqui da área experimental localizada em Salto de Pirapora, próxima ao campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR, Sorocaba, SP, Brasil).....	34
Figura 5 – Método de coleta das amostras indeformadas de solo, por meio de trado de Uhland, para determinação da densidade do solo.	36
Figura 6 – Modelo dos gráficos de diferença entre as médias.....	39
Figura 7 – Gráfico de estoque de carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.	43
Figura 8 – Gráfico de estoque de carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020... ..	44
Figura 9 – Gráfico de estoque carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.	46
Figura 10 – Gráfico de estoque carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.....	47
Figura 11 – Gráfico de estoque de nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020	49
Figura 12 – Gráfico de estoque de nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora /SP no ano de 2020	50
Figura 13 – Gráfico de estoque nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.	52

- Figura 14 – Gráfico de estoque de nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora /SP no ano de 2020..... 53
- Figura 15 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020 55
- Figura 16 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora /SP no ano de 2020..... 56
- Figura 17 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020. 58
- Figura 18 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020 59
- Figura 19 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020..... 61
- Figura 20 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020..... 62
- Figura 21 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020..... 64
- Figura 22 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020..... 65
- Figura 23 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020..... 67
- Figura 24 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020..... 68
- Figura 25 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020..... 70

Figura 26 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020 71

Figura 27 – Gráfico do teor de fósforo orgânico no solo e de diferença entre médias, em relação a mata nativa, na profundidade de 0-10 cm na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020 73

Figura 28 – Gráfico do teor de fósforo orgânico no solo e de diferença entre médias, em relação a pastagem extensiva, na profundidade de 0-10 cm na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria do solo nas áreas experimentais (Brotas e Salto de Pirapora).....	41
Apêndice A - Caracterização química do solo nas diferentes parcelas experimentais (Pastagem extensiva, Pastagem intensiva, Cana-de-açúcar e Floresta).	93
Apêndice B - Análise granulométrica do solo das áreas experimentais (Brotas e Salto de Pirapora)	99
Apêndice C - Tabela das diferenças entre as médias utilizando a “Floresta” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.	100
Apêndice D - Tabela das diferenças entre as médias utilizando a “Pastagem Extensiva” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.	102
Apêndice E - Tabela dos valores de distância de Cohen (d) utilizando a “Floresta” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.	104
Apêndice F - Tabela dos valores de distância de Cohen (d) utilizando a “Pastagem Extensiva” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C: Carbono

Ca: Cálcio

K: Potássio

Mg: Magnésio

N: Nitrogênio

P: Fósforo

UA: Unidade Animal

GEE: Gases do efeito estufa

MOS: Matéria orgânica do solo

IC: Intervalo de Confiança

d: Distância de Cohen

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 Expansão da cana de açúcar no Brasil	24
2.2 Intensificação das pastagens brasileiras	26
2.3 Dinâmica de carbono e nutrientes no solo.....	27
2.4 Mudanças no uso da terra	29
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Áreas experimentais	31
3.2 Delineamento e caracterização experimental	32
3.3 Amostragem de solo	35
3.4 Preparo de amostras e análises laboratoriais.....	36
3.5 Cálculos	36
3.6 Análises estatísticas.....	38
4. RESULTADOS.....	41
4.1 Características físicas do solo	41
4.2 Estoque de carbono no solo	42
4.3 Estoque de nitrogênio no solo.....	48
4.4 Estoque de cálcio no solo	54
4.5 Estoque de magnésio no solo.....	60
4.6 Estoque de potássio no solo	66
4.7 Fósforo orgânico no solo	72
5. DISCUSSÃO	75
6. CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICES.....	91

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e o maior produtor de açúcar, além de possuir um dos maiores rebanhos de ruminantes, responsável por grande parte da produção mundial de carne (IBGE, 2018). Estas atividades agropecuárias são de extrema importância para o país uma vez que previsões apontam para um aumento na demanda mundial por biocombustíveis de fontes renováveis em substituição aos fósseis (Goldemberg et al., 2014; Otto et al., 2016) e no consumo de produtos derivados da pecuária em países emergentes (Godde et al., 2018).

A produção pecuária brasileira é baseada na utilização extensiva de pastagens, ocupando uma área 170 milhões de ha (Souza Junior et al., 2020), em sua maioria estabelecidas com gramíneas pertencentes ao gênero *Urochloa* (Gracindo et al., 2014), que em grande parte não são manejadas adequadamente e a maioria das pastagens no país apresenta algum nível de degradação, comprometendo assim a rentabilidade e sustentabilidade da atividade (Silva et al., 2017). Por outro lado, em termos de sustentabilidade, a cana-de-açúcar é uma das matérias-primas com maior capacidade de produção de bioetanol e energia pela queima de resíduos (Miller, 2010). Diante da demanda global por biocombustíveis, a cana-de-açúcar ocupa uma área que expandiu de 5,8 para 8,1 milhões de ha nos últimos quinze anos no território brasileiro (Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, 2022).

Por suas características territoriais e disponibilidade de recursos naturais, o Brasil é capaz de atender a demanda mundial por produtos alimentícios e biocombustíveis, sem exercer pressão extra sobre a vegetação natural dos biomas terrestres e competir por áreas agricultáveis ocupadas com outras culturas ou atividades agropecuárias (Smith et al., 2010). A intensificação das pastagens nas áreas já existentes e a conversão de áreas de pastagens degradadas em lavouras de cana-de-açúcar são potenciais opções (Alkimim et al., 2015; Godde et al., 2018). Entretanto, algumas etapas dessa intensificação e mudanças no uso da terra podem causar maior suscetibilidade a degradação do solo, redução da biodiversidade, utilização pouco sustentável de água, lixiviação de nutrientes para rios e cursos d'água, além de aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE; Tilman et al., 2011; Cherubin et al., 2016; Godde et al., 2018). Assim, torna-se necessário o monitoramento dos impactos ambientais da intensificação de pastagens e a conversão de pastagens degradadas em cana-de-açúcar, para avaliar a sustentabilidade destas atividades.

Por esse motivo o Projeto Temático FAPESP #2015/18790-3 “Consequências ambientais da conversão pastagem-cana-de-açúcar e intensificação de pastagens” avaliou diversas variáveis importantes em relação a sustentabilidade de produção de determinados sistemas.

Por ser o maior reservatório terrestre de carbono orgânico, e uma parte desse carbono ser lábil a curto e médio prazo, o solo pode agir como fonte ou sumidouro de carbono, a depender de seu manejo durante o cultivo (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC). Ainda que o solo tenha uma capacidade limitada no sentido de retirar carbono da atmosfera (Schlesinger; Amundson, 2019), é importante reconhecer que o solo tem um papel relevante em uma agricultura denominada de baixo carbono, cujo paradigma é minimizar as emissões de gases causadores do efeito estufa e maximizar sua retenção nos solos cultivados (Gütschow et al., 2017; IPCC, 2013).

Ainda que no Brasil diversos estudos foram feitos, incluindo a conversão nativa-pastocana, apontando para uma redução nos estoques de C durante essa conversão (Bordonal et al., 2017; Assad et al., 2013; Alkimi e Clarke, 2018; Mello et al., 2014; Galdos et al., 2009; Medeiros et al., 2022), pouco se conhece sobre a variação de nutrientes importantes como nitrogênio (N) e fósforo (P), além de cátions básicos como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) (Cherubin et al., 2015, Cherubin et al., 2016) durante esse mesmo processo de conversão e no processo de intensificação de pastagens.

O N e o P assumem um papel relevante na cultura de cana-de-açúcar por dois motivos: a produtividade depende sobremaneira sobre esses dois nutrientes e o preço dos fertilizantes é um dos maiores custos dessa lavoura. Por outro lado, a aplicação inadequada de fertilizantes pode levar a danos ambientais importantes (Filoso et al., 2015; Snyder et al., 2009; Springmann et al., 2018; Withers et al., 2019). Além desses aspectos, a dinâmica do nitrogênio afeta sobremaneira os destinos do carbono no contínuo solo-planta-atmosfera por dois motivos principais: (i) aumentar o estoque do elemento pelo aumento na produção de biomassa vegetal; e (ii) acelerar a mineralização de C e N pela entrada de N mineral, que é requerido pela biomassa microbiana (Mariano et al., 2016).

Portanto, investigações que contribuam na melhoria da eficiência de uso desses nutrientes pelas culturas pertinentes a este estudo seriam de extremamente importantes. Como ressaltado por Soltangheisi et al. (2020), considerando-se somente o P, o correto manejo desse insumo através de práticas de simples implementação pelos agricultores trariam ganhos econômicos significativos para o agricultor e para o país, uma vez que boa parte dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados são importados, tendo preço atrelado ao dólar americano.

Mediante as considerações acima, o objetivo principal deste estudo é investigar como os diferentes usos e cobertura do solo influenciam a dinâmica de elementos no solo, através de uma avaliação detalhada nos estoques de carbono, nitrogênio e fósforo, além de outros macronutrientes de importância agrícola, tais quais: cálcio, magnésio e potássio. Assim, as etapas de trabalho compreenderam estimar os estoques de carbono e macronutrientes mencionados acima em solos sob vegetação nativa (floresta Ombrófila Semidecídua Estacional), cana-de-açúcar e pastagem com baixa lotação animal e pastagem intensiva com alta lotação animal.

De forma geral, a hipótese principal deste estudo é que quando bem manejadas, pastagens intensificadas e lavouras de cana-de-açúcar atendem à demanda por produtos animais e biocombustíveis, sem reduzir os estoques dos elementos no solo em comparação a área de vegetação nativa (Guo; Gifford, 2002; Ogle et al., 2005; Zinn et al., 2005; Braz et al., 2013). No entanto, para facilitar a discussão, foram elaboradas hipóteses secundárias relacionadas a cada um dos elementos. Em relação ao carbono, apesar da hipótese principal, ainda se espera que o estoque desse elemento seja maior nas áreas de vegetação nativa (Davidson; Ackerman, 1993; Amundson, 2001; Guo; Gifford, 2002; Ogle et al., 2005; Baker et al., 2007; Don et al., 2011; Ecclesia et al., 2012), seguido pelos tratamentos sob pastagem extensiva. Esse comportamento é esperado devido a exposição da matéria orgânica do solo causada pelo revolvimento no preparo do solo para a implantação e manejo da produção agrícola. A hipótese em relação ao nitrogênio é a de que mesmo com as entradas de N pela fertilização nos tratamentos sob pastagem intensiva e cana-de-açúcar, pode existir um possível aumento da perda de nitrogênio nessas áreas na forma gasosa (N_2O) (Bento et al., 2018), pela lixiviação e exportação desse elemento pelas culturas (Groppo et al., 2015). Juntando esses fatores, também se espera uma queda no estoque de N nas áreas agrícolas. Em relação ao cálcio e ao magnésio, espera-se um comportamento parecido, ou seja, que os estoques dos tratamentos sob pastagem intensiva e cana-de-açúcar (que passaram pelo preparo de solo para incorporação do calcário) sejam maiores que os estoques na área de vegetação nativa (Cherubin et al., 2015). O potássio é um dos elementos adicionados ao solo através da adubação nos tratamentos sob pastagem intensiva e cana-de-açúcar, por isso, espera-se que os estoques desse elemento sejam maiores nesses dois tratamentos em comparação a pastagem extensiva e a área de vegetação nativa. Assim como o N e o K, o fósforo também é adicionado na adubação. Nesse estudo optou-se por considerar apenas o fósforo orgânico na camada superficial (0-10 cm), que está intimamente ligado a matéria orgânica do solo. Com isso, a hipótese é que a área sob vegetação nativa possua maior teor desse elemento, seguida da pastagem extensiva.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Expansão da cana de açúcar no Brasil

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) do mundo. O país foi responsável pela produção de 654,5 milhões de toneladas destinados a produção de etanol e açúcar (Conab, 2022). Historicamente, o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil se iniciou no século XVI e ainda hoje, a produção de cana vem se expandindo, tanto pela necessidade de biocombustíveis quanto por questões ambientais, políticas e econômicas (Lapola et al., 2010; Lapola et al., 2014; Goldemberg et al., 2014; Hernandez et al., 2014).

Um dos grandes programas brasileiros de incentivo a produção de etanol, o Proálcool, o Programa Nacional de Álcool Combustível foi criado em 1975 com intenção de reduzir a dependência nacional em larga escala dos derivados de petróleo importados. Assim, o Proálcool foi um dos impulsionadores da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e essa expansão é considerada uma das principais mudanças no uso da terra na região centro-sul brasileira (Lapola et al., 2010; Lapola et al., 2014; Goldemberg et al., 2014; Walter et al., 2014).

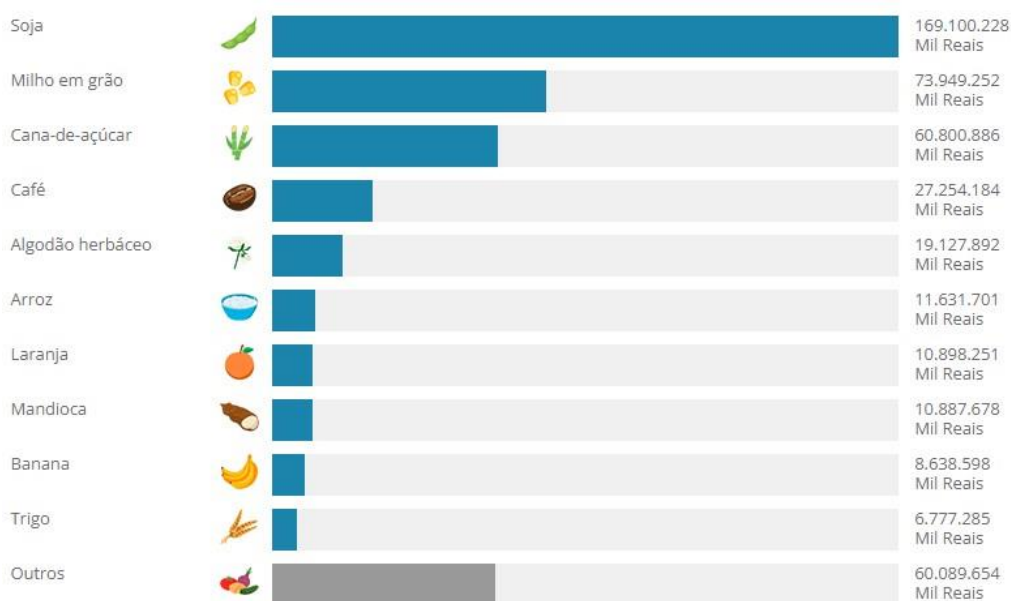
A demanda por fontes de energia renováveis cresceu muito nos últimos anos. Principalmente em função da grande preocupação com as consequências geradas pela queima de combustíveis fósseis relacionadas às mudanças climáticas, como o aumento da concentração atmosférica de CO₂. Como já se sabe, o aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa (GEEs) é o fator que contribui para o agravamento do aquecimento global e conseqüentemente das mudanças climáticas. Com o intuito de reduzir o uso de combustíveis provenientes de fontes não renováveis, o etanol da cana-de-açúcar se tornou uma das principais alternativas (Goldemberg et al., 2014; Otto et al., 2016; Miller, 2010).

Esse biocombustível é considerado uma excelente alternativa por ser gerado através da cana-de-açúcar. O cultivo agrícola da cana, através da fotossíntese, retira CO₂ da atmosfera, transformando-o em biomassa para ser utilizada como fonte na produção do biocombustível. Assim, com a crescente preocupação ambiental, a demanda global por combustível de fonte renovável cresceu aceleradamente, gerando necessidade de expansão e intensificação do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil (Bento et al., 2018).

Nosso país possui muitas vantagens nesse cenário devido ao vasto território, aos recursos hídricos e condições climáticas favoráveis a atividade. Hoje o Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar e o maior produtor de açúcar do mundo. Na safra de 2020/21 o país foi responsável pela produção de 654,5 milhões de toneladas (Conab, 2022). Dentro da produção nacional, a cana-de-açúcar é a terceira cultura mais importante em relação ao valor

da produção (Figura 1), ficando atrás apenas do cultivo de soja e de milho. Em relação a quantidade produzida, a cana ocupa o primeiro lugar no ranking (IBGE, 2020). No período entre 2005 e 2022, a Conab prevê um aumento de 29,78% de área colhida de cana-de-açúcar no Brasil. Evidenciando ainda mais a importância nacional da cultura e a expansão da área de produção.

Figura 1 - Ranking - Agricultura - Valor da produção (2020)



Fonte: IBGE, 2022.

A crescente necessidade de expansão traz consigo consequências que devem ser criticamente avaliadas para um melhor monitoramento da real sustentabilidade da produção desse biocombustível. Visto que esse processo não deve exercer pressão sob áreas de preservação por exemplo, já que o desmatamento de áreas nativas além de ser danoso para a biodiversidade, é um dos fatores que mais influencia o agravamento do aquecimento global (Fearnside, 1996). Porém, um dos grandes problemas do cultivo da cana-de-açúcar é a degradação do solo causada pela erosão e compactação (Martinelli; Filoso, 2008). Os solos expostos são suscetíveis a perda de nutrientes através da chuva/ventos e a entrada de máquinas agrícolas pesadas associadas às operações de cultivo e colheita compactam o solo e causam danos as suas propriedades físicas, diminuindo a infiltração de água e aumentando ainda mais a erosão (Cerri et al., 1991, Oliveira et al., 1995, Silva; Ribeiro, 1997, Silva et al., 1998, Ceddia et al., 1999, Fiorio et al., 2000, Prado; Centurion, 2001). Assim, a intensificação das mudanças no uso da terra causa preocupação em relação a degradação da qualidade física do solo e claro,

em relação as implicações negativas na função do ecossistema (Gasparatos et al., 2011; Fu et al., 2015).

Por isso, é fundamental avaliar os aspectos positivos e negativos das mudanças no uso da terra. Para que a produção seja realmente vantajosa não só para atender a demanda, mas que também seja sustentável em relação aos impactos ambientais, deve-se avaliar as consequências das mudanças no uso da terra agrícola, que precisam ser acompanhadas de um manejo adequado para que não comprometam a segurança alimentar da crescente população e não causem a redução nos estoques de nutrientes do solo ou aumentem a emissão de gases do efeito estufa.

2.2 Intensificação das pastagens brasileiras

Os sistemas sob pastagens cobrem aproximadamente 40% da superfície terrestre (White et al., 2000). Além de serem importantes para o setor de alimentos, as pastagens também podem atuar como sumidouros de carbono, visto que armazenam cerca de um terço dos estoques globais de carbono terrestre (Bai; Cotrufo, 2022). Assim como os demais cultivos, as pastagens são altamente vulneráveis aos manejos e podem sofrer mudanças drásticas em relação a suas funções ecossistêmicas reduzindo seu potencial de armazenamento de carbono.

A pecuária é um dos setores que também vem crescendo ao longo dos últimos anos, não somente pelo aumento populacional mundial, mas também devido a mudança dos hábitos alimentares dos países emergentes. O Brasil possui um dos maiores rebanhos de ruminantes e é um dos países responsáveis por grande parte da produção mundial de carne (IBGE, 2018). No entanto, a pecuária brasileira em sua maior parte é instalada sob pastagens extensivas (Souza Junior et al., 2020), ou seja, com baixa aplicação de insumos e lotação animal. Essas pastagens, por não apresentarem um manejo adequado, apresentam-se muito degradadas, o que gera prejuízos não apenas para o produtor, mas também para a sustentabilidade da produção.

Esse setor vem sendo associado a muitas questões ambientais como o desmatamento e o agravamento das mudanças climáticas por exemplo (Foley et al., 2005; Butler et al., 2007, Tilman et al., 2011). Com isso, cresce o interesse e a necessidade de conduzir essa atividade de forma mais sustentável. Assim, com intuito de aumentar a produtividade desse setor para atender a demanda sem comprometer a sustentabilidade da atividade é necessário mudanças no manejo das pastagens. O processo de intensificação das pastagens brasileiras se tornou uma das grandes alternativas para reduzir o dilema entre a produtividade versus sustentabilidade da pecuária.

Apesar de ser uma alternativa interessante, não se pode desconsiderar que a intensificação de pastagens também pode ter consequências negativas para o meio ambiente. A degradação do solo pode ser um dos prejuízos provenientes desse processo. Outra grande consequência da intensificação das pastagens é o aumento da aplicação de fertilizantes que mesmo favorecendo a produtividade podem aumentar a emissão de gases do efeito estufa, os fertilizantes a base de nitrogênio, por exemplo, aumentam a produção de óxido nitroso (Bento et al., 2018; Reay et al., 2012) que é um dos principais GEE por ter um potencial de aquecimento global 298 vezes maior do que o do dióxido de carbono, conseqüentemente, essas emissões podem reduzir parte dos benefícios relacionados ao sequestro de carbono no solo. Por isso, esse processo deve ser acompanhado e atrelada a tecnologia para que se possa produzir de forma sustentável.

2.3 Dinâmica de carbono e nutrientes no solo

A cada ano grande quantidade carbono na forma de dióxido de carbono (CO₂) e de outros gases de efeito estufa é liberada para a atmosfera proveniente de processos antropogênicos. As emissões de GEE aumentaram ao longo da última década, atingindo aproximadamente 59 Gt de CO₂ equivalente em 2019, 12% a mais que em 2010 e 54% a mais que em 1990 (IPCC, 2022). A quantidade de carbono armazenada no solo é quatro vezes maior do que a presente na atmosfera (Sabine et al., 2004), ou seja, com um manejo adequado pode ser possível aumentar o teor de carbono armazenado no solo resultando, assim, no sequestro de parte do dióxido de carbono presente na atmosfera.

A matéria orgânica do solo faz parte do ciclo do carbono e de outros nutrientes, por isso, é importante conhecer a dinâmica da matéria orgânica do solo e desses elementos no solo para analisar possíveis formas de reduzir a emissão de GEE de atividades antropogênicas e sequestrar carbono no solo. As mudanças no uso da terra podem alterar a dinâmica da matéria orgânica do solo (Bordonal et al., 2017; Assad et al., 2013; Alkimin e Clarke, 2018; Mello et al., 2014; Galdos et al., 2009; Medeiros et al., 2022). O processo de preparo do solo, por exemplo, pode expor essa fração resultando na decomposição rápida de parte dessa matéria orgânica, e esse processo gera o retorno de parte do carbono retido no solo para a atmosfera através da emissão de CO₂ pela respiração microbiana no solo. Visto isso, é de interesse geral o investimento em uma produção que auxilie o acúmulo de carbono no solo e isso pode ser garantido através da utilização de boas práticas agrícolas.

Além do carbono, a maior parte do nitrogênio do solo se encontra na forma orgânica (Bortolon et al., 2009). O nitrogênio é o nutriente mais limitante para o crescimento das plantas na maioria dos solos agrícolas do mundo, por isso, a produção agrícola mundial depende fortemente de entradas de N no sistema (Muchovej; Rechcigl, 1994). A adição de nitrogênio no solo poder ser proveniente de diversos processos como da deposição atmosférica, de fonte animal, fixação biológica, adubação verde ou adubação via fertilizantes minerais, por exemplo. No solo, 95% do nitrogênio encontra-se na forma orgânica, embora em quantidades bem menores o N também podem estar presente na forma de NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ . O ciclo desse elemento no solo envolve processos importantes como amonificação, nitrificação, desnitrificação que destinam a “função” que o N desempenhará.

Há diversos estudos que comprovam a eficiência da fertilização no aumento da produtividade de pastagens e outras culturas, no entanto, é preciso ter compreensão do potencial dos impactos ambientais envolvidos. Alguns estudos inclusive relatam uma diminuição nos estoques de nitrogênio no solo com cultivo em várias áreas adubadas com N do Brasil e sob diferentes sistemas de cultivo (Lima et al., 2011; Fracetto et al., 2012; Barros et al., 2013; Sacramento et al., 2013; Cardoso et al., 2010; Silva et al., 2011; Guareschi et al., 2012; Sisti et al., 2004; Santana et al., 2013; Sá et al., 2013). Por isso, é fundamental conhecer a dinâmica dos nutrientes no solo, para que o aporte de nutrientes e o manejo do solo contribuam para a produtividade sem gerar impactos negativos ao meio ambiente.

O fósforo também é um dos nutrientes adicionado nos sistemas agrícolas através da fertilização. Conhecer a dinâmica desse elemento é importante pois boa parte do fósforo do solo fica adsorvido em óxidos e argilominerais indisponíveis para as plantas, além disso, o P não possui uma fase gasosa (como o nitrogênio, por exemplo), isso torna o fósforo menos móvel no sistema (Walker; Syers, 1976). Assim, quando se adiciona P através de fertilizantes, a concentração do elemento aumenta na superfície do solo, mas também possibilita a perda através da erosão do solo e escoamento superficial (Messiga et al., 2013). Portanto, as práticas agrícolas como o plantio direto (Pavinatto et al., 2009), têm o potencial de aumentar a concentração de fósforo no solo e, conseqüentemente, os estoques de fósforo no solo (Tiessen et al., 1982; Tiessen; Stewart, 1983; Ball-Coelho et al., 1993; Aguiar et al., 2013).

Ao contrário do fósforo, o potássio é um dos elementos que apresenta alta mobilidade no solo. O potássio pode estar presente no solo nas formas solúvel, trocável, não trocável e mineral. Mesmo que as formas solúveis e o K^+ trocável sejam considerados as duas formas disponíveis, o potássio não trocável e o estrutural também podem ser disponibilizados para as

plantas (Malavolta, 1985). No entanto, os sistemas de cultivo agrícola podem perder esse nutriente facilmente através da lixiviação e erosão dos solos devido à alta mobilidade.

Já o cálcio e o magnésio estão intimamente ligados ao processo de correção do solo. Nos solos agrícolas, o processo de acidificação pode ser acelerado pela adição de certos fertilizantes, sendo necessário a correção do solo com certa frequência. A calagem é a prática mais utilizada pelos produtores para corrigir a acidez do solo, além de aumentar a disponibilidade de cálcio e magnésio e reduzir a concentração do alumínio que pode ser tóxico para as plantas e suprimir o crescimento radicular (Sena et al., 2010). Por isso, considerando que o preparo de solos tropicais envolve calagem, esses dois elementos podem estar mais disponíveis no sistema intensivamente manejado.

2.4 Mudanças no uso da terra

Durante toda a evolução da agricultura, diversos padrões de produção foram alterados de acordo com as necessidades dos produtores e dos consumidores. Em muitos países tropicais, é comum observar a competição entre a agricultura e os biomas naturais (Andrade de Sá et al., 2013). O desmatamento e as mudanças no uso da terra para produção agrícola podem exercer um efeito negativo sobre a vegetação nativa ao causar perda de biomassa e de carbono orgânico do solo, redução na fertilidade do solo e ao contribuir para as emissões de gases do efeito estufa (Foley et al., 2005; Davidson et al., 2012; Tilman et al., 2011; Cherubin et al., 2016; Godde et al., 2018; Mello et al., 2014; Franco et al., 2015a; Cherubin et al., 2015a). Além disso, de acordo com a ONU a população mundial em 2050 será superior a 9,7 bilhões e este crescimento deve aumentar a demanda por alimentos, fibra e energia. Assim, cresce também a necessidade de aumentar a produção agrícola e conseqüentemente, cresce a procura por espaço/terra para produzir de acordo com a demanda.

Com a crescente necessidade de aumentar a produção agrícola, cresce a pressão sobre os biomas naturais e a dependência da intensificação dos processos. Tanto o desmatamento quanto a intensificação agrícola podem contribuir para atender a demanda pelos produtos, no entanto, os impactos ambientais podem ser severos. A exposição e o revolvimento do solo previamente ocupado por vegetação nativa causam perdas de carbono e nutrientes através da decomposição da matéria orgânica e da erosão/lixiviação. Essa redução nos teores e estoques de nutrientes afetam a qualidade química do solo e é importante ressaltar também, a forma em que esses elementos são perdidos. Alguns deles são emitidos em forma de gases como CO₂,

N₂O e CH₄, os quais são os principais gases do efeito estufa (Estavillo et al., 2002; Houghton, 2003; Fearnside et al., 2009).

Vale lembrar que o desmatamento não é o único responsável por essas perdas. As mudanças no uso da terra também afetam a dinâmica dos principais elementos presentes no solo. A transição de culturas através de um manejo não adequado pode causar consequências semelhantes, o preparo de solo, plantio e a fertilização de forma inadequada podem acelerar a emissão dos GEE (Degaspari et al., 2020; Bento et al., 2018). Aproximadamente um quarto das emissões desses gases resultam do desmatamento, produção agrícola e fertilização (Burney et al., 2010). Por isso, compreender os possíveis impactos ambientais futuros que essas mudanças no uso da terra podem gerar requer avaliações críticas das práticas de produção e manejo. Somente assim será possível atender a demanda sem exercer pressão negativa sobre meio ambiente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

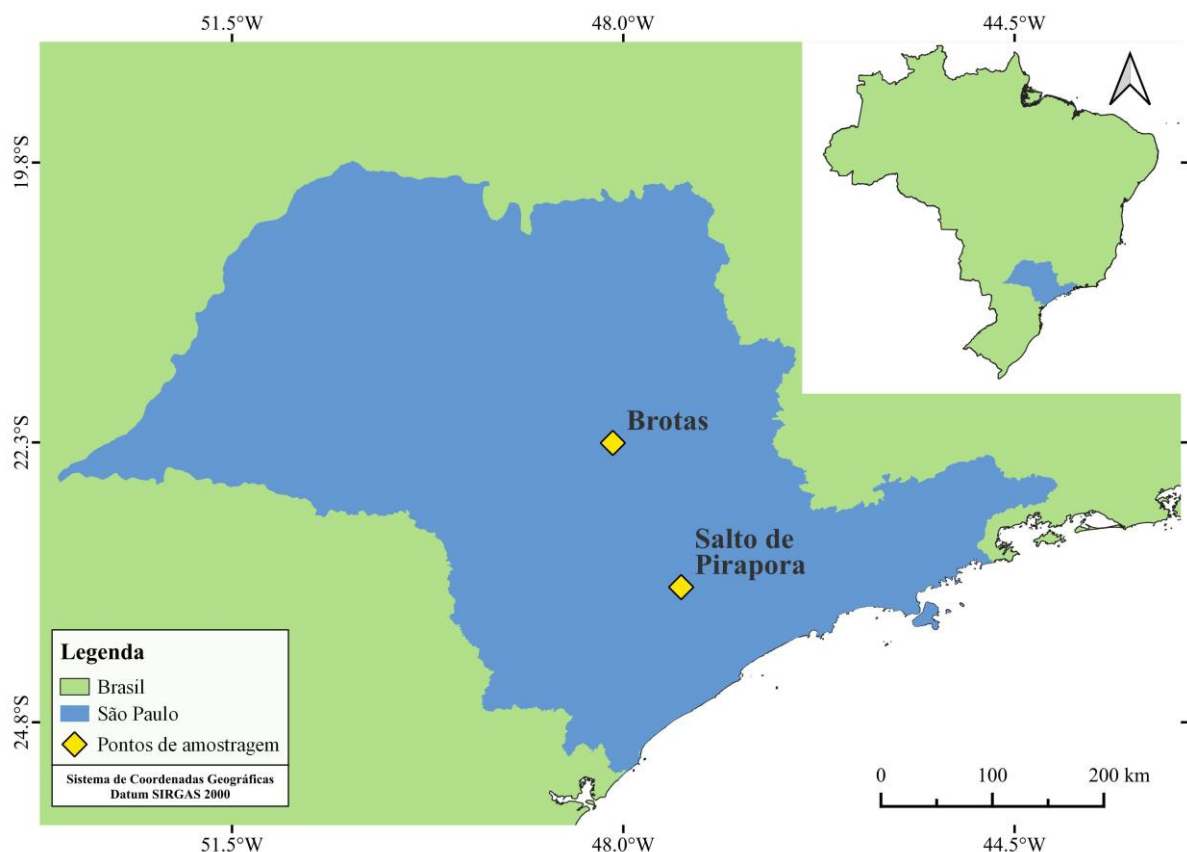
3.1 Áreas experimentais

Com intuito de avaliar o potencial de sequestro de C e nutrientes de solos com diferentes usos e coberturas, foram realizadas coletas de solo em duas áreas experimentais nas cidades de Brotas e Salto de Pirapora, localizadas no interior do estado de São Paulo, Brasil, que são áreas experimentais utilizadas pelo Projeto Temático FAPESP 2015/18790-3.

Em cada uma dessas áreas, foram estabelecidas pelo Projeto Temático cinco parcelas com áreas de 0,25 ha cada, totalizando, 1,25 ha de pastagem com baixa lotação que por facilidade será denominada daqui por diante como “pastagem extensiva”, 1,25 ha de pastagem com alta lotação de animais, a qual foi renovada e recebeu insumos agrícolas como calagem e adubação apropriada para receber um número maior de animais por área, que daqui por diante será denominada “pastagem intensificada” e 1,25 ha de cana-de-açúcar que foi plantada há quatro anos a partir de pastagens extensivas existentes em cada área. Também em localidades próximas à cada área experimental, para fins de comparação de diferentes cobertura e uso da terra, foram coletadas amostras de solo em floresta que nunca foram transformadas em outra cobertura, mas que sofreram diferentes níveis de perturbação, como é habitual no Estado de São Paulo.

As áreas experimentais estão localizadas respectivamente na Unidade de Pesquisa de Desenvolvimento de Brotas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA, Brotas, SP, Brasil); a segunda, localizada em Salto de Pirapora, próxima ao campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil). A área localizada em Brotas (22° 17' 02" S; 48° 07' 37" O) apresenta altitude de 650 m, temperatura média anual de 21,6°C e precipitação média anual de 1322 mm. O clima é classificado como Cwa de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). O solo do local é arenoso e classificado como Neossolo Quartzarênico distrófico (NQd). A área localizada em Salto de Pirapora (23° 30' 07" S; 47° 27' 28" O) situa-se a uma altitude de ~600 m, temperatura média anual de 21,4°C e precipitação média anual de 1300 mm, sendo o clima classificado como Cfa (Alvares et al., 2013). O solo apresenta textura muito argilosa e é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe).

Figura 2 – Mapa de localização da Unidade de Pesquisa de Desenvolvimento de Brotas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA, Brotas, SP, Brasil) e da área experimental localizada em Salto de Pirapora, próxima ao campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR, Sorocaba, SP, Brasil)



Fonte: Araújo, 2022.

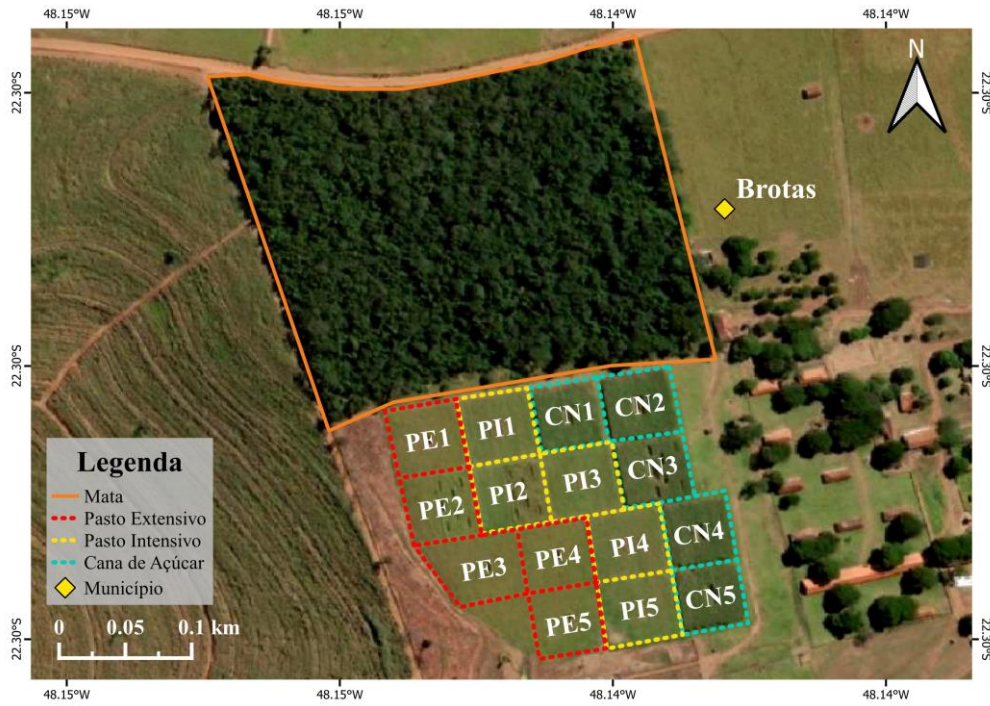
3.2 Delineamento e caracterização experimental

Em cada propriedade, como mencionado anteriormente, 15 parcelas de área igual a 0,25 ha foram delimitadas para estabelecer os três tratamentos com cinco repetições, dentre elas: cinco parcelas continuaram como pastagens degradadas (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), sem adição de qualquer insumo, com taxa de lotação de 0,9 UA ha⁻¹ (pastagem extensiva). Outras cinco parcelas de pastagem foram intensificadas com a utilização de cultivares mais produtivos (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), utilização de insumos agrícolas e manejo do pastejo, com taxa de lotação prevista de 2,5 UA ha⁻¹ (Euclides et al., 2014). As demais parcelas foram então convertidas em cana-de-açúcar. Em Brotas, foi plantada a cultivar IAC SP 97-4039, enquanto em Salto de Pirapora plantou-se a cultivar RB 86-7515.

Após a instalação do experimento, em outubro de 2018, foram realizados os respectivos manejos adequados para cada tratamento. Na pastagem extensiva, não houve aplicação de nenhum tipo de fertilizante nem corretivos do solo, e o manejo do pastejo foi contínuo ao longo

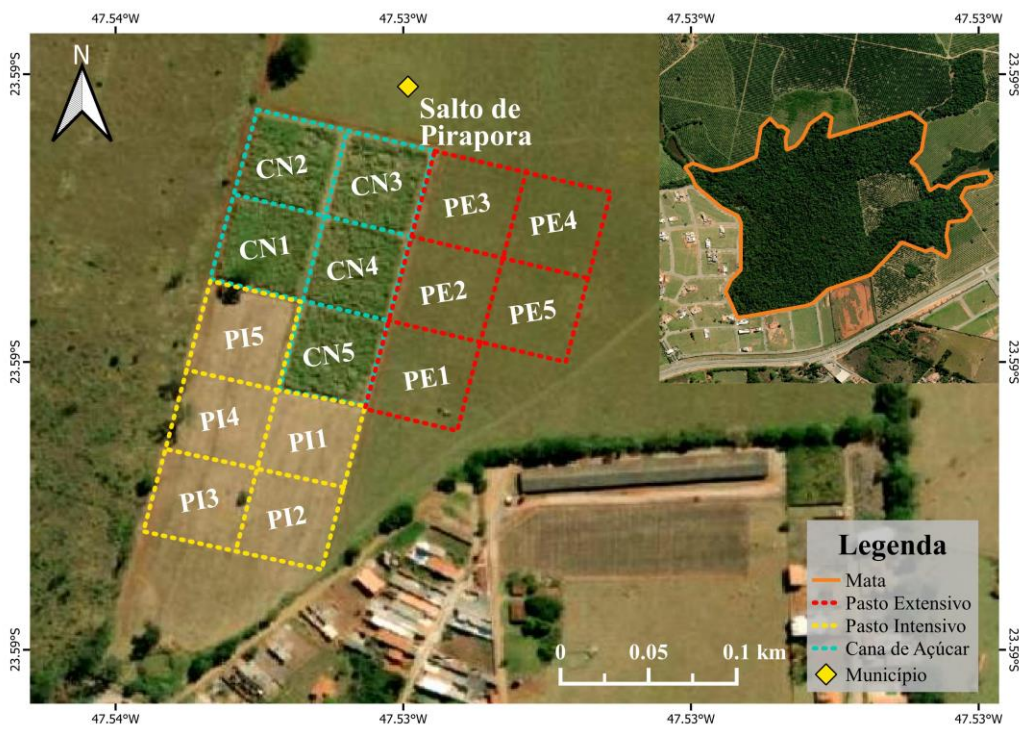
do ano, com média de 0,9 UA ha⁻¹. Nas parcelas com pastagem intensificada, foi realizado o preparo do solo (aração e gradagem) para incorporação de calcário (2 Mg ha⁻¹ em Brotas e 1 Mg ha⁻¹ em Salto de Pirapora; van Raij et al.,1996). O plantio da pastagem (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) foi realizado por uma plantadeira com espaçamento entre linhas de 0,17 m e taxa de 10 kg de sementes por hectare. O manejo utilizado nessas parcelas foi intermitente com 2,5 UA ha⁻¹. O pastejo inicia-se com 95% de interceptação de luz pelo pasto (medido usando um ceptômetro) e termina quando a altura do pasto se reduz a 20 cm. Além disso, aplicou-se os fertilizantes nitrato de amônio (N), superfosfato simples (P) e cloreto de potássio (K) nas doses de 160 kg N ha⁻¹, 27 kg P ha⁻¹ e 23 kg K ha⁻¹, respectivamente. O fertilizante nitrogenado foi aplicado quatro vezes ao longo do ano, com manutenção da dose de N (quatro vezes de 40 kg N ha⁻¹). Para a safra 2019-2020, foram aplicados 103, 74 e 81 kg ha⁻¹ de N, P e K em aplicação única, sem parcelamento. No caso das parcelas com cana-de-açúcar, o preparo de solo e a aplicação de calcário foram semelhantes ao realizado na pastagem intensificada. O plantio da cultura foi realizado manualmente, com espaçamento de 1,5 m entre linhas. No ciclo de cana-planta aplicou-se 60 kg N ha⁻¹ na forma de nitrato de amônio, 66 kg P ha⁻¹ como superfosfato simples e 92 kg K ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio. A cana foi colhida manualmente em agosto de 2019 e os resíduos da colheita foram retidos na superfície do solo. Para a primeira soqueira, aplicou-se 155, 41 e 86 kg ha⁻¹ de N, P e K em faixa superficial. A colheita foi realizada em outubro de 2020.

Figura 3 – Croqui da Unidade de Pesquisa de Desenvolvimento de Brotas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA, Brotas, SP, Brasil)



Fonte: Araújo, 2022.

Figura 4 – Croqui da área experimental localizada em Salto de Pirapora, próxima ao campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR, Sorocaba, SP, Brasil).



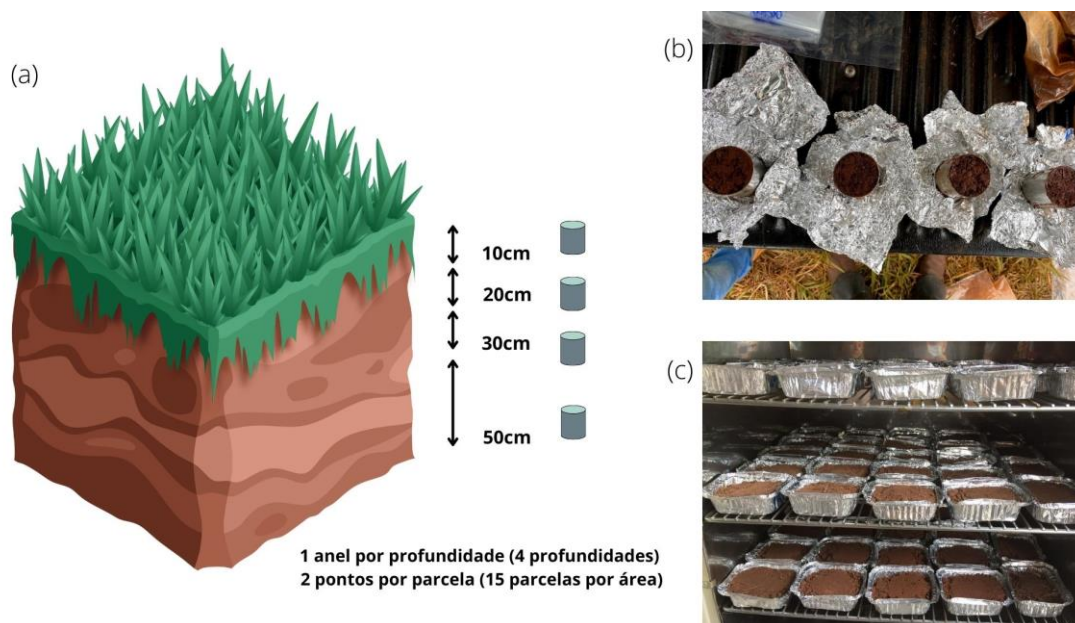
Fonte: Araújo, 2022.

3.3 Amostragem de solo

Após a colheita da cana-de-açúcar em outubro de 2020, foram coletadas aleatoriamente amostras de solo em quatro locais distintos nas parcelas de cada tratamento, nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-50 cm por meio de trado tubular. As camadas foram definidas de acordo com fatores importantes, a camada de 0-10 cm é a camada superficial do solo, onde se acumula maiores teores de matéria orgânica por exemplo, já a camada de 0-30 é recomendada pelo IPCC 2006 Guidelines, por fim, a camada 0-50 foi definida por ser a profundidade máxima alcançada pelos tratos culturais da cana-de-açúcar. Essas quatro amostras foram homogeneizadas formando uma única amostra composta por parcela. O mesmo protocolo foi realizado nos fragmentos de floresta situados em cada área experimental. Assim foram geradas em cada área: 4 amostras por parcela x 5 repetições x 4 tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva, cana) = 80 amostras. Como a mesma amostragem foi feita nas duas áreas de atuação do Projeto Temático (Salto de Pirapora e Brotas), foram analisadas cerca de 160 amostras. Finalmente, como cada amostra em cada parcela foi composta por quatro amostras coletadas aleatoriamente, foram efetivamente coletadas $160 \times 4 = 640$ amostras de solo, das quais, como mencionado acima, 160 foram efetivamente analisadas.

Na mesma ocasião, foram retiradas amostras indeformadas pelo método do anel volumétrico (por meio de trado de Uhland) para determinação da densidade do solo (Embrapa, 1997) em cada camada acima descrita para determinar a densidade de cada camada por parcela (8 amostras por parcela, 2 por camada e calculada a média).

Figura 5 – Método de coleta das amostras indeformadas de solo, por meio de trado de Uhland, para determinação da densidade do solo.



Croqui do método utilizado para coleta das amostras indeformadas de solo (a); Foto dos anéis volumétricos recém coletados (b); Foto do solo na estufa a 105°C (c).

3.4 Preparo de amostras e análises laboratoriais

As amostras de solo foram secas à 40°C, destorroadas e moídas (peneira com abertura de 2 mm). Na sequência, os teores totais de C e N foram medidos em um analisador elementar (Carlo Erba CHN, Thermoquest, Rodano, Itália) acoplado a um espectrômetro de massas de razão isotópica (IRMS; Finnigan Delta-E, ThermoFinnigan, Bremen, Alemanha). Os teores trocáveis e/ou disponíveis de P, K, Ca, Mg e S no solo foram determinados de acordo com van Raij et al. (2001). Para determinar o estoque de fósforo, foi realizado o fracionamento químico descrito por Gatiboni and Condron (2021).

As amostras indeformadas também passaram por secagem em estufa (105°C até massa constante) e em seguida foram pesadas para a determinação da densidade (Embrapa, 2017).

3.5 Cálculos

A densidade do solo foi determinada a partir da coleta de amostras indeformadas. Após a secagem, a massa de solo foi avaliada para a realização do cálculo, conforme a equação 1.

$$\rho = \frac{Ms}{Vt} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

ρ = densidade da mostra (g.cm⁻³)

Ms = massa do solo seca (g)

Vt = volume total do anel (cm³)

Para determinar os estoques de C e N no solo, a seguinte equação, proposta por Ellert e Bettany (1995) foi utilizada:

$$E = \frac{\rho \times h \times (C, N)}{10} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

E = estoque de carbono ou nitrogênio total do solo (Mg ha⁻¹);

ρ = densidade do solo (g cm⁻³);

h = espessura da camada amostrada (cm);

C ou N = teor de carbono ou nitrogênio do solo (g kg⁻¹).

O estoque de K extraível no solo foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$E = ((K) \times h \times f) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

E = estoque de potássio do solo (Mg ha⁻¹);

h = espessura da camada amostrada (cm);

f = fator de multiplicação (3,9x10⁻³ para o potássio);

K = teor de potássio total do solo (mmolc dm⁻³).

O estoque de Ca trocável no solo foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$E = ((Ca) \times h \times f) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

E = estoque de potássio do solo (Mg ha^{-1});

h = espessura da camada amostrada (cm);

f = fator de multiplicação (2×10^{-3} para o cálcio);

Ca = teor de cálcio total do solo (mmolc dm^{-3}).

O estoque de Mg trocável no solo foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$E = ((Mg) \times h \times f)$$

Equação (5)

Onde:

E = estoque de potássio do solo (Mg ha^{-1});

h = espessura da camada amostrada (cm);

f = fator de multiplicação ($2,4 \times 10^{-3}$ para o magnésio);

Mg = teor de magnésio total do solo (mmolc dm^{-3}).

Os estoques de C e macronutrientes serão estimados para a camada superficial (0-10cm), para a camada intermediária (0-30 cm), somando-se os estoques das camadas superficial mais estoque na camada 10-20 cm e 20-30 cm; e finalmente para a camada total amostrada (0-50 cm), somando-se os estoques encontrados em cada camada (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-50 cm). Por fim, todos os estoques foram corrigidos para uma mesma massa de solo, tendo como referência o solo do fragmento florestal de cada área.

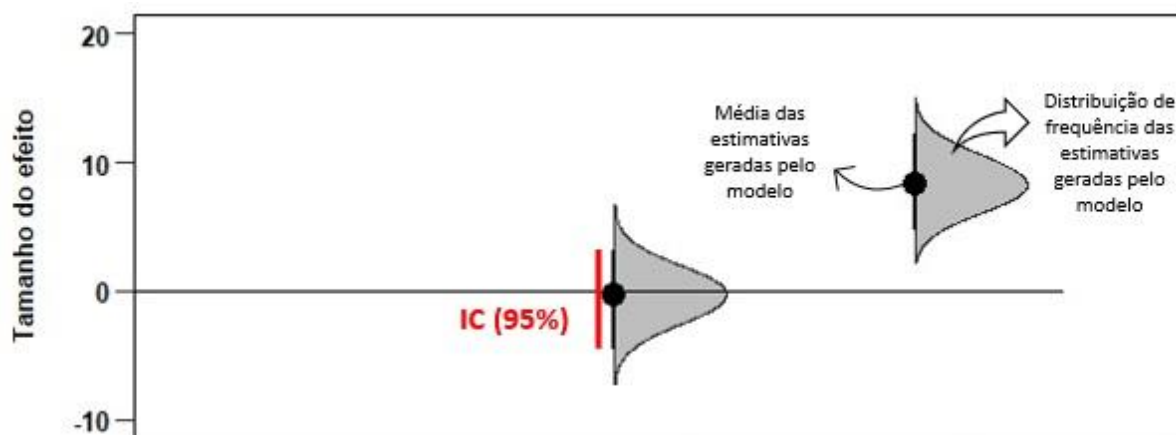
3.6 Análises estatísticas

Recentemente, a forma de realizar análises estatísticas vem mudando devido à preocupação com a veracidade das pesquisas realizadas. Ioannidis (2005) e outros pesquisadores explicaram como os resultados obtidos em as pesquisas podem ser tendenciosas. Há muito tempo a ciência utiliza o teste de significância de hipóteses como uma das principais formas de realizar análises estatísticas de dados. As limitações desse método vêm sendo discutidas, principalmente em razão do pensamento dicotômico no qual essa análise se baseia, apenas aceitando e rejeitando a hipótese nula ao invés de analisar o tamanho do efeito da distribuição dos dados, em função da dependência pelo p valor. O p valor é um parâmetro estatístico utilizado nos testes de hipótese para indicar a probabilidade da distribuição dos dados

de dois ou mais grupos serem iguais (geralmente considerando um IC de 95%). Uma forma de evitar esse pensamento dicotômico que o valor p enseja seria substituí-lo por análises descritivas considerando-se o tamanho de efeito e respectivos intervalos de confiança (Cumming, 2014).

Neste trabalho, os estoques de nutrientes do solo obtidos foram comparados estatisticamente em relação aos estoques encontrados no solo da vegetação nativa e em uma segunda etapa, os estoques do solo nos tratamentos pastagem intensiva e cana-de-açúcar foram comparados estatisticamente com os estoques do solo na pastagem extensiva. Para poder comparar estatisticamente os dados desses grupos, utilizamos o pacote “DABEST (data analysis with bootstrap-coupled estimation)” na plataforma Rstudio. Esse pacote utiliza uma ANOVA como modelo linear com comparações múltiplas, onde os grupos/tratamentos (por exemplo: pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) são comparados com um grupo de referência (por exemplo: Floresta). Em seguida, o pacote estima milhares de vezes os coeficientes do modelo empregando-se a técnica bootstrapping baeyiano (Efron e Tibshirani, 1994). Com os coeficientes gerados pela técnica de bootstrapping é construída uma distribuição de frequência e dessa distribuição são estimados os intervalos de confiança, como observa-se na Figura 5.

Figura 6 – Modelo dos gráficos de diferença entre as médias.



Também é possível interpretar esses dados de acordo com a distância de Cohen (Cohen, 1992) que é calculada a partir da diferença dos coeficientes gerados pelo modelo estatístico entre os grupos a serem comparados, dividido pela média do desvio padrão de toda população.

$$d = (Me - Mc)/s$$

Equação (6)

Onde:

d = Distância de Cohen;

Me = Coeficiente médio do tratamento gerado pelo modelo;

Mc = Coeficiente médio do controle geradas pelo modelo;

s = Desvio padrão da população.

Cohen (1992) sugeriu que $d = 0.2$ o tamanho do efeito é considerado pequeno, pouco provável que exista diferença estatística entre as médias. Se o $d = 0.5$ o tamanho do efeito é considerado médio e ainda não se pode afirmar com tanta certeza que exista diferença estatística e se o valor de d igual ou maior que 0.8 o tamanho do efeito é considerado alto, ou seja, existe diferença estatística entre as médias do respectivo tratamento e da área de referência considerada no gráfico. Esse valor, será expresso no material suplementar através de gráficos que representarão o valor de d no seguinte formato:

$$d [-95\%IC; +95\%IC]$$

4. RESULTADOS

4.1 Características físicas do solo

Na Tabela 1 observa-se os valores médios da análise granulométrica dos solos das áreas experimentais de Brotas e Salto de Pirapora. Os blocos enviados para a análise foram selecionados de acordo com a distribuição espacial dos tratamentos de cada área experimental, de forma que a área fosse bem representada. De acordo com a tabela, nota-se uma grande diferença granulométrica entre as áreas experimentais, por isso, nos resultados não há comparação dos estoques de carbono e nutrientes entre as duas áreas e sim entre seus respectivos tratamentos.

Tabela 1 – Granulometria do solo nas áreas experimentais (Brotas e Salto de Pirapora).

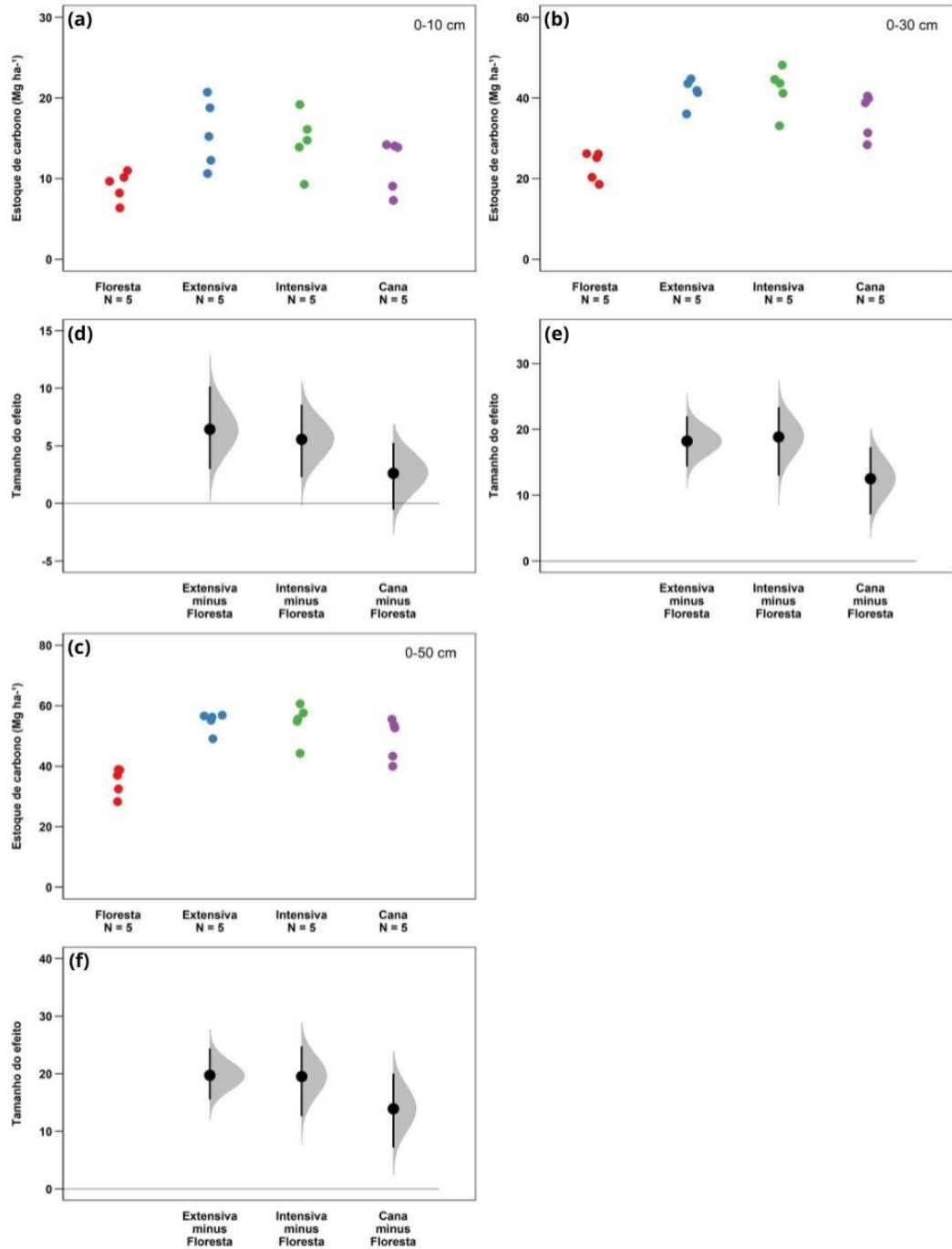
Brotas									
	Argila (g/kg)			Silte (g/kg)			Areia total (g/kg)		
	0-10 cm	0-30 cm	0-50 cm	0-10 cm	0-30 cm	0-50 cm	0-10 cm	0-30 cm	0-50 cm
PE	103	117	130	7	7	12	890	877	858
PI	141	129	134.8	9	8	7.2	850	863	858
CN	98	94	93.2	2	2	4.8	900	903	902
FN	92	89	94	8	7	8	900	903	898
Salto de Pirapora									
	Argila (g/kg)			Silte (g/kg)			Areia total (g/kg)		
	0-10 cm	0-30 cm	0-50 cm	0-10 cm	0-30 cm	0-50 cm	0-10 cm	0-30 cm	0-50 cm
PE	494	558	572.2	346	272	261.8	160	170	166
PI	480	560	606.2	380	316	283.8	140	123	110
CN	523	557	565.6	327	290	282.4	150	153	152
FN	396.5	426	429.2	137	119	117.8	460	467	460

4.2 Estoque de carbono no solo

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de carbono no solo nas duas áreas de estudo, observa-se na Figura 7d-f que dentre os tratamentos da área de Brotas os estoques das pastagens são maiores que a floresta e não interceptam o eixo x em nenhuma profundidade, o que significa que há diferença estatística entre as médias desses tratamentos em relação a área nativa, o mesmo acontece para as profundidades de 0-30 cm e 0-50 cm do tratamento “Cana”. O que é confirmado pelo valor de d e seus intervalos (todos maiores que 0.8). Já a distribuição do tratamento sob cana-de-açúcar na profundidade 0-10 cm intercepta o eixo x, no entanto, seu valor d é maior que 0.8, isso mostra que há uma possibilidade desses valores não se diferirem estatisticamente, mas essa possibilidade é baixa, de acordo com d de Cohen e com o intervalo de confiança de 95%.

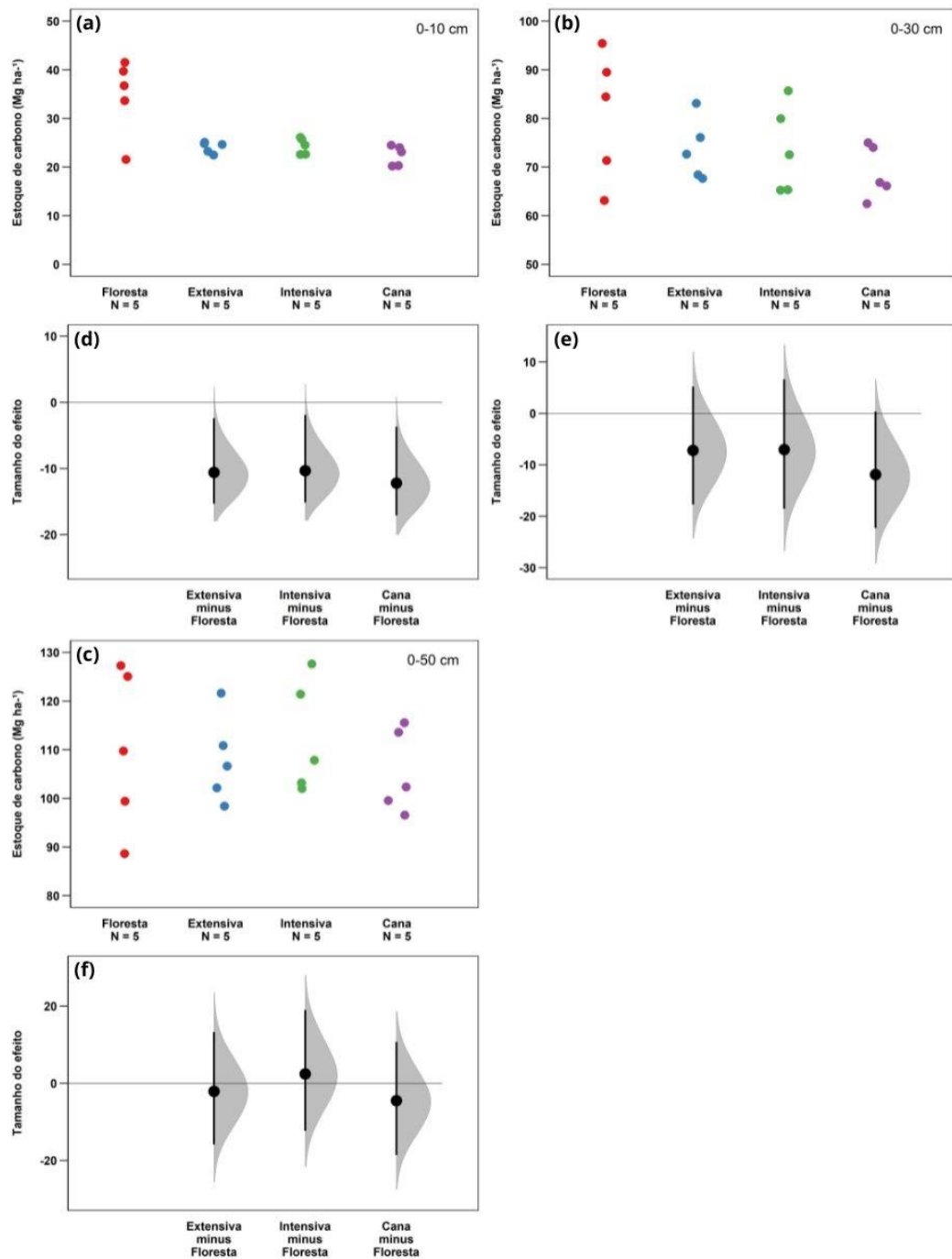
Já em relação a área de Salto de Pirapora, na Figura 8d-f observa-se que apenas na camada superficial (0-10 cm) os estoques dos tratamentos agrícolas são menores que a floresta e se diferenciam estatisticamente desta área de referência. Já na camada 0-30 cm, apenas o tratamento “Cana” se difere estatisticamente da floresta. As diferenças estatísticas se confirmam com os valores de d de Cohen (todos maiores que 0.8). Os estoques das pastagens, no entanto, não se diferenciam da área de referência nas camadas 0-30 cm e 0-50 cm, o que se confirma com os valores de d de Cohen menores que 0.8.

Figura 7 - Gráfico de estoque de carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoques de carbono no solo na área experimental de Brotas em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados ($n=5$). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreado cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 8 – Gráfico de estoque de carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora /SP no ano de 2020.

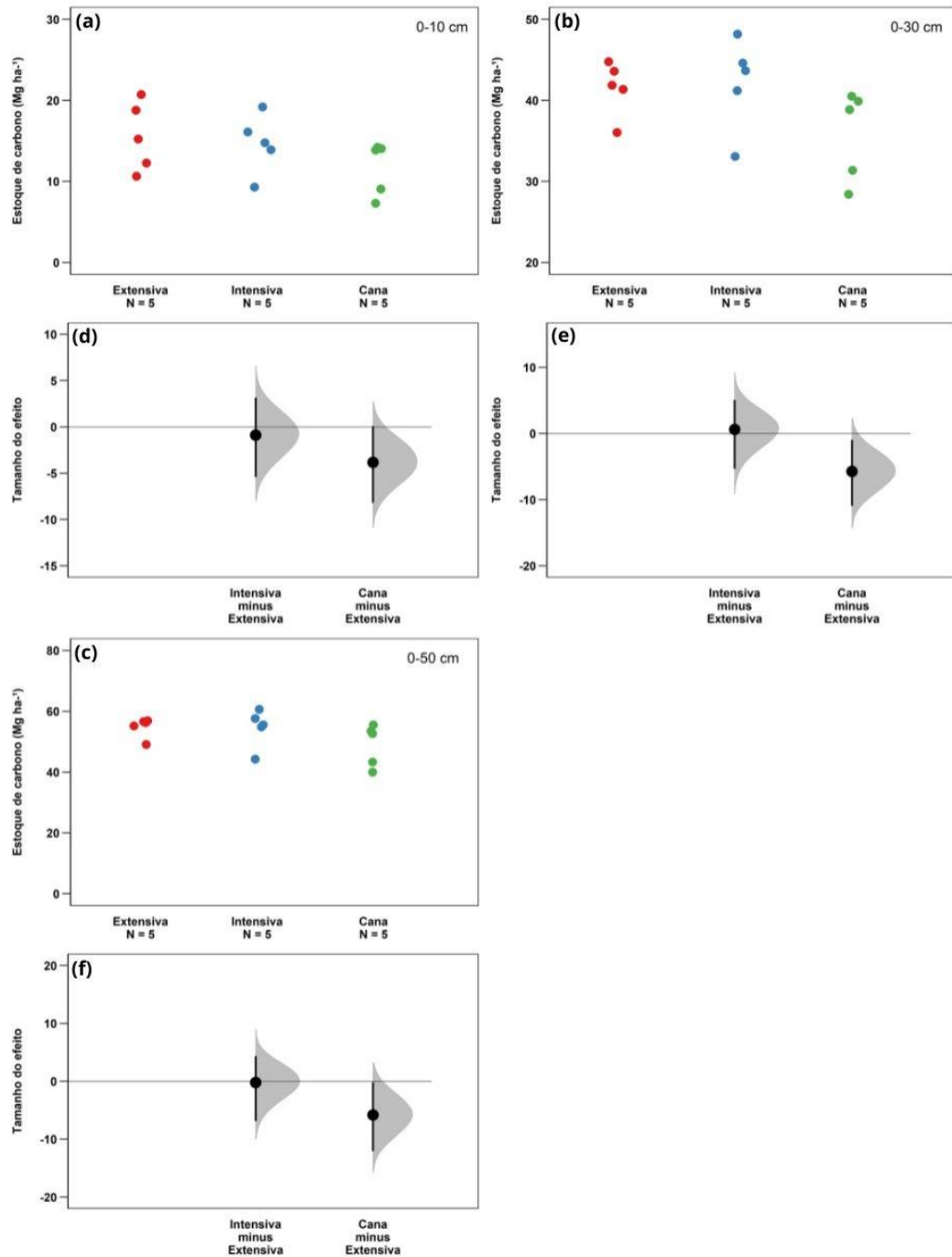


(a) estoques de carbono no solo na área experimental de Salto de Pirapora em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de carbono no solo em relação ao tratamento sob pastagem extensiva nas duas áreas de estudo, de acordo com a Figura 9d-f nota-se que dentre os tratamentos da área de Brotas a distribuição dos dados da pastagem intensiva e da cana interceptam o eixo x nas três profundidades, no entanto, considerando a interpretação dos dados com base na distância de Cohen, na comparação da cana com a pastagem extensiva, todos os valores de d são maiores que 0.8, e seus intervalos de confiança praticamente não se sobrepõem ao eixo x, já na comparação da pastagem intensiva com a pastagem extensiva, todos os valores de d são menores que 0.5, e seus intervalos de confiança se sobrepõem ao eixo x. Com isso, concluímos que os estoques da pastagem intensiva e extensiva não se diferem estatisticamente, já os estoques no tratamento sob cana-de-açúcar são menores e estatisticamente diferentes do tratamento sob pastagem extensiva de acordo com o intervalo de confiança de 95%.

Em relação a área de Salto de Pirapora, na Figura 10d-f é possível observar que a distribuição dos dados do tratamento “Intensiva” intercepta o eixo x nas três profundidades, dessa forma que é possível afirmar que este tratamento não se difere estatisticamente da pastagem extensiva. Isso pode ser confirmado pela interpretação de Cohen, visto que os valores de d são menores que 0.5. Já os estoques da Cana se diferem estatisticamente da pastagem extensiva com mais robustez, apenas na camada superficial do solo, em profundidade, os estoques tentem a não se diferirem. A queda nos valores de d de Cohen, confirmam esse comportamento.

Figura 9 – Gráfico de estoque carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoque de carbono no solo na área experimental de Brotas em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 10 – Gráfico de estoque carbono no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.

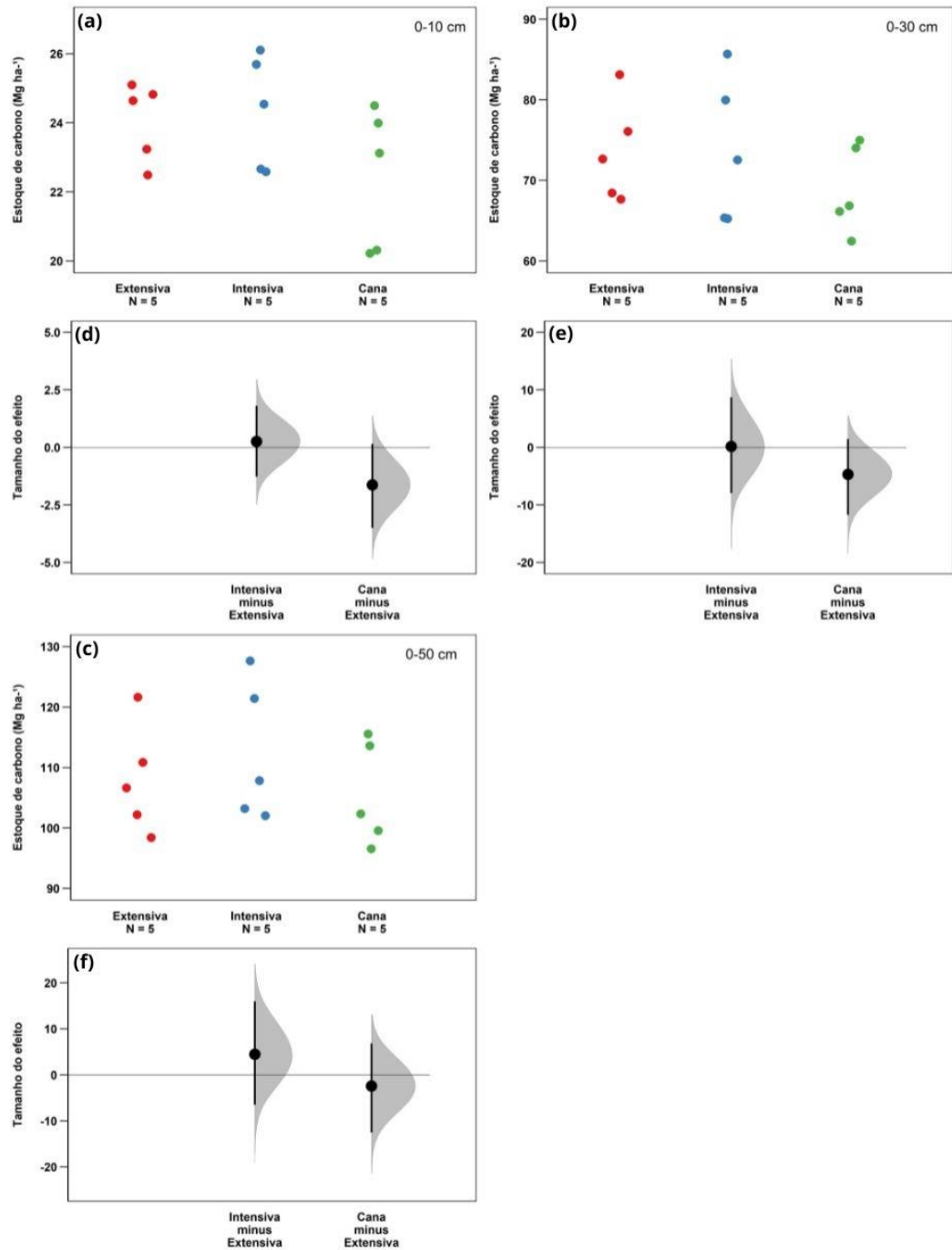


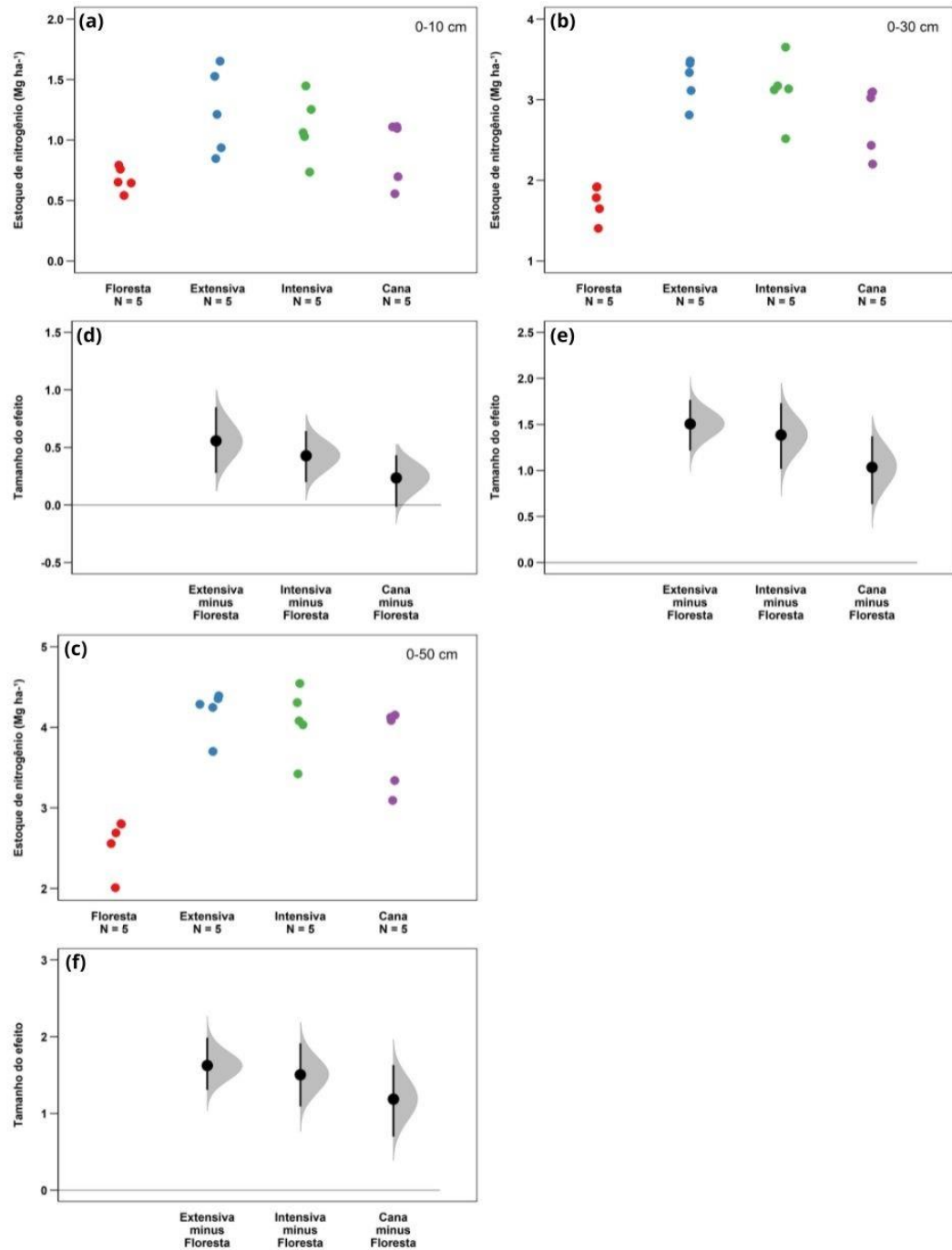
Gráfico de estoque de carbono no solo na área experimental de Salto de Pirapora em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

4.3 Estoque de nitrogênio no solo

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de nitrogênio no solo nas duas áreas de estudo, de acordo com a Figura 11d-f nota-se que os estoques de todos os tratamentos são maiores que a floresta e dentre os tratamentos da área de Brotas apenas a distribuição referente a cana na profundidade 0-10 cm intercepta o eixo x, o que poderia sugerir ausência de diferença estatística entre o tratamento e a floresta. A diferença estatística, nesse caso, confirma-se com o valor d de Cohen maior que 0.8, assim como nas demais comparações entre os tratamentos e a área nativa em todas as profundidades.

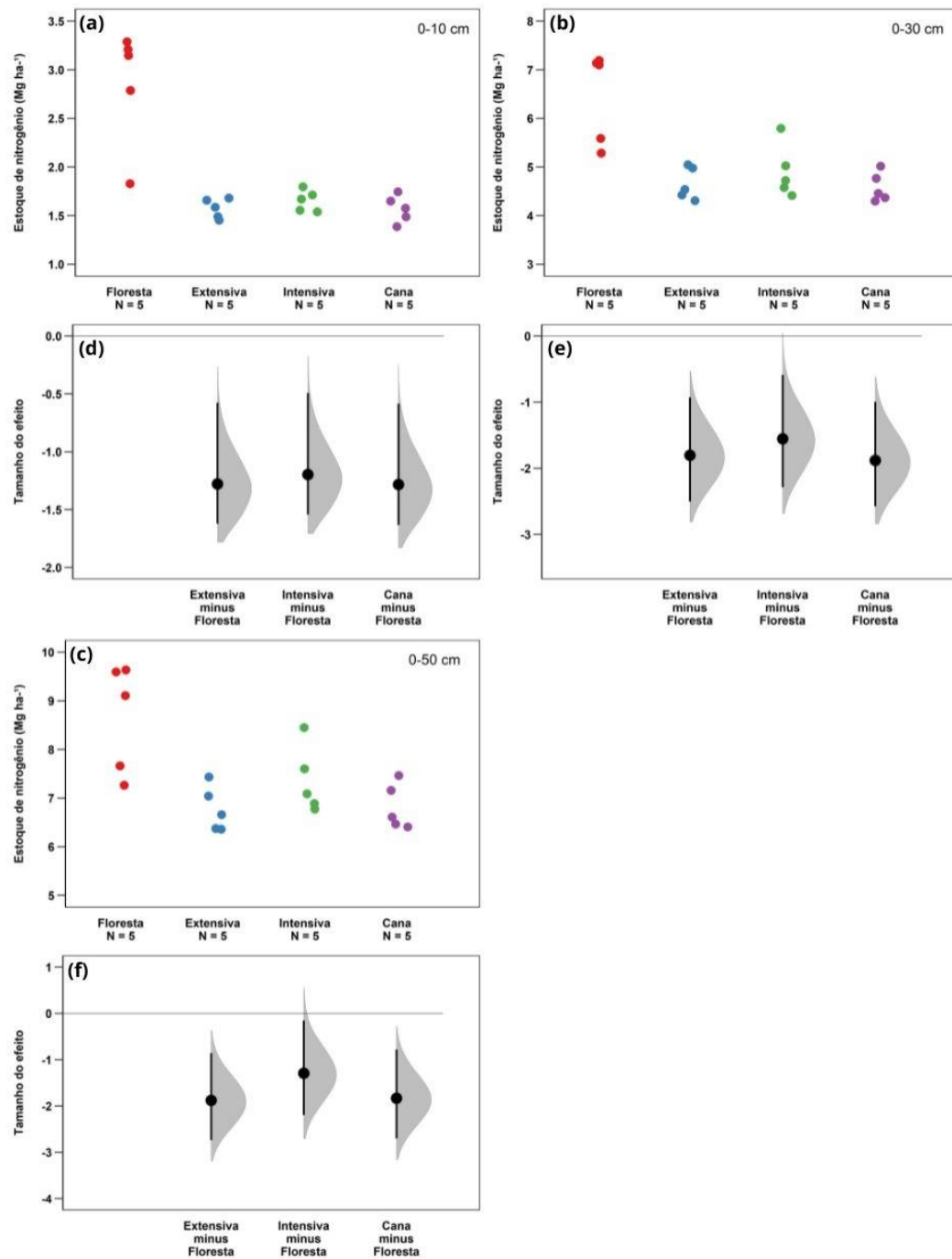
Em relação a área de Salto de Pirapora, na Figura 12d-f é possível observar que os estoques de todos os tratamentos são menores e diferem estatisticamente dos estoques da floresta, visto que nenhum dos ICs interceptam o eixo x. Além disso, os valores de d são maiores que 0.8.

Figura 11 – Gráfico de estoque de nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoques de nitrogênio no solo na área experimental de Brotas em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 12 – Gráfico de estoque de nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.

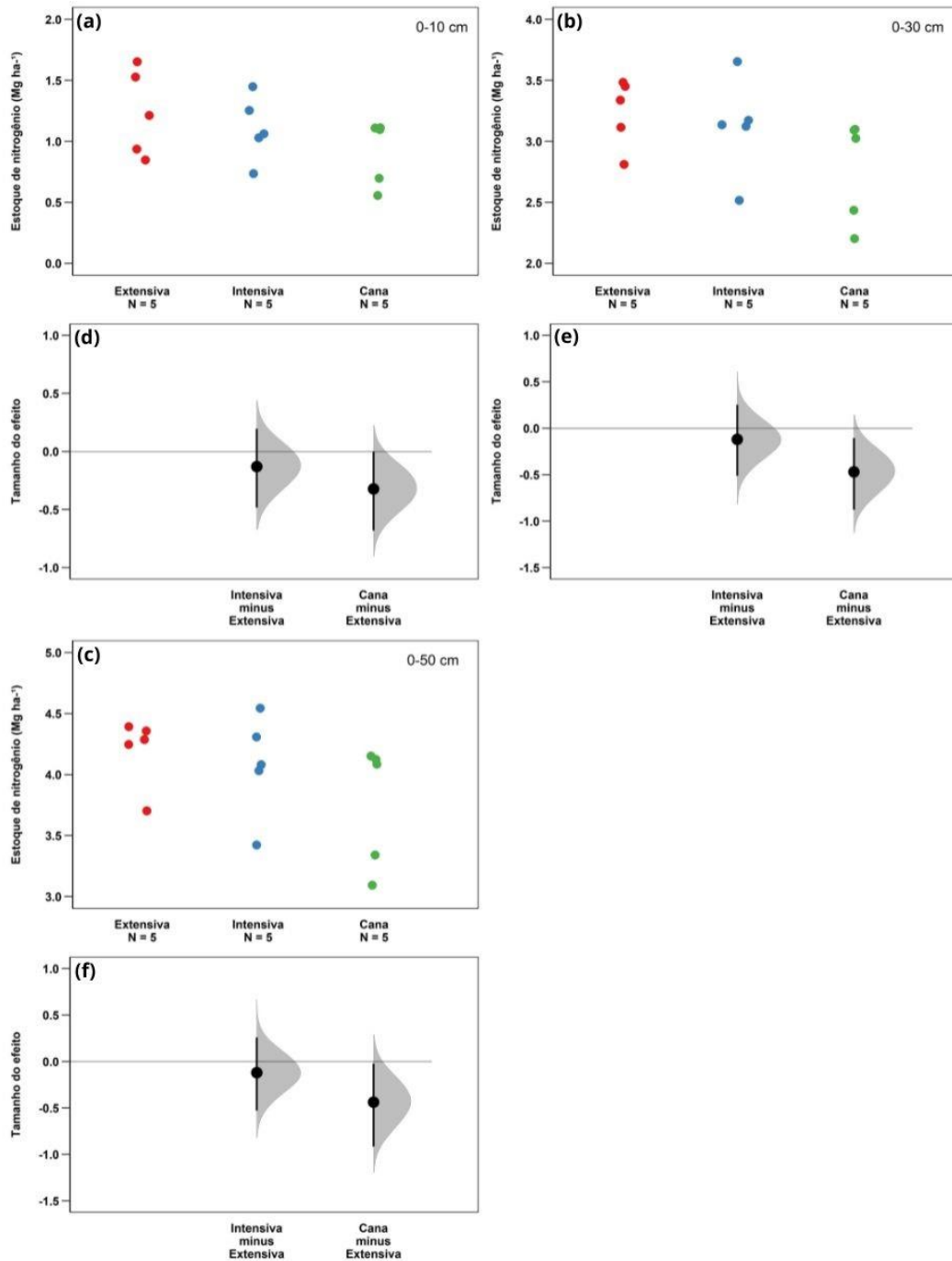


(a) estoques de nitrogênio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreado cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de nitrogênio no solo em relação ao tratamento sob pastagem extensiva nas duas áreas de estudo, de acordo com a Figura 13d-f nota-se que dentre os tratamentos da área de Brotas as distribuições referentes a cana nas três profundidades interceptam o eixo x, no entanto, considerando a interpretação dos dados com a distância de Cohen, todos os valores de d são maiores que 0.8, e seus intervalos de confiança praticamente não se sobrepõem ao eixo x, assim, concluímos que os estoques do tratamento sob cana-de-açúcar são menores e estatisticamente diferentes da pastagem extensiva. Já em relação a comparação entre as pastagens, a intensiva não se difere estatisticamente da extensiva, visto que o IC da pastagem intensiva intercepta o eixo x e os valores de d de Cohen são ≤ 0.2 em todas as profundidades.

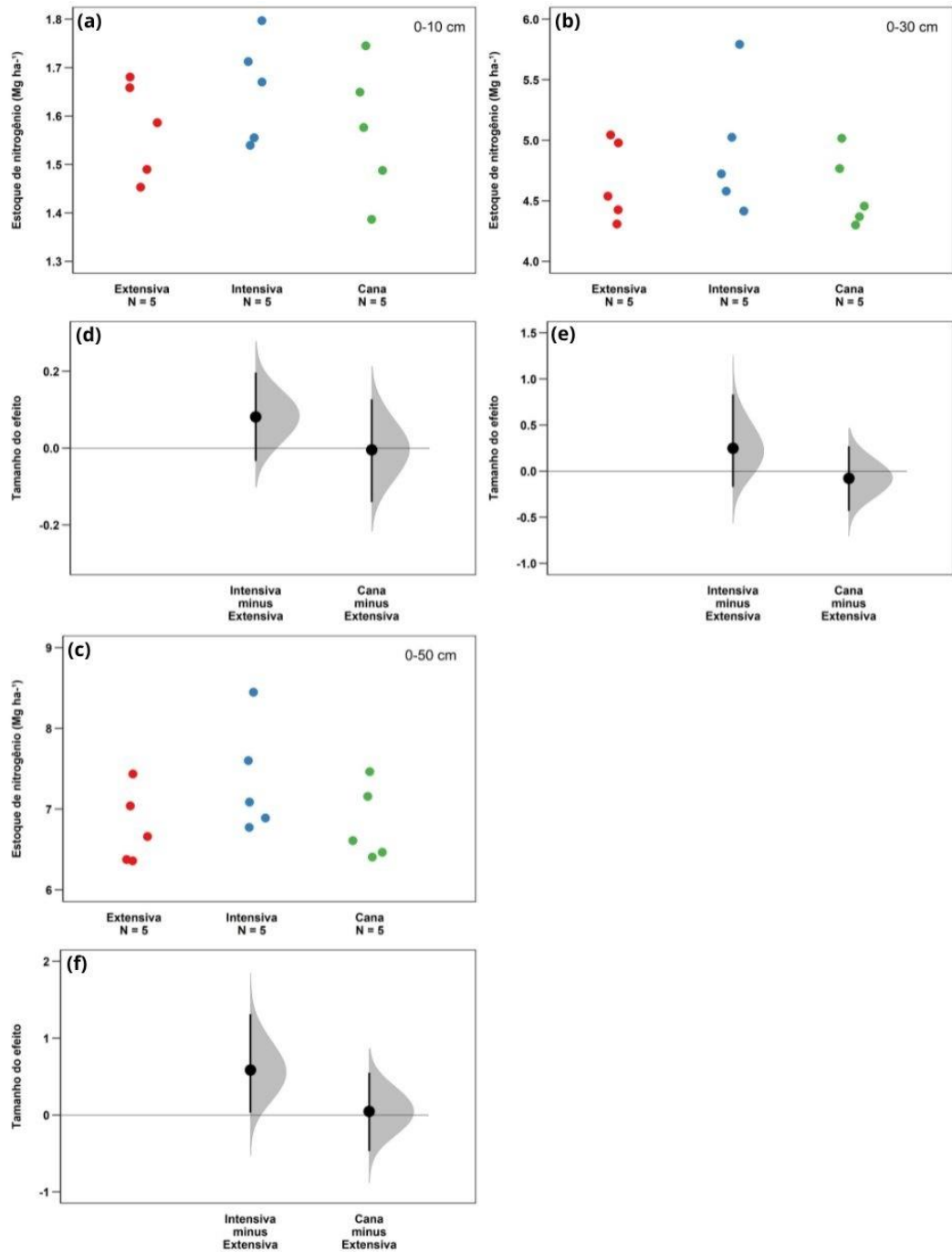
Em relação a área de Salto de Pirapora, na Figura 14d-f observa-se que os estoques da cana e da pastagem extensiva não se diferem estatisticamente em nenhuma profundidade visto que o IC da cana intercepta o eixo x e os valores de d de Cohen são ≤ 0.2 . Já os estoques da pastagem intensiva são maiores que da pastagem extensiva, no entanto, a diferença estatística só é robusta considerando a camada do solo de 0-50 cm. Nesse caso, a diferença estatística se confirma observando o valor de $d > 0.8$.

Figura 13 – Gráfico de estoque nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoque de nitrogênio no solo na área experimental de Brotas em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreado cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 14 – Gráfico de estoque de nitrogênio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora /SP no ano de 2020.

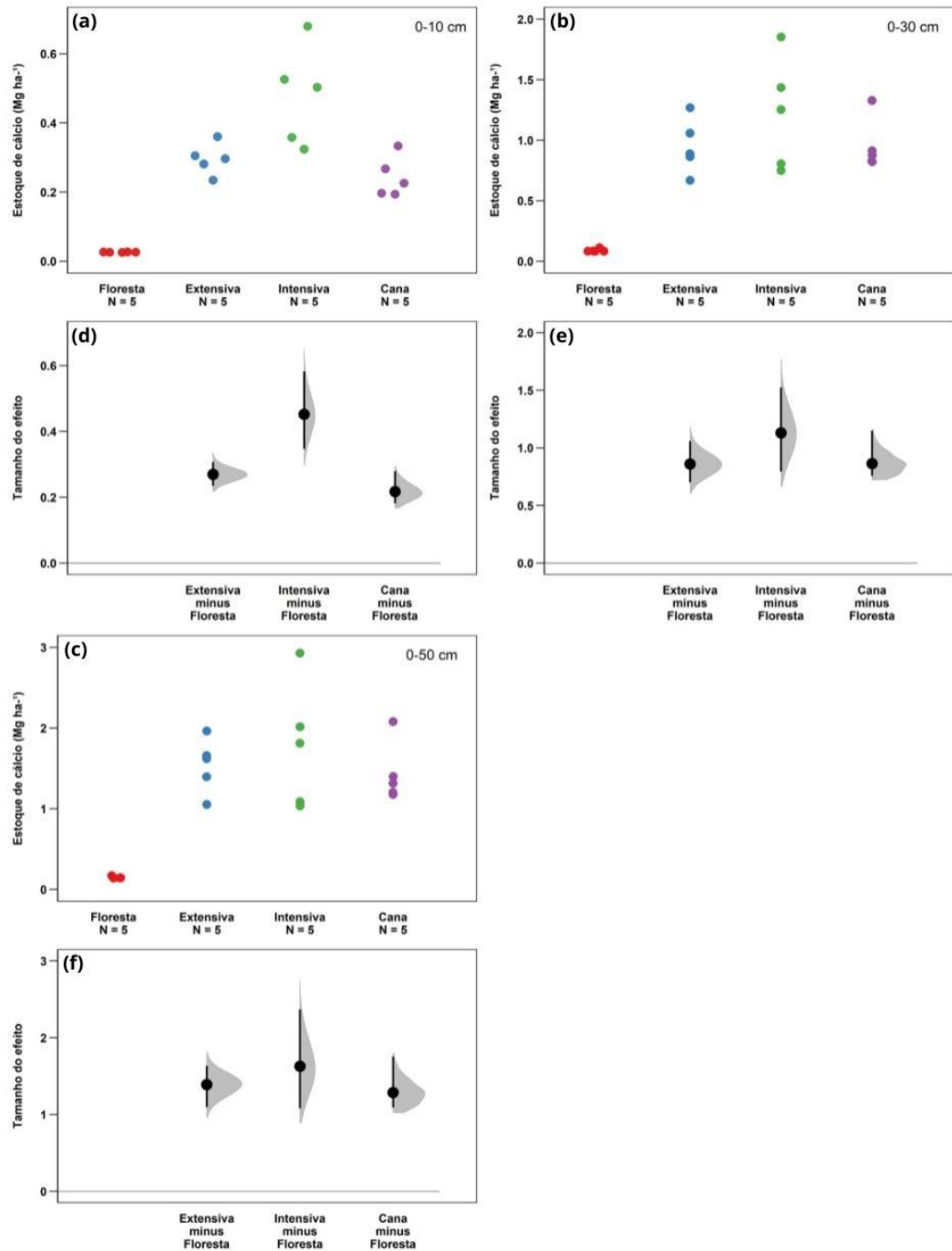


(a) estoque de nitrogênio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

4.4 Estoque de cálcio no solo

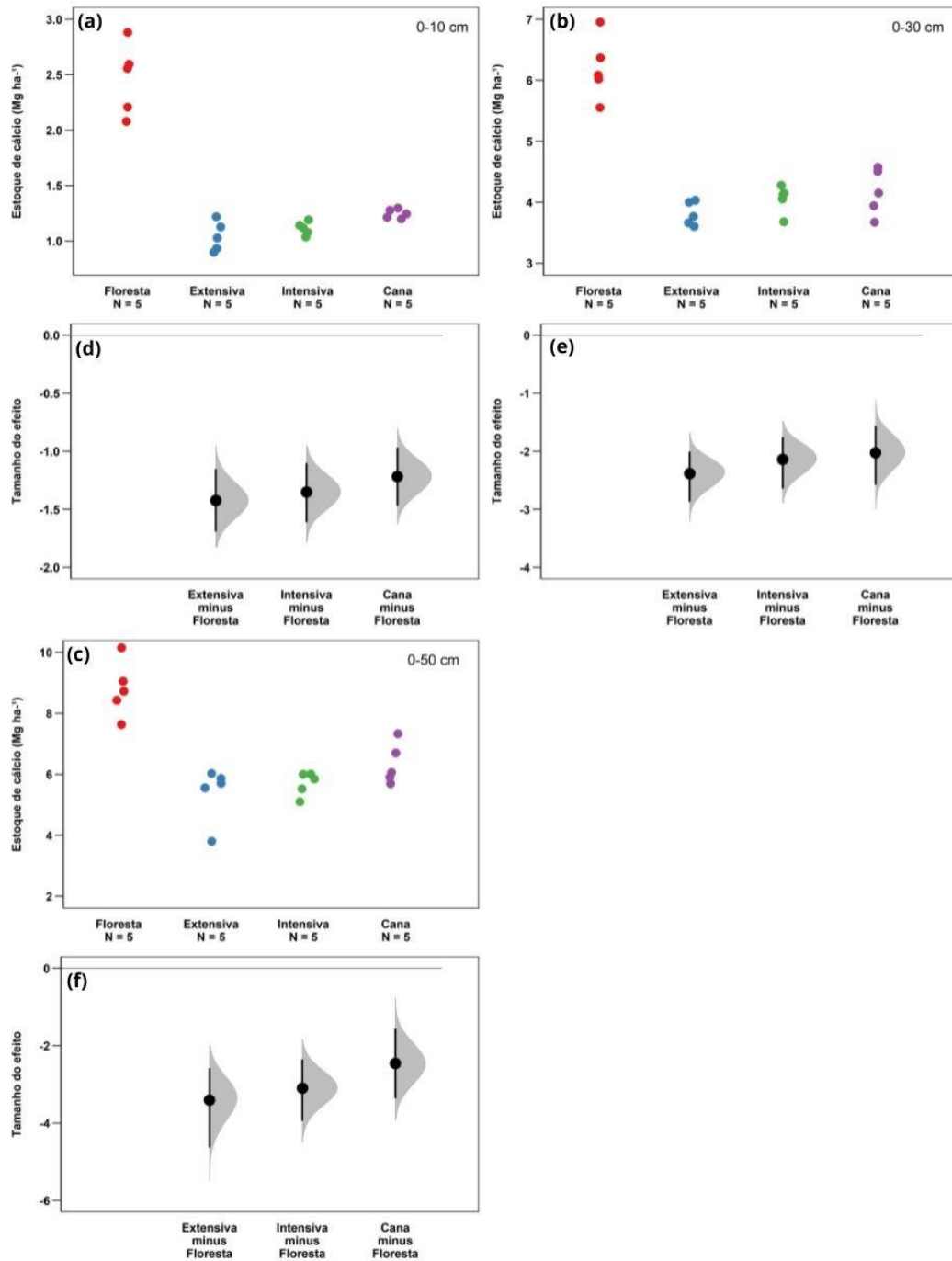
Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de cálcio no solo nas duas áreas de estudo, de acordo com as Figuras 15d-f e 16d-f observou-se que todos os tratamentos da área de Brotas e de Salto de Pirapora diferem-se estatisticamente das respectivas áreas de referência. Pode-se concluir isso, pois nenhuma das distribuições de frequência intercepta o eixo x e todos os valores de d de Cohen são maiores que 0.8. No entanto, em Brotas os estoques da área de referência são menores que todos os tratamentos agrícolas, já em Salto de Pirapora observa-se o comportamento contrário.

Figura 15 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoques de cálcio no solo na área experimental de Brotas em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 16 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.

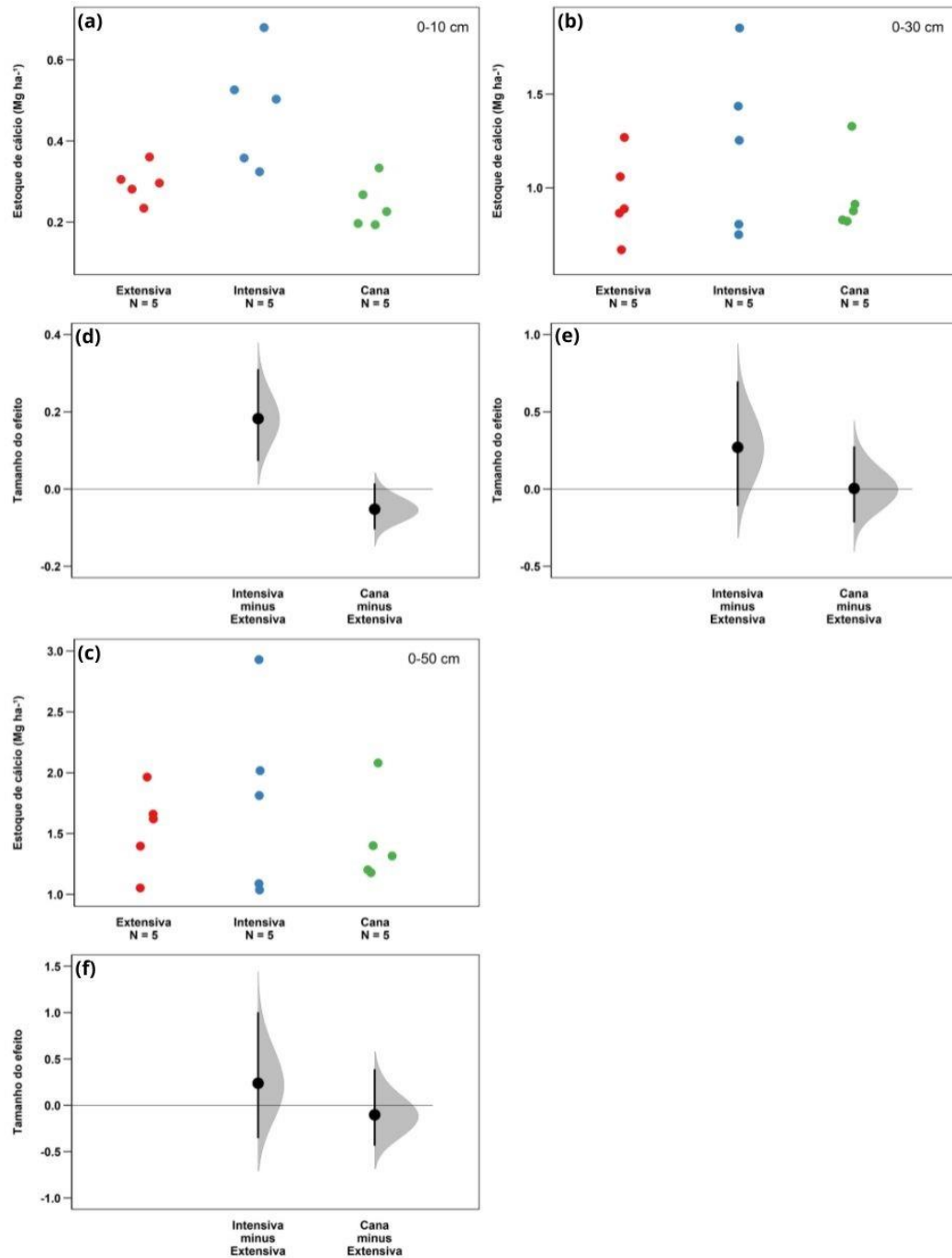


(a) estoques de cálcio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de cálcio no solo em relação ao tratamento sob pastagem extensiva observa-se na Figura 17d-f que dentre os tratamentos da área de Brotas a distribuição dos dados da cana e da pastagem intensiva nas profundidades de 0-30 cm e 0-50 cm, não se diferem estatisticamente da pastagem extensiva. A diferença estatística é confirmada analisando o comportamento dos IC, que interceptam o eixo x e de acordo com a distância de Cohen, visto que os valores de d desses tratamentos são inferiores a 0.8. Já na profundidade de 0-10 cm, tanto a pastagem intensiva quanto a cana-de-açúcar possuem d maiores que 0.8 e seus ICs não interceptam o eixo x, sugerindo que nessa camada os dois tratamentos se diferem estatisticamente da pastagem extensiva. No caso da pastagem intensiva, os estoques são maiores e no caso da cana, os estoques são menores, ambos em relação a pastagem extensiva.

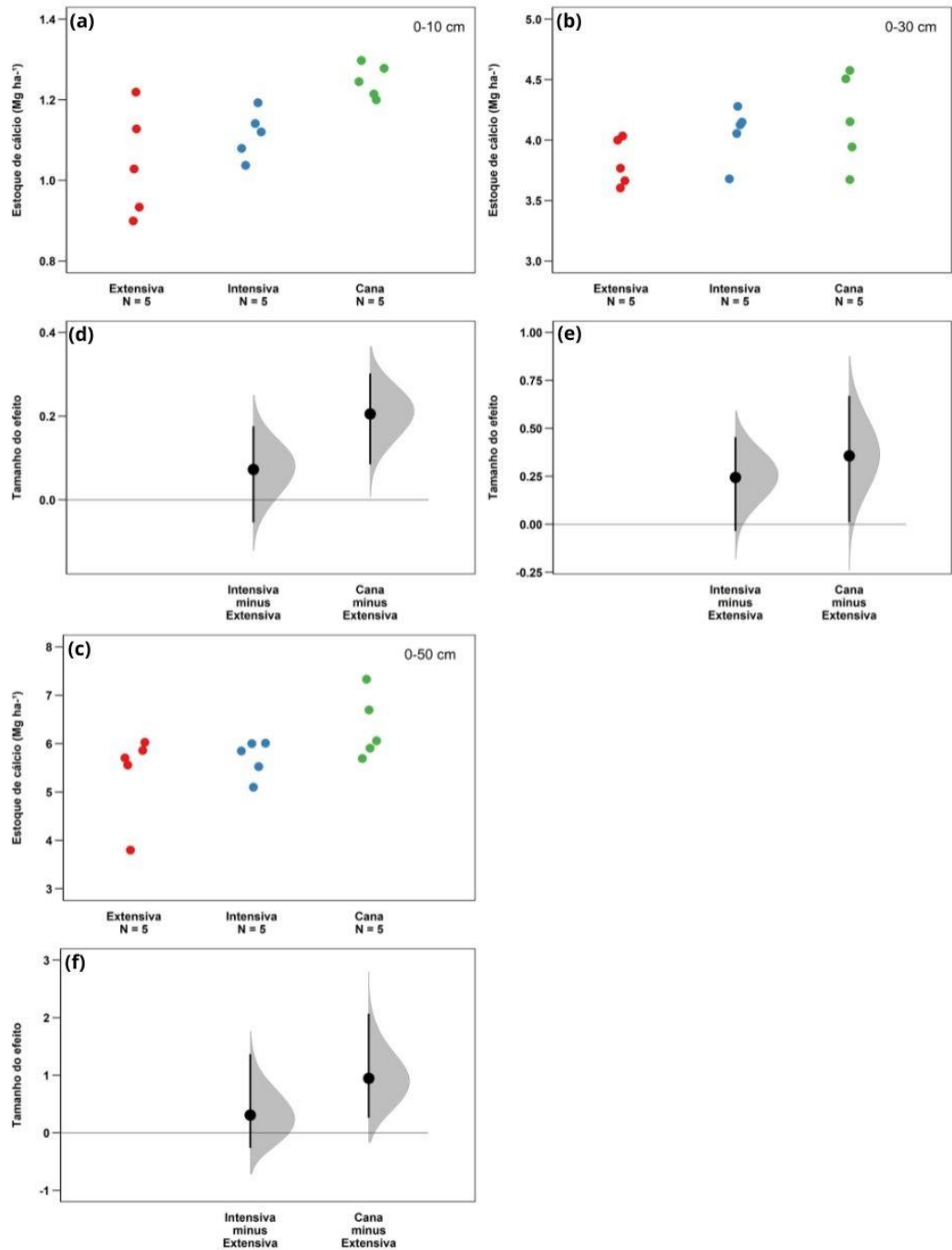
Na Figura 18d-f observa-se que os estoques de cálcio no solo nos tratamentos sob cana são maiores e diferem estatisticamente da pastagem extensiva em todas as profundidades visto que possuem d maiores que 0.8 e seus ICs não interceptam o eixo x. Já os estoques na pastagem intensiva só apresentam diferença estatística robusta na camada 0-30 cm e a diferença se confirma observando o valor de d de Cohen maior que 0.8 neste caso.

Figura 17 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoque de cálcio no solo na área experimental de Brotas em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 18 – Gráfico de estoque de cálcio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.



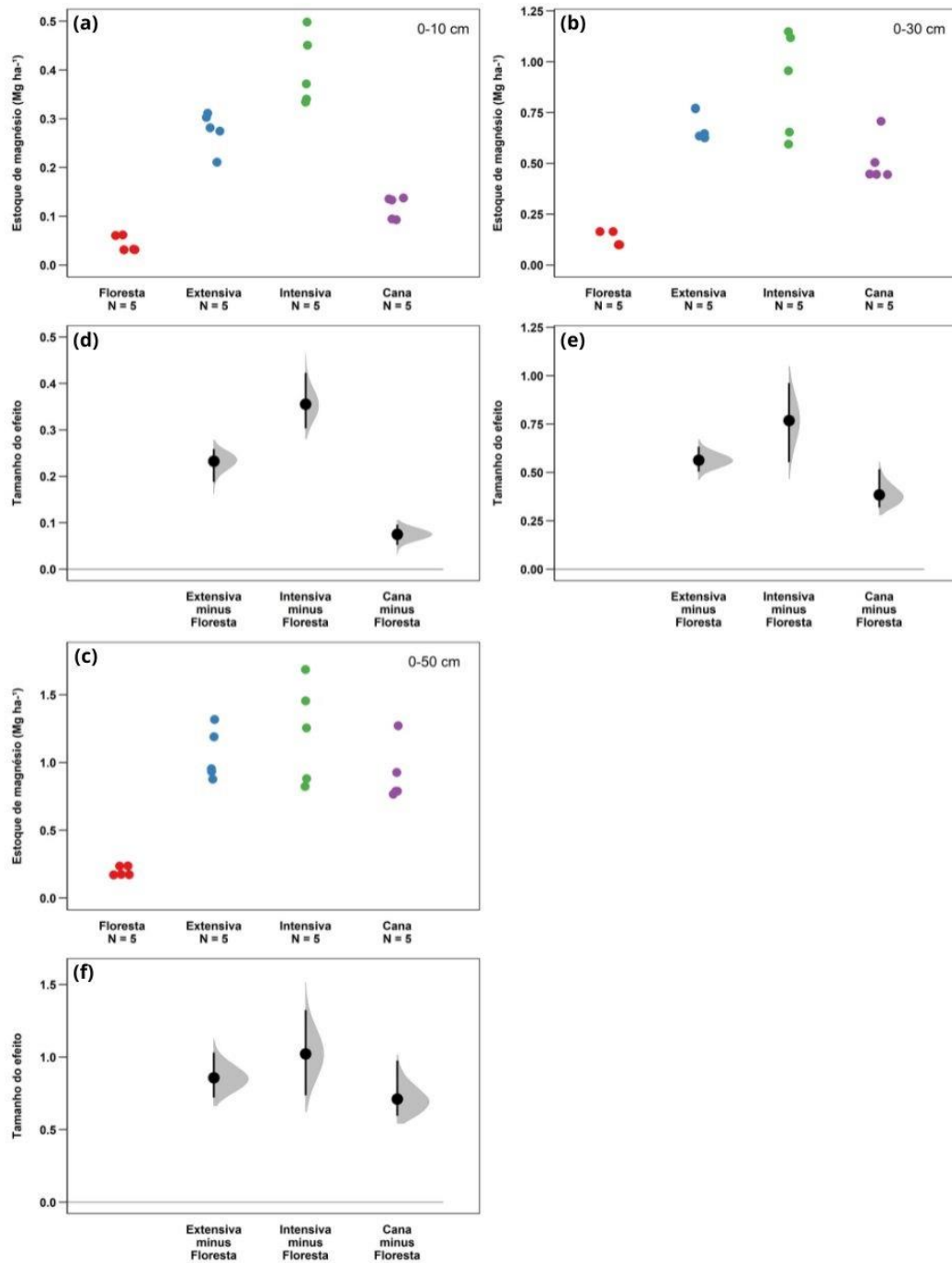
(a) estoque de cálcio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana

4.5 Estoque de magnésio no solo

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de magnésio no solo nas duas áreas de estudo, observou-se de acordo com a Figura 19d-f que dentre os tratamentos da área de Brotas nenhuma das distribuições intercepta o eixo x, o que sugere que os estoques de todos os tratamentos são maiores e diferem estatisticamente da área de referência (Floresta). O que é confirmado pelo valor de d de Cohen, visto que todos são maiores que 0.8.

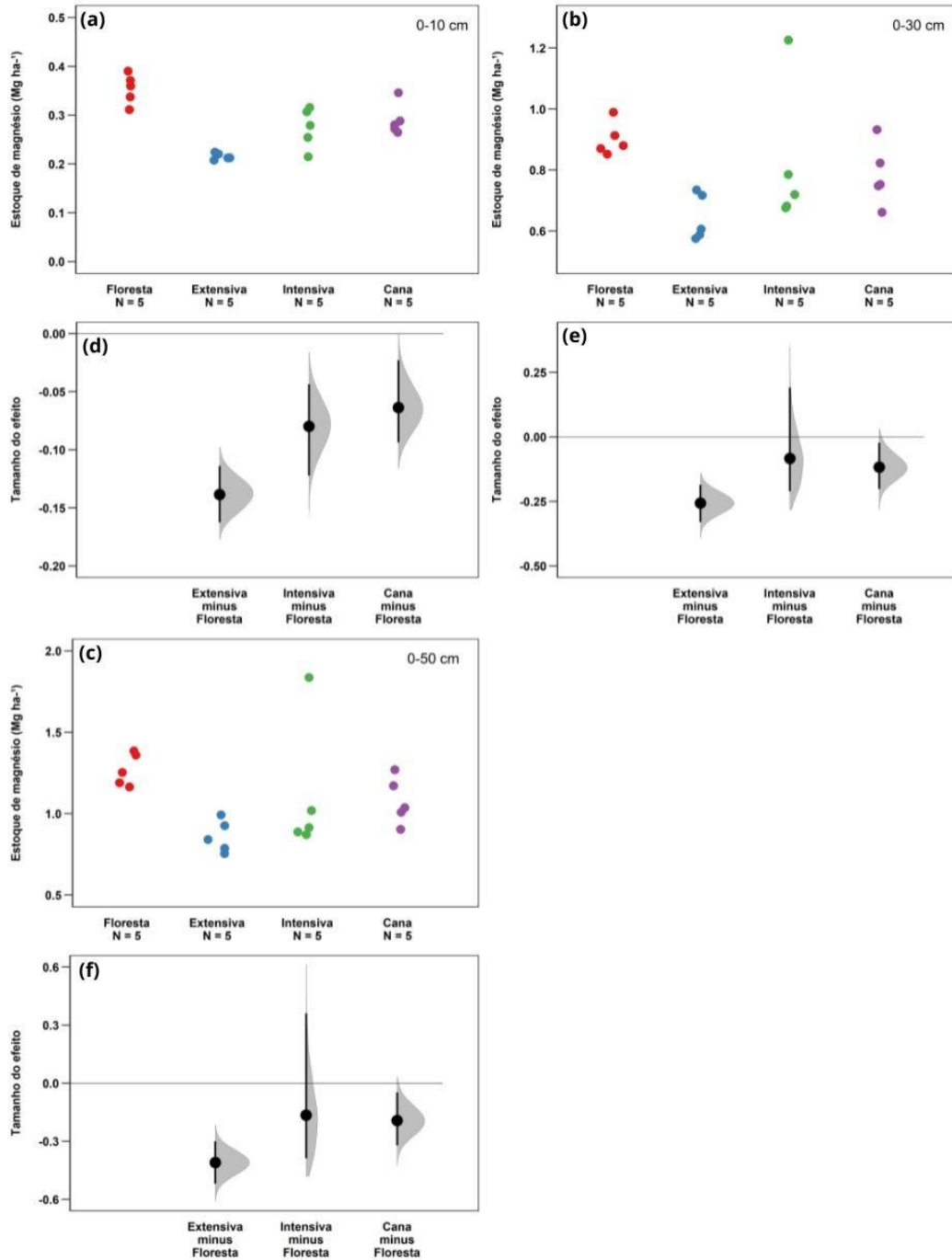
Já em relação a área de Salto de Pirapora, na Figura 20d-f observa-se que os ICs das distribuições dos tratamentos sob pastagem extensiva e cana não interceptam em nenhuma profundidade o eixo x. Aliado a isso, os valores de d de Cohen (>0.8) confirmam a hipótese de que esses estoques são menores e há diferença estatística entre esses tratamentos e a floresta. Em relação aos estoques dos tratamentos sob pastagem intensiva nota-se que as distribuições interceptam o eixo x nas profundidades 0-30 e 0-50 cm, mas não na camada superficial do solo. Assim, junto com os valores de $d < 0.8$ nas camadas 0-30 e 0-50 cm, concluímos que a diferença estatística não é robusta entre os estoques da pastagem intensiva e da floresta nessas duas profundidades.

Figura 19 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoques de magnésio no solo na área experimental de Brotas em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 20 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.

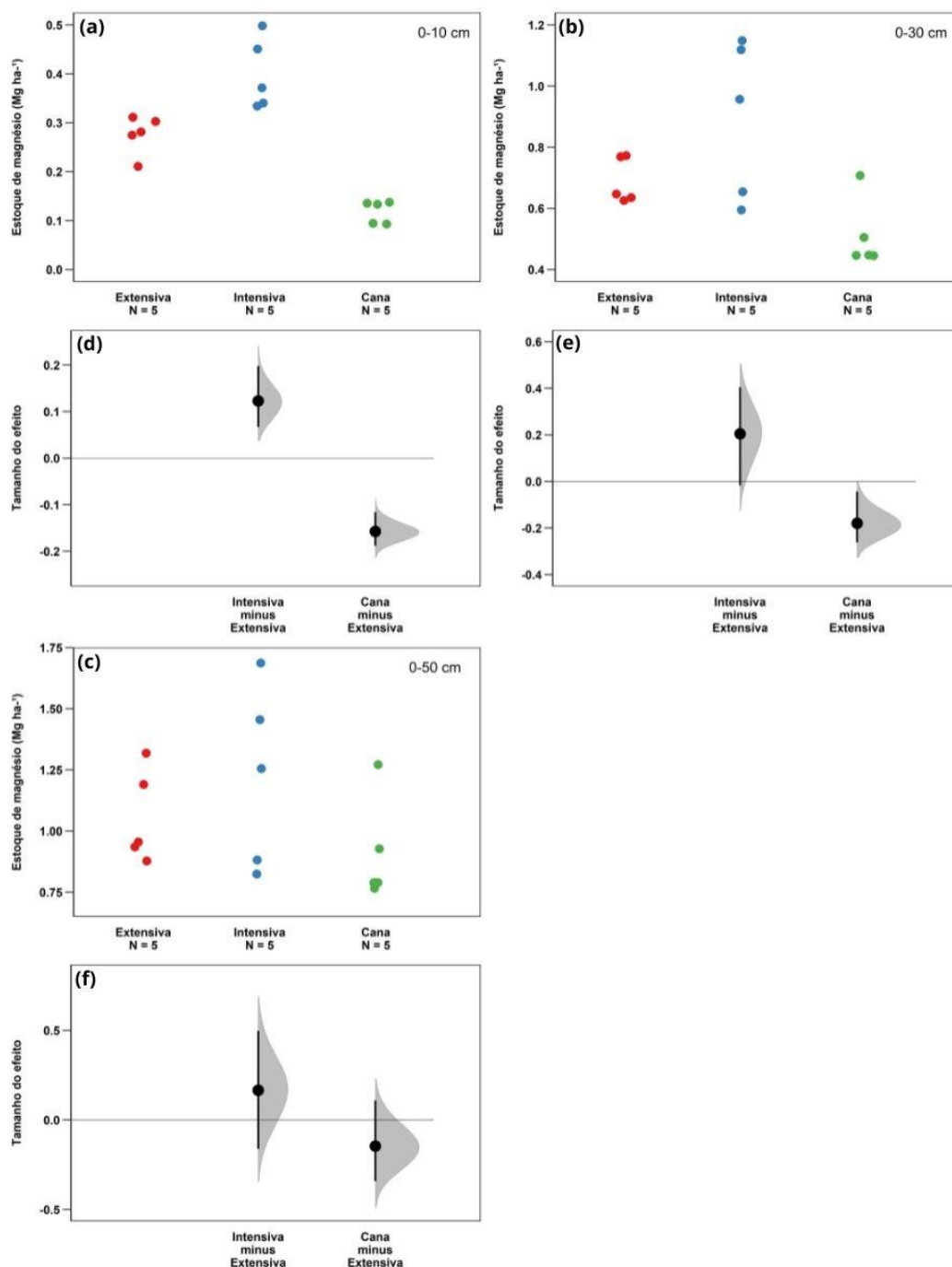


(a) estoques de magnésio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreado cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de magnésio no solo em relação ao tratamento sob pastagem extensiva nas duas áreas de estudo, observa-se na Figura 21d-f que dentre os tratamentos da área de Brotas a distribuição dos dados na profundidade 0-10 cm dos dois tratamentos não intercepta o eixo horizontal e seus valores de d são maiores que 0.8, assim como a cana na profundidade 0-30 cm. Esse comportamento representa diferença estatística entre eles e a pastagem extensiva, sendo os estoques da pastagem intensiva maiores e os da cana menores que a pastagem extensiva. Na profundidade 0-30, a distribuição dos dados da pastagem intensiva intercepta o eixo x, mas seu valor d ainda é maior que 0.8, ou seja, há uma alta probabilidade desses dados diferirem estatisticamente. Por fim, na profundidade 0-50 cm, a distribuição dos dois tratamentos intercepta o eixo horizontal, ambos possuem $d < 0.8$ e os ICs sobrepõem o eixo x, sugerindo então que não há diferença estatística entre esses tratamentos e a pastagem extensiva.

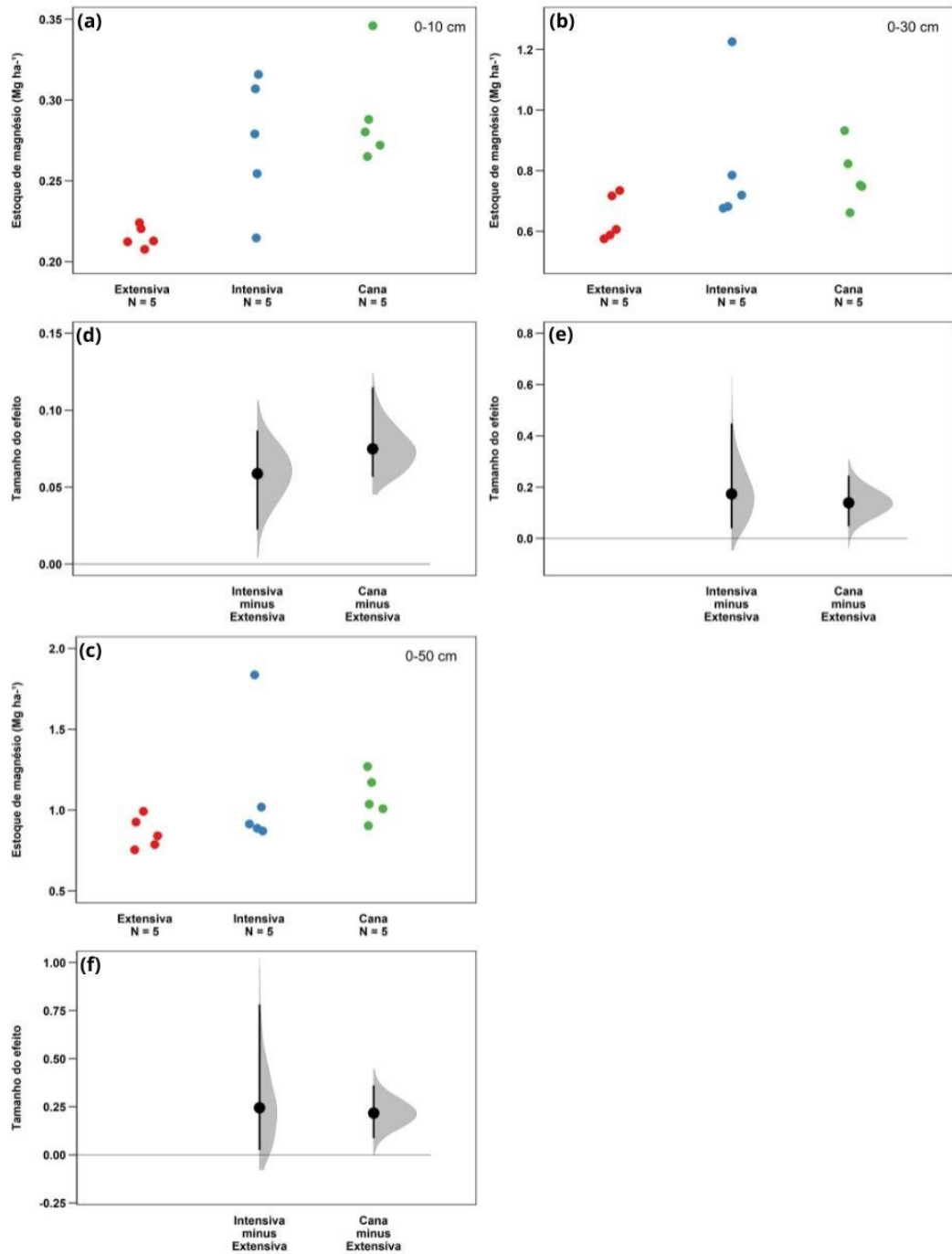
Na área experimental de Salto de Pirapora, de acordo com a Figura 22d-f observa-se que os intervalos de confiança dos tratamentos sob pastagem intensiva e cana não interceptam o eixo x e os valores d são todos maiores que 0.8 nas três profundidades. Com isso, conclui-se que os estoques de magnésio dos dois tratamentos são maiores e se diferem estatisticamente em relação a pastagem extensiva em todas as profundidades.

Figura 21 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoque de magnésio no solo na área experimental de Brotas em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 22 – Gráfico de estoque de magnésio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.



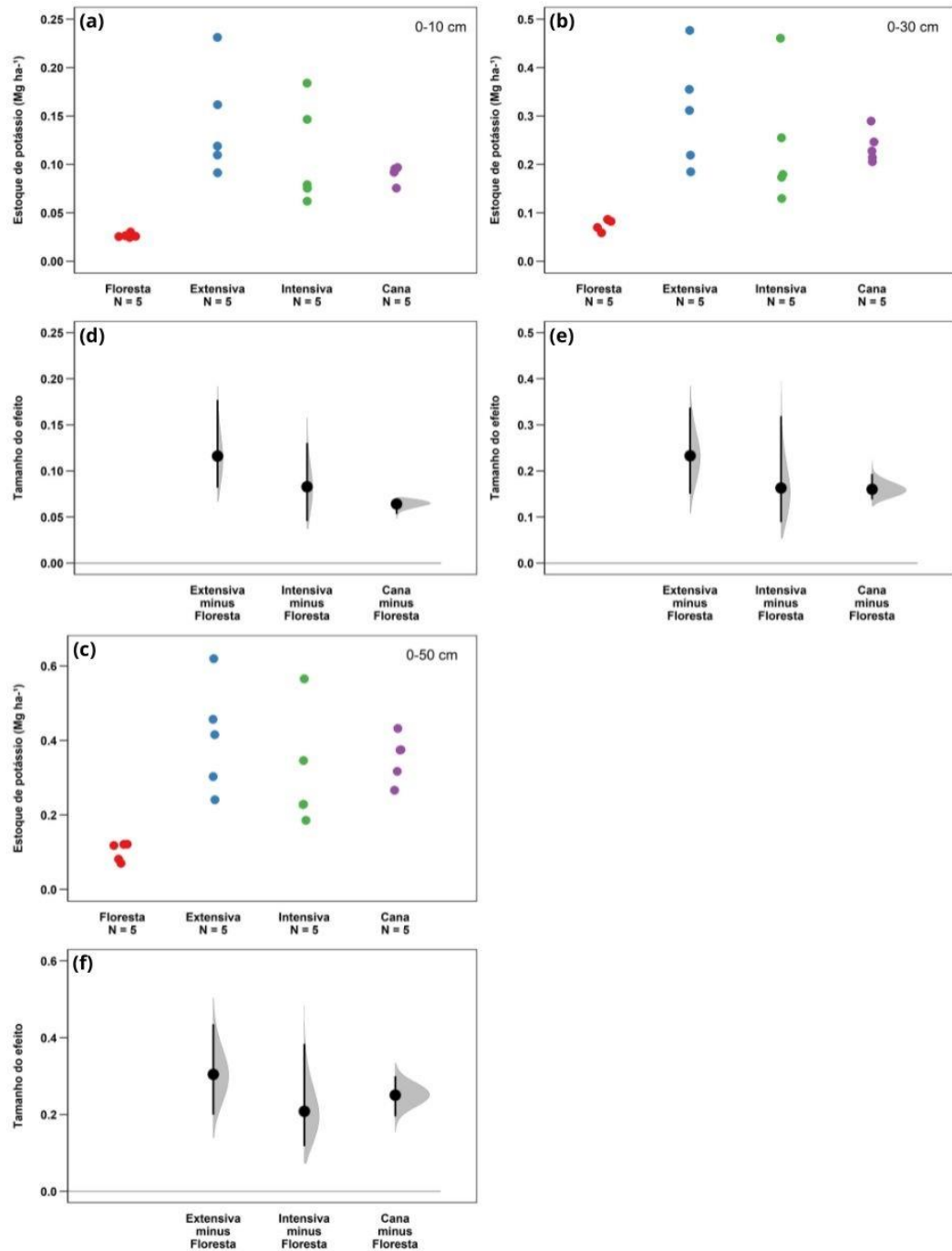
(a) estoque de magnésio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreado cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

4.6 Estoque de potássio no solo

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de potássio no solo nas duas áreas de estudo, observa-se na Figura 23d-f que dentre os tratamentos da área de Brotas nenhuma das distribuições intercepta o eixo x, o que sugere os estoques de todos os tratamentos são maiores e diferem-se estatisticamente da área de referência (Floresta). O que é confirmado pelo valor de d de Cohen, visto que todos são maiores que 0.8.

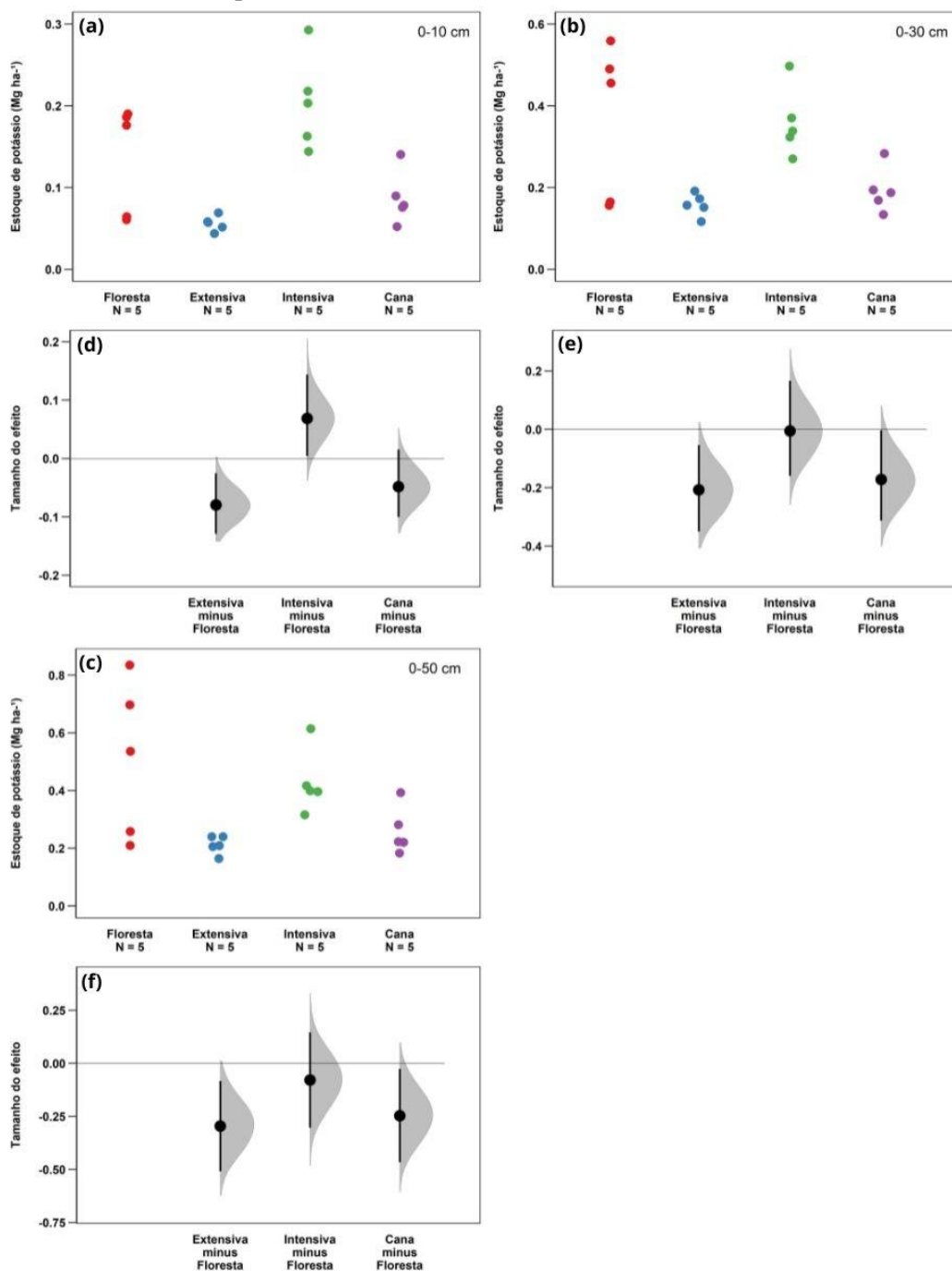
Já em relação a área de Salto de Pirapora, na Figura 24d-f é possível observar que apenas o IC do tratamento sob pastagem extensiva não intercepta o eixo x em nenhuma profundidade. Aliado a isso, o valor d de Cohen (>0.8) confirma a hipótese de que os estoques são menores e há diferença estatística entre esse tratamento e a floresta. Em relação ao tratamento sob pastagem intensiva, nota-se que a distribuição dos dados e os ICs interceptam o eixo x nas profundidades 0-30 cm e 0-50 cm, assim como o tratamento sob cana-de-açúcar na profundidade 0-10 cm. No caso da pastagem intensiva nas duas profundidades citadas acima, os valores d são menores que 0.8, isso confirma que não há diferença estatística em relação ao tratamento sob floresta, já o tratamento sob cana na profundidade 0-10 cm possui valor de d pouco maior que 0.8, sugerindo então que nesse caso há maior robustez na diferença estatística entre a cana e a floresta. Por fim, as distribuições de frequência do tratamento sob cana-de-açúcar nas profundidades 0-30 cm e 0-50 cm interceptam o eixo x, mas seus ICs não, assim como o tratamento sob pastagem intensiva a 0-10 cm. Nesses três casos, os valores d são maiores que 0.8, isso confirma que há diferença estatística em relação a esses tratamentos e a área de referência.

Figura 23 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoques de potássio no solo na área experimental de Brotas em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Figura 24 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a mata nativa, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.

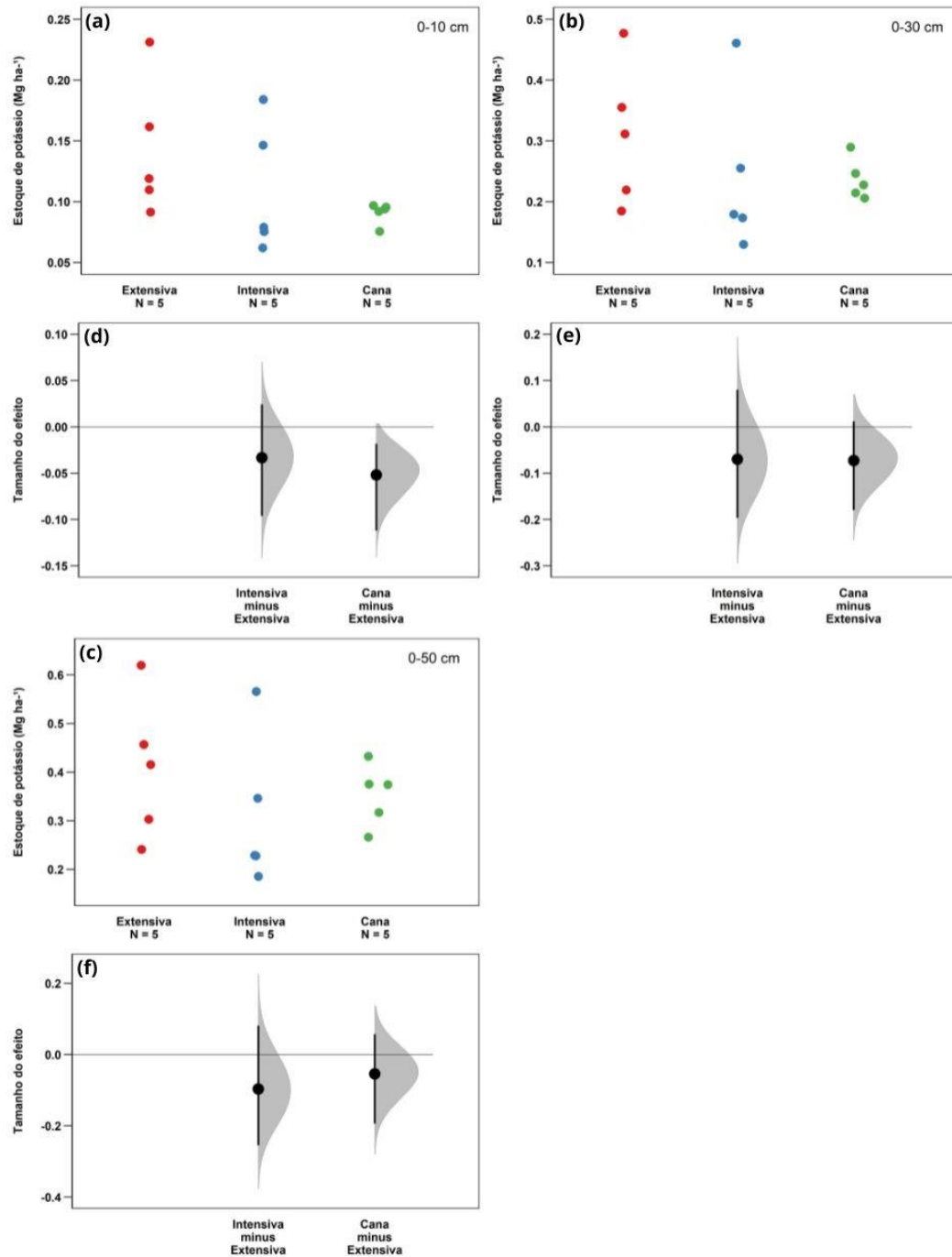


(a) estoques de potássio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de (a) 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d) (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o estoque de potássio no solo em relação ao tratamento sob pastagem extensiva nas duas áreas de estudo, de acordo com a Figura 25d-f nota-se que dentre os tratamentos da área de Brotas as distribuições de frequência e os ICs do tratamento sob pastagem intensiva interceptam o eixo x nas três profundidades. Assim, junto com os valores de d menores que 0.8, conclui-se que não há diferença estatística robusta entre esse tratamento e a área sob pastagem extensiva nas três profundidades. Ainda na área de Brotas, os estoques do tratamento sob cana-de-açúcar são menores e possuem diferença estatística em relação a pastagem extensiva nas profundidades de 0-10 cm e 0-30 cm, isso pode ser observado através dos valores de $d > 0.8$. Já a distribuição dos dados da cana na profundidade 0-50 cm intercepta o eixo x, assim como seu IC. Além disso, seu d é menor 0.8, concluindo que nesse caso não há diferença estatística entre os tratamentos.

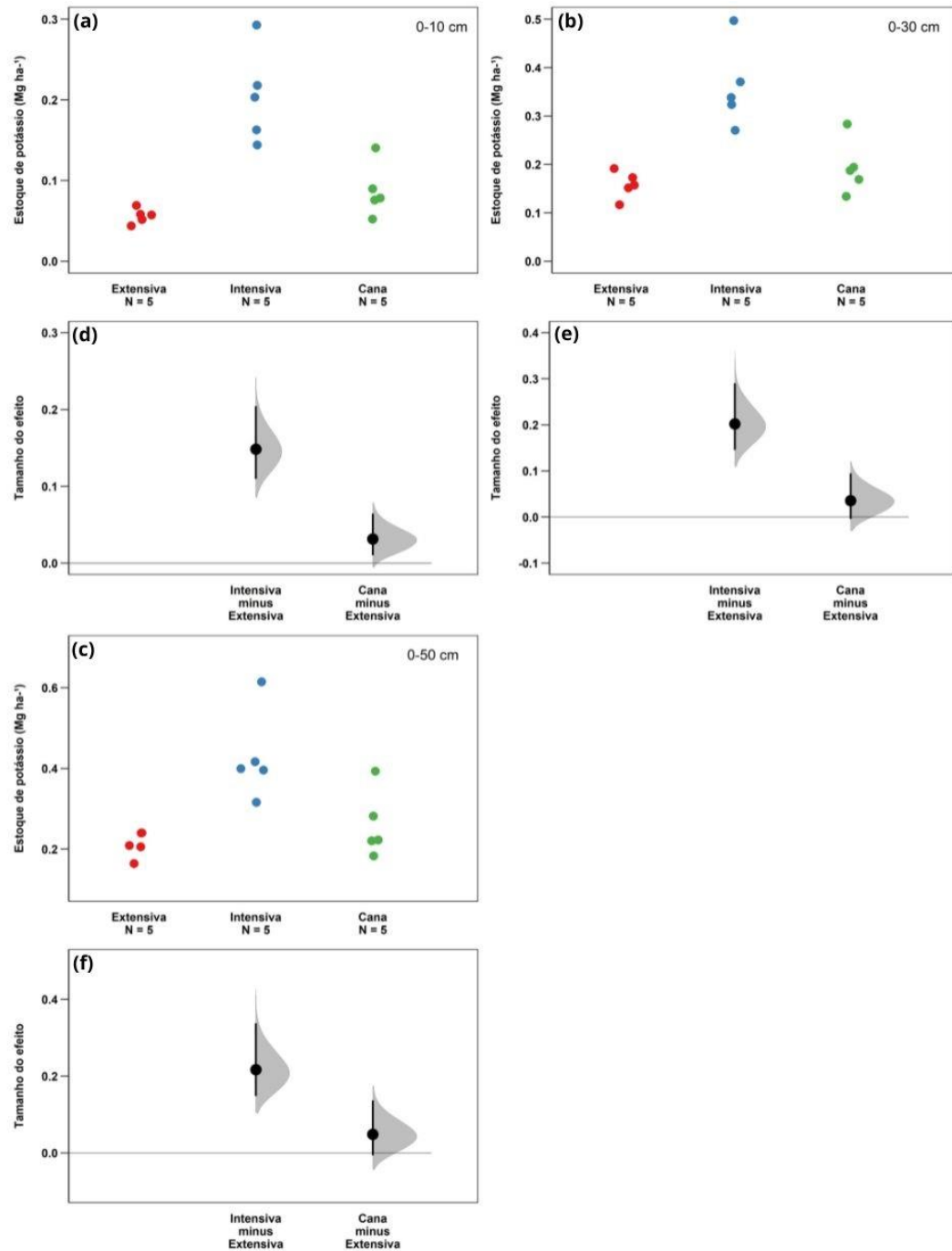
Na área experimental de Salto de Pirapora, de acordo com a Figura 26d-f a distribuição dos dados de pastagem intensiva não intercepta o eixo x em nenhuma profundidade e seus valores de d são todos superiores a 0.8, isso significa que os estoques são maiores e diferem estatisticamente do tratamento sob pastagem extensiva. Já as distribuições de frequência dos tratamentos sob cana-de-açúcar nas três profundidades até interceptam o eixo x. No entanto, os valores de d são maiores ou muito próximos a 0.8 nas três profundidades, indicando diferença estatística em relação ao tratamento sob pastagem extensiva nas três profundidades.

Figura 25 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



(a) estoque de potássio no solo na área experimental de Brotas em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados ($n=5$). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana

Figura 26 – Gráfico de estoque de potássio no solo ((a), (b) e (c)) e de diferença entre médias ((d), (e) e (f)) em relação a pastagem extensiva, nas diferentes profundidades (0-10 cm, 0-30 cm e 0-50 cm) na área experimental de Salto de Pirapora/SP no ano de 2020.

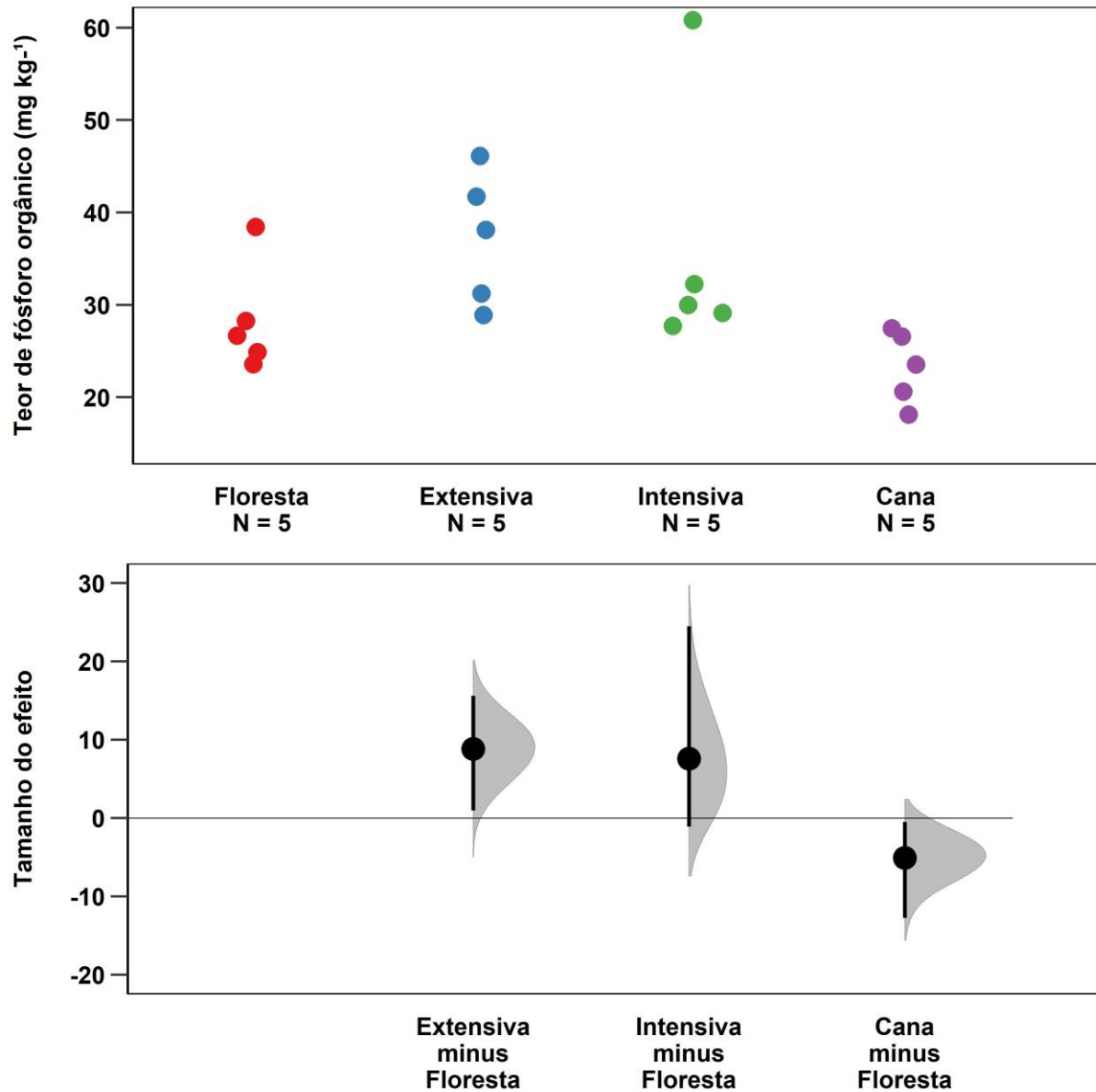


(a) estoque de potássio no solo na área experimental de Salto de Pirapora em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) nos intervalos de 0-10 cm, (b) 0-30 cm e (c) 0-50 cm. Nestes gráficos (a) (b) e (c), os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). Já os gráficos (d), (e) e (f) são gráficos de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando as mesmas profundidades (d) 0-10 cm, (e) 0-30 cm e (f) 0-50 cm. Nestes três últimos, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana

4.7 Fósforo orgânico no solo

O fósforo orgânico foi analisado apenas na área experimental de Brotas, na profundidade superficial de 10 cm. O fracionamento das amostras referente a área de referência de Salto de Pirapora não pôde ser realizado a tempo, por isso, não há como comparar os dados. Assim, ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o teor de fósforo orgânico no solo em Brotas, de acordo com a Figura 27, nota-se que as distribuições dos dados interceptam brevemente o eixo x, e apenas o IC do tratamento sob pastagem intensiva intercepta o eixo horizontal. No caso da pastagem extensiva e da cana, os valores de d são maiores que 0.8, já o valor de d do tratamento sob pastagem intensiva é próximo a 0.7. Ou seja, os teores dos tratamentos sob pastagem extensiva e cana-de-açúcar são maiores e diferem estatisticamente da floresta, já na pastagem intensiva os teores são menores e há maior possibilidade desses dados não se diferirem estatisticamente da floresta em relação aos demais tratamentos, ainda assim, de acordo com a distância de Cohen o tamanho do efeito é considerado “médio/alto”.

Figura 27 – Gráfico do teor de fósforo orgânico no solo e de diferença entre médias, em relação a mata nativa, na profundidade de 0-10 cm na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.

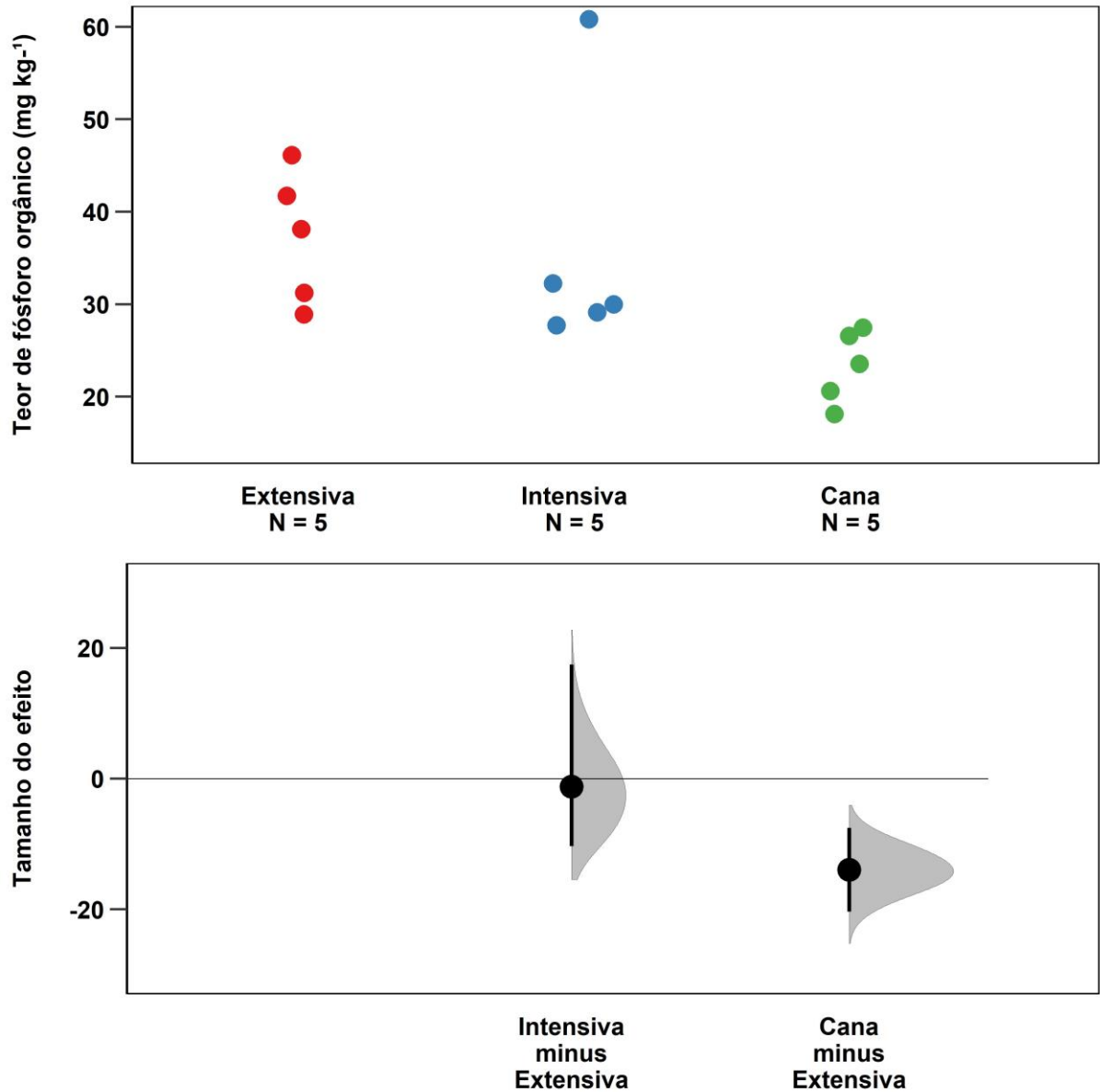


Teor de fósforo orgânico no solo na área experimental de Brotas em quatro diferentes tratamentos (floresta, pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) no intervalo de 0-10 cm. Neste gráfico os pontos representam a distribuição dos dados ($n=5$). O segundo é o gráfico de diferença entre as médias dos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana) em relação a floresta considerando a mesma profundidade 0-10 cm. Neste último, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

Ao comparar os efeitos dos diferentes usos da terra sobre o teor de fósforo orgânico no solo em relação ao tratamento sob pastagem extensiva, observa-se na Figura 28 que o tratamento sob pastagem intensiva não se difere estatisticamente do tratamento sob pastagem extensiva. Isso pode ser interpretado observando o IC a 95% que intercepta o eixo x, e pelo valor de distância de Cohen ($d < 0.8$). Já a distribuição dos dados do tratamento sob cana-de-

açúcar não intercepta o eixo x e seu d é maior que 0,8, ou seja, conclui-se que na cana os teores são menores e há diferença estatística entre esses dois tratamentos.

Figura 28 – Gráfico do teor de fósforo orgânico no solo e de diferença entre médias, em relação a pastagem extensiva, na profundidade de 0-10 cm na área experimental de Brotas/SP no ano de 2020.



Teor de fósforo orgânico no solo na área experimental de Brotas em três diferentes tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) no intervalo de 0-10 cm. Neste gráfico os pontos representam a distribuição dos dados (n=5). O segundo é o gráfico de diferença entre as médias dos dois tratamentos (pastagem intensiva e cana) em relação a pastagem extensiva considerando a mesma profundidade 0-10 cm. Neste último, os pontos representam o coeficiente médio dos modelos estatísticos, a barra em negrito são os intervalos de confiança a 95% e o sombreamento cinza representa a distribuição dos coeficientes gerados pela técnica bayesiana.

5. DISCUSSÃO

Com intuito de facilitar a discussão, cada elemento será abordado de acordo com as respectivas hipóteses iniciais e como os solos das duas áreas experimentais são bem distintos, discutiremos separadamente sobre os estoques em cada área. Em relação ao carbono, espera-se que o estoque desse elemento seja maior nas áreas de vegetação nativa, seguido pelo tratamento sob pastagem extensiva. Esse comportamento é esperado devido a exposição da matéria orgânica do solo causada pela retirada da mata nativa e pelo revolvimento no preparo do solo para a implantação/manejo da produção agrícola (Davidson; Ackerman, 1993; Amundson, 2001; Guo; Gifford, 2002; Ogle et al., 2005; Baker et al., 2007; Don et al., 2011; Eclisa et al., 2012).

Os dados sobre estoque de carbono na área de Brotas contradisseram nossa hipótese. O estoque de C foi maior nos três tratamentos (pastagem extensiva, pastagem intensiva e cana-de-açúcar) em relação a área nativa, independentemente da profundidade amostrada. Provavelmente, o manejo das áreas agrícolas foi adequado, evitando perda excessiva de carbono. A mesma tendência foi também observada em estudos, que concluíram que conforme o tipo de manejo do solo agrícola esse estoque pode se manter semelhante ou até aumentar em referência a área nativa (Guo; Gifford, 2002; Ogle et al., 2005; Zinn et al., 2005; Braz et al., 2013; de Sant'Anna et al., 2017; Santos et al., 2019). Por exemplo, práticas agrícolas como o plantio direto e a rotação de cultura geralmente reduzem a perda de carbono e nutrientes no solo (Sá et al., 2001; Ogle et al., 2005; Zinn et al., 2005; Bayer et al., 2006, 2007, Filoso et al., 2015). Outra hipótese, não excludente a anterior, é que a área florestal já sofreu algum grau de perturbação; por exemplo, por se situar no entorno do município de Brotas, essa área já sofreu eventos sucessivos de queimadas.

Ainda em relação ao estoque de carbono em Brotas, nota-se que os valores dos estoques na cana diminuíram e se diferenciaram estatisticamente da pastagem extensiva (Figura 9). Essa tendência pode ser causada tanto pela perda em consequência do manejo e exposição do solo na produção de cana, quanto devido ao carbono armazenado nos solos sob pastagens na forma de biomassa de raízes (Bai; Cotrufo, 2022). Além disso, em Brotas o teor de argila é ligeiramente menor nos tratamentos sob cana-de-açúcar e floresta (aproximadamente 28% em comparação as pastagens), podendo influenciar no comportamento dos estoques desse elemento, uma vez que o teor de argila geralmente tem relação direta com o teor de carbono do solo (Feller e Bearer, 1997; Zinn et al., 2007; Gonçalves et al., 2017; Cerri et al., 2011).

Na área de Salto de Pirapora, os estoques de carbono foram maiores na vegetação nativa do que nos demais tratamentos (Figura 8) na camada superficial do solo. Confirmando a hipótese inicial sobre este elemento. No entanto, na profundidade 0-50 cm, os estoques dos tratamentos agrícolas não se diferem estatisticamente da área de referência, destacando como o manejo agrícola afeta intensamente a camada superficial do solo. Na Figura 10, que compara os tratamentos sob pastagem intensiva e cana em relação a pastagem extensiva, nota-se a mesma tendência observada em Brotas, estoques menores na cana em relação a pastagem extensiva.

Quanto ao nitrogênio, esperava-se que os estoques de N fossem maiores na área sob vegetação nativa, pois mesmo com as entradas de N pela fertilização nos tratamentos sob pastagem intensiva e cana-de-açúcar, diversos estudos já relataram uma diminuição nos estoques em várias áreas adubadas com N e sob diferentes sistemas de cultivo (Lima et al., 2011; Fracetto et al., 2012; Barros et al., 2013; Sacramento et al., 2013; Cardoso et al., 2010; Silva et al., 2011; Guareschi et al., 2012; Sisti et al., 2004; Santana et al., 2013; Sá et al., 2013). Groppo et al (2015) também conclui que aparentemente, fertilizando ou não áreas agrícolas, as perdas de N via lixiviação, formas gasosas e exportações pela cultura são maiores do que as entradas, podendo resultar na diminuição dos estoques de nitrogênio no solo. Com isso, esperava-se uma queda no estoque de N nas áreas agrícolas. No entanto, em Brotas os dados também contradizem a hipótese inicial e mesmo com o provável aumento nas perdas de nitrogênio nas áreas adubadas, os estoques de N ainda foram maiores nos solos sob cultivo agrícola em comparação a área de vegetação nativa (Figura 11). Dentre os tratamentos, os estoques de N na cana foram estatisticamente menores em relação a pastagem extensiva, já o processo de intensificação da pastagem não afetou o estoque de N (Figura 13).

Observando os dados referente aos estoques de N na área de Salto de Pirapora, confirma-se a hipótese inicial sobre esse elemento, visto que os estoques são menores nos tratamentos agrícolas em comparação a floresta. De acordo com os dados obtidos por Bento et al (2018) em experimento anterior, o tratamento sob pastagem extensiva emitiu 9319 kg C-CO₂ ha⁻¹; -0,44 kg C-CH₄ ha⁻¹ e 0,10 kg N-N₂O ha⁻¹ por ano, enquanto a pastagem intensiva emitiu 9302 kg C-CO₂ ha⁻¹; -0,24 kg C-CH₄ ha⁻¹ e 2,09 kg N-N₂O ha⁻¹ e a cana 7697 kg C-CO₂ ha⁻¹; -0,65 kg C-CH₄ ha⁻¹ e 1,50 kg N-N₂O ha⁻¹ por ano. Esses dados confirmam a hipótese de que a aplicação de nitrogênio através da adubação, pode aumentar a emissão de N₂O pelo sistema, no entanto, não são suficientes para confirmar a queda nos estoques de N nos tratamentos agrícolas, já que é um valor muito pequeno perto da dimensão dos estoques do solo. Ou seja, houve aumento na emissão de N₂O, mas o nitrogênio provavelmente foi retirado do solo nos sistemas agrícolas através da lixiviação e da exportação da cultura em quantidades mais significativas. Além disso,

o fragmento florestal utilizado como referência nessa área é muito bem conservado. Comparando os dados da pastagem intensiva e cana com a pastagem extensiva, nota-se na Figura 14 uma tendência de aumento nos estoques de N na pastagem intensiva, mas só existe diferença estatística entre esses valores na profundidade de 0-50 cm, enquanto a cana não se difere estatisticamente da extensiva em nenhuma profundidade.

Além do comportamento semelhante entre os estoques de C e N, existe semelhança também entre os dados dos estoques de cálcio e magnésio na área experimental de Brotas. A hipótese inicial sugere que os estoques de Ca e Mg dos tratamentos sob pastagem intensiva e cana-de-açúcar (que receberam calagem, ver Material e Métodos) fossem maiores que os estoques na área de vegetação nativa. Em Brotas os estoques de Ca e Mg foram maiores nos três tratamentos agrícolas em relação a área de vegetação nativa, confirmando a hipótese sobre esses elementos. Dentre os tratamentos agrícolas, na camada superficial do solo (0-10 cm) os estoques dos dois elementos são maiores na pastagem intensiva e menores na cana-de-açúcar e ambos se diferem estatisticamente da pastagem extensiva nessa camada. O mesmo se observa nos estoques de Mg na camada 0-30 cm. Analisando essa diferença entre a pastagem intensiva e a cana (Figuras 17 e 21), é possível imaginar que a cana possua uma alta capacidade de exportação desses nutrientes (Cherubin et al., 2019). No entanto, o comportamento em relação a esses dois tratamentos observado na área de Salto de Pirapora (Figuras 18 e 22), contradiz essa ideia.

Os dados dos estoques de Ca em Salto de Pirapora são contraditórios a hipótese inicial. Nesta área os estoques de Ca nos tratamentos agrícolas são inferiores aos estoques de Ca da vegetação nativa. Esta tendência, provavelmente ocorre devido as altas concentrações de Ca nos solos da região (Bento et al., 2018) e como a área sob vegetação nativa não sofreu perturbação, esse elemento não foi perdido como ocorreu nos tratamentos sob cultivo agrícola. Comparando a pastagem intensiva e a cana com a pastagem extensiva, os estoques de Ca são maiores nos tratamentos intensivos na camada 0-30 cm devido ao preparo do solo, confirmando a hipótese esperada.

Também se esperava maiores valores de estoque de Mg nos tratamentos sob pastagem intensiva e cana-de-açúcar em relação ao tratamento sob vegetação nativa em Salto de Pirapora. No entanto, os estoques de Mg são inferiores aos da vegetação nativa, exceto no tratamento sob pastagem intensiva, visto que os valores são inferiores, mas não se diferem estatisticamente da floresta nas profundidades 0-30 cm e 0-50 cm. Já, comparando a pastagem intensiva e a cana com a pastagem extensiva, os estoques de Mg são maiores nos tratamentos intensivos devido ao preparo do solo, confirmando a hipótese esperada.

Em relação aos estoques de K no solo, esperava-se estoques maiores nos tratamentos intensivos (pastagem intensiva e cana-de-açúcar) em relação aos estoques da pastagem extensiva. Na área experimental de Brotas, os estoques de K são maiores nos tratamentos sob cultivo agrícola em comparação ao tratamento sob vegetação nativa, o que confirma a hipótese inicial. Mais uma vez, resultado do bom manejo agrícola ou do grau de perturbação da área de vegetação nativa usada como referência. Comparando a pastagem intensiva com a pastagem extensiva, ao contrário do que se esperava, os estoques não foram estatisticamente diferentes e o estoque de K na cana na camada superficial do solo é menor em relação a pastagem extensiva. Apesar da aplicação de K na pastagem intensiva e na cana, é importante mencionar que o potássio é um elemento muito móvel, e o solo da área de Brotas é um solo arenoso, assim, o K é perdido facilmente (Kayser; Isselstein, 2005).

Em Salto de Pirapora a hipótese inicial em relação ao potássio é confirmada apenas na comparação entre a pastagem intensiva e a área nativa na camada superficial (0-10 cm), nas demais profundidades esses dois tratamentos não se diferem estatisticamente. Já os estoques na cana-de-açúcar e na pastagem extensiva são menores e se diferem estatisticamente da floresta. Em relação ao que se esperava do tratamento sob cana-de-açúcar, isso contradiz a hipótese inicial. Comparando a pastagem intensiva e a cana com a pastagem extensiva em Salto nota-se o efeito da adubação como citado na hipótese inicial. Tanto o estoque de K da pastagem intensiva quanto da cana são maiores e se diferem estatisticamente da pastagem extensiva.

O teor de fósforo orgânico foi analisado apenas na área de Brotas na camada superficial. Comparando-se com a área de vegetação nativa, esperava-se que os teores nos tratamentos fossem menores. Contudo, os teores de P orgânico nas pastagens foram maiores em relação a floresta, contrariando nossa hipótese inicial (Figura 27). No entanto, Cherubin et al. (2016) destaca um comportamento semelhante, quando destaca a maior contribuição de P orgânico para o pool de P lábil na pastagem em comparação a área nativa. Esse comportamento pode representar significativa reciclagem de P (Costa et al., 2014; Crews; Brookes, 2014; Franco et al., 2015; Stutter et al., 2015) ao retornar ao solo por meio de dejetos animais (Nash et al., 2014) ou ser consequência do carbono orgânico armazenado no solo sob pastagens (Bai; Cotrufo, 2022). Já comparando a pastagem intensiva e a cana com a pastagem extensiva, observa-se que os teores das pastagens não se diferem entre si, mas os teores dos tratamentos sob cana são inferiores.

Além do acúmulo de nutrientes no solo, existe o sistema solo-planta, ou seja, os elementos analisados também são exportados para a planta e se transformam em biomassa. Nas duas áreas experimentais, juntamente com as análises de solo, foram feitas coletas da biomassa das pastagens e da cana-de-açúcar para obter o teor exportado de C e N pelas culturas, pois além do estoque no solo, a biomassa das plantas também é uma forma de acumular nutrientes. No entanto, essa análise não foi feita para os demais elementos, dificultando assim uma conclusão detalhada sobre a capacidade de exportação das culturas.

6. CONCLUSÃO

As duas áreas experimentais são muito distintas entre si, implicando diretamente nos estoques quando comparamos cada um com seu respectivo fragmento florestal. É necessário considerar que o fragmento utilizado como referência na área experimental de Brotas é um fragmento florestal degradado. Por esse motivo, ou por um manejo agrícola adequado, em média todos os estoques de todos os elementos são maiores nos tratamentos agrícolas em relação a floresta (-19,7; -19,5 e -14 Mg ha⁻¹ de C, -1,6; -1,5 e -1,2 Mg ha⁻¹ de N, -1,4; -1,6 e -1,3 Mg ha⁻¹ de Ca, -0,8; -1,0 e -0,7 Mg ha⁻¹ de Mg e -0,3; -0,2 e -0,25 Mg ha⁻¹ de K, respectivamente nos tratamentos PE, PI e CN, em relação a vegetação nativa da área na camada de 0-50 cm). Já na área experimental de Salto de Pirapora o fragmento florestal é conservado e em média os estoques de praticamente todos os elementos são maiores na floresta (2,1; -2,4 e 4,5 Mg ha⁻¹ de C, 1,9; 1,3 e 1,8 Mg ha⁻¹ de N, 3,4; 3,1 e 2,5 Mg ha⁻¹ de Ca, 0,4; 0,16 e 0,2 Mg ha⁻¹ de Mg e 0,3; 0,08 e 0,25 Mg ha⁻¹ de K, respectivamente nos tratamentos PE, PI e CN, em relação a vegetação nativa da área na camada de 0-50 cm). Dificultando a conclusão sobre o comportamento dos estoques quando comparados a vegetação nativa. Ainda é importante mencionar que a área experimental de Salto de Pirapora está localizada próxima a uma fábrica de cimento, ou seja, devido a deposição atmosférica o solo da região possui concentrações de cálcio e magnésio relativamente altas.

Além disso, a diferença clara nos estoques entre as duas áreas mostra como a textura do solo é um fator importantíssimo para essa avaliação. Por isso, ainda é importante avaliar detalhadamente o comportamento dos estoques em função da granulometria do solo, tanto entre os tratamentos de cada área, quanto entre as áreas experimentais.

Os dados deste estudo são muito complexos, por isso, é delicado generalizar conclusões em relação as consequências da intensificação das pastagens e da conversão pasto-cana nos estoques dos elementos no solo. Assim, ainda é necessário analisar com mais cautela principalmente dois fatores: a qualidade do fragmento florestal usado como referência e avaliar a influência da textura do solo nos estoques desses elementos no solo.

REFERÊNCIAS

Aguiar, A.C.F. et al. Organic matter fraction and pools of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 158–164, 2013.

Alkimim, A.; Sparovek, G.; Clarke, K.C. Converting Brazil's pastures to cropland: an alternative way to meet sugarcane demand and to spare forestlands. **Applied Geography**, v. 62, p. 75–84, 2015.

Alkimim, A.; Clarke, K.C. Land use change and the carbon debt for sugarcane ethanol production in Brazil. **Land Use Policy**, 72, 65–73, 2018.

Alvares, A.C. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

Amundson, R. The carbon budget in soils. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 29, p. 535–562, 2001.

Andrade de Sá, S.; Palmer, C.; di Falco, S. Dynamics of indirect land-use change: empirical evidence from Brazil. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 65, p. 377–393, 2013.

Assad, E.D. et al. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, p. 6141–6160, 2013.

Bai, Y.; Cotrufo, M.F. Grassland soil carbon sequestration: current understanding, challenges, and solutions. **Science**, v. 377, n. 6606, p. 603–608, 2022.

Baker, J.M. et al. Tillage and soil carbon sequestration: what do we really know? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 118, n. 1–4, p. 1–5, 2007.

Ball-Coelho, B. et al. Short- and long-term phosphorus dynamics in fertilized ultisol under sugarcane. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1027–1034, 1993.

Barros, J.D.S. et al. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros paraibanos. **Revista Caatinga**, v. 26, p. 35–42, 2013.

Bento, C.B. et al. Impacts of sugarcane agriculture expansion over low-intensity cattle ranch pasture in Brazil on greenhouse gases. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 980–988, 2018.

Bordonal, R.O.; Figueiredo, E.B.; La Scala N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest, considering other conservationist management practices. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 4, p. 846–858, 2012.

Bordonal, R.O. et al. Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 240, p. 54–65, 2017.

BORTOLON, E.S.O. et al. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1635-1646, 2009.

Braz, S.P. et al. Soil carbon stocks under productive and degraded brachiaria pastures in the Brazilian cerrado. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 914–928, 2013.

Burney, J.A.; Davis, S.J.; Lobell, D.B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 107, p. 12052–12057, 2010.

Butler, S.J.; Vickery, J.A.; Norris, K. Farmland biodiversity and the footprint of agriculture. **Science**, p. 315, p. 381-384, 2007.

Cardoso, E.L. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1028–1035, 2010.

Carmo, J.B. et al. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. **Global Change Biology - Bioenergy**, v. 5, p. 267-280, 2013. doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x.

Ceddia, M.B. et al. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 1467–1473, 1999.

Cerri, C.C.; Feller, C.; Chauvel, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers ORSTOM Série Pédologie**, v. 26 p. 37–50, 1991.

Cerri, C.C. et al. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p. 23–28, 2011.

Cerri, C.C. et al. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2593-2600, 2016.

Cherubin, M.R. et al. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils: effects of land-use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 211, p. 173–184, 2015.

Cherubin, M.R. et al. Phosphorus pools responses to land-use change for sugarcane expansion in weathered Brazilian soils. **Geoderma**, v. 265, p. 27-38, 2016.

Cherubin, MR, Lisboa, IP, Silva, AGB et al. Remoção da Palha da Cana: Implicações na Fertilidade do Solo e na Demanda de Fertilizantes no Brasil. **Bioenergia**. Res. 12, 888–900. 2019.

Cohen, J. Quantitative methods in psychology: a power primer. **Psychological Bulletin**, v. 112, n. 1, p. 155-159, 1992.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Segundo Levantamento. Brasília, DF, 2015. 20 p.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Série Histórica das Safras**. Brasília: 2022.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Segundo Levantamento. Brasília, DF, 2022.

Condron, L.M.; Goh, K.M.; Newman, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. **European Journal of Soil Science**, v. 36, n. 2, p. 199–207, 1985.

Cortez, L.A.B. (coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2014.

Costa, S.E.V.G.A.; Souza, E.D.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C.F.; Martins, A.P.; Kunrath, T.R.; Cecagno, D.; Balerini, F. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 43–51, 2014.

Crews, T.E.; Brookes, P.C. Changes in soil phosphorus forms through time in perennial versus annual agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 184, p. 168–181, 2014.

Cumming, G. The new statistics: why and how. **Psychological Science**, v. 25, p. 7–29, 2014.

Davidson, E.A.; Ackerman, I.L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. **Biogeochemistry**, v. 20, p.161–193, 1993.

Davidson, E. A. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p. 321–328, 2012.

Degaspari, I.A.M.; Soares, J.R.; Montezano, Z.F; Del Grosso, S.J.; Vitti, A.C.; Rossetto, R., Cantarella, H. Nitrogen sources and application rates affect emissions of N₂O and NH₃ in sugarcane. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 116, n. 3, p. 329–344, 2020.

Don, A.; Schumacher, J.; Freibauer, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 17, p. 1658–1670, 2011. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x.

Eclesia, R.P. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. **Global Change Biology**, v. 18, p. 3237–3251, 2012. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02761.x.

Efron, B.; Tibshirani, R.J. **An introduction to the bootstrap**. Boca Raton: CRC Press, 1994.

Ellert, B.H.; Bettany, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, p. 529–538, 1995.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

Estavillo J.M.; Merino P.; Pinto M.; Yamulki S.; Gebauer G.; Sapek A. and Corre W. (2002) Short term effect of ploughing a permanent pasture on N₂O production from nitrification and denitrification. **Plant and Soil**, 239, 253–265.

Euclides, V.P.B. et al. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**, v. 61, p. 808-818, 2014.

Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 147–166, 1998.

Fearnside, P.M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 21–34, 1996.

Fearnside, P. M. et al. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian “arc of deforestation”: the states of Mato Grosso and Rondonia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1968-1978, 2009.

Feller, C. and Beare, M. H.: Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics, **Geoderma**, 79, 69–116, 1997.

Filoso, S. et al. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1847-1856, 2015.

Fiorio, P.R.; Demattê, J.A.M.; Sparovek, G. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 671–679, 2000.

Foley, J.A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.

Fracetto, F.J.C. et al. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1545-1552, 2012.

Franco, A.L.C.; Cherubin, M.R.; Pavinato, P.S.; Cerri, C.E.P.; Six, J.; Davies, C.A.; Cerri, C.C. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 515-516, p. 30-38, 2015.

Fu, B.; Zhang, L.; Xu, Z.; Zhao Wei, Y.; Skinner, D. Ecosystem services in changing land use. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 833-843, 2015.

Galdos, M.V.; Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, v. 153, p. 347-352, 2009.

Gasparatos, A.; Stromberg, P.; Takeuchi, K. Biofuels, ecosystem services and human wellbeing: putting biofuels in the ecosystem services narrative. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 142, p. 111-128, 2011.

Gatiboni, L.C.; Condrón, L.M. A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agroecosystems. **Geoderma**, v. 385, art. 114893, 2021. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114893.

Gracindo, C.V. et al. Performance of sheep grazing in pastures of *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum*, and *Andropogon gayanus* with different protodioscin concentrations. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, p. 733-737, 2014.

Groppo, J.D. et al. Changes in soil carbon, nitrogen and phosphorus due to land-use changes in Brazil. **Biogeosciences**, v. 12, p. 2533-2571, 2015.

Godde, C.M. et al. Grazing systems expansion and intensification: drivers, dynamics, and trade-offs. **Global Food Security**, v. 16, p. 93-105, 2018.

Goldemberg, J. et al. Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy**, v. 69, p. 14-18, 2014.

Gonçalves, D.R.P.; Sá, J.C.d.M.; Mishra, U.; Cerri, C.E.P.; Ferreira, L.A.; Furlan, F.J.F. Soil type and texture impacts on soil organic carbon storage in a sub-tropical agro-ecosystem **Geoderma**, v. 286, p. 88-97, 2017.

Guareschi, R.F.; Pereira, M.G.; Perin, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 909–920, 2012.

Guo, L.B.; Gifford, R.M. Soil carbon stocks and land use change: a metaanalysis. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 8, p. 345–360, 2002.

Gütschow, J. et al. The PRIMAP-hist national historical emissions time series. **GFZ Data Services**, v. 1, p. 1850-2014, 2017.

Hedley, M.J.; Stewart, J.W.B.; Chauhan, B. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, p. 970–976, 1982.

Hernandes, T.A.D.; Bufon, V.B.; Seabra, J.E.A. Modeling and Analysis: water footprint of biofuels in Brazil. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 8, p. 241-252, 2014.

Houghton, R. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. **Tellus**, v. 51B, p. 378-390, 2003.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Resultados preliminares do Censo Agro 2017**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/pecuaria.html. Acesso em: 06 set. 2022.

Ioannidis, J.P.A. Why most published research findings are false. **PLoS Medicine**, v. 2, e124, 2005.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. **Climate change 2022: Mitigation of Climate Change**. 2022. (Contribution of Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change).

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis**. Cambridge; New York: 2013. (Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change).

Kayser M.; Isselstein J. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. **Grass and Forage Science**, v. 60, p. 213-224, 2005.

Lal, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004a.

Lal, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, p. 1-22, 2004b.

Lal, R. Enhancing Eco-efficiency in Agro-ecosystems through Soil Carbon Sequestration. **Crop Science**, v. 50, p. 120-131, 2010.

Lapola, D.M.; Schaldach, R.; Alcamo, J.; Dondeau, A.; Kock, J.; Koelking, C.; Priess, J.A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 107, p. 3388-3393, 2010.

Lapola, D.M.; Martinelli, L.A.; Peres, C.A.; Ometto, J.P.H.B.; Ferreira, M.E.; Nobre, C.A.; Aguiar, A.P.D.; Bustamante, M.M.C.; Cardoso, M.F.; Costa, M.H.; Joly, C.A.; Leite, C.C.; Moutinho, P.; Sampaio, G.; Strassburg, B.B.N.; Vieira, I.C.G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 27-35, 2014.

Lima, S.S. et al. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v. 35, p. 51–60, 2011.

Malavolta, E. Potassium status of tropical and subtropical region soils. In: Munson, R.D. (ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: SSSA, 1985. p. 163-200.

Mariano, E. et al. Mineral nitrogen forms alter ¹⁴C-glucose mineralization and nitrogen transformations in litter and soil from two sugarcane fields. **Applied Soil Ecology**. v. 107, p. 154–161, 2016.

Martinelli, L.A. et al. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Environmental Sustainability**, v. 2, p. 431–438, 2010.

Martinelli, L.A.; S. Filoso. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. **Ecological Applications**, v. 18, p. 885–898, 2008.

de Souza Medeiros, A.; dos Santos, T.C.; Maia, S.M.F. Effect of long-term and soil depth on soil organic carbon stocks after conversion from native vegetation to conventional tillage systems in Brazil. **Soil and Tillage Research**, 219, 105336, 2022.

Mello, F.F.C. et al. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 605-609, 2014.

Messiga, A.J. et al. Soil nutrients and other major properties in grassland fertilized with nitrogen and phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v. 18, p. 643–652, 2013.

Miller, S.A. Minimizing land use and nitrogen intensity of bioenergy. **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 3932–3939, 2010.

Muchovej, R.M.C.; Rechcigl, J.E. Impact of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In: LAL, R.; STEWART, B.A. (eds.) **Soil processes and water quality**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1994. p. 91-136.

Nachiluk, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo**, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5.

Nash, D.M.; Haygarth, P.M.; Turner, B.L.; Condrón, L.M.; McDowell, R.W.; Richardson, A.E.; Watkins, M.; Heaven, M.W. Using organic phosphorus to sustain pasture productivity: A perspective. **Geoderma**, v. 221, p. 11-19, 2014.

Ogle, S.M.; Breidt F.J.; Paustian, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v. 72, p. 87–121, 2005. doi:10.1007/s10533-004-0360-2.

Oliveira, J.C.M.; Vaz, C.M.P.; Reichardt, K. Efeito do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades físicas de um latossolo vermelho escuro. **Scientia Agricola**, v. 52, p. 50–55, 1995.

ONU. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2022.

Otto, R. et al. Nitrogen use efficiency for Sugarcane–biofuel production: what is next? **BioEnergy Research**, v. 9, p. 1272-1289, 2016.

Pavinato, P.S.; Merlin, A.; Rosolem, C.A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 105, p. 149-155, 2009.

Prado, R.M.; Centurion, J.F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 197-203, 2001.

Robinson N. et al. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. **PLoS One**, v. 6, e19045, 2011.

Sá, J.C.M. et al. Soil-specific inventories of landscape carbon and nitrogen stocks under no-till and native vegetation to estimate carbon offset in a subtropical ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 2094-2110, 2013.

Sabine, C.L. et al. Current status and past trends of the global carbon cycle. In: Field, C.B.; Raupach, M.R. (eds.). **The global carbon cycle: integrating humans, climate and the natural world.** Washington, DC: Island Press, 2004. p. 17-44.

Sacramento, J.A.A.S. et al. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 784–795, 2013.

Santana, G.S. et al. Chemical composition and stocks of soil organic matter in a south Brazilian oxisol under pasture. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, p. 821–829, 2013.

de Sant-Anna, S.A.C.; Jantalia, C.P.; Sá, J.M. et al. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 101–120, 2017.

Santos, C. A.; Rezende, C. P.; Pinheiro, E. F. M.; Pereira, J. M.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, v. 337, p. 394–401, 2019.

Sattolo, T.M.S. et al. Soil carbon and nitrogen dynamics as affected by land use change and successive nitrogen fertilization of sugarcane. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 247, p. 63–74, 2017.

Schlesinger, W.H.; Amundson, R. Managing for soil carbon sequestration: let's get realistic. **Global Change Biology**, v. 25, p. 386–389, 2018.

Sena, J. et al. Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg no solo sobre o crescimento de mudas de angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). **Acta Amazônica**, v. 40, p. 309–318, 2010.

Silva, A.J.N.; Ribeiro, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 677–684, 1997.

Silva, A.J.N. et al. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em latossolo amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedade micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 515–525, 1998.

Silva, E.F. et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavourapecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1321–1331, 2011.

Silva, R.O. et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 201–211, 2017.

Sisti, C.P.J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, p. 39–58, 2004.

Smith, P. et al. Competition for land. **Philosophical Transactions of the Royal Society, Biological Sciences**, v. 365, p. 2941–2957, 2010.

Soltangheisi, A. et al. Cover cropping may alter legacy phosphorus dynamics under long-term fertilizer addition. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, art. 13, 2020.

Souza Junior, C.M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, art. 2735, 2020.

Springmann, M.; Clark, M.; Mason-D'Croz, D.; Wiebe, K.; Bodirsky, B.L.; Lassaletta, L.; Willett, W. Options for keeping the food system within environmental limits. **Nature**, v. 562, p. 519-525, 2018.

Stutter, M.I.; Shand, C.A.; George, T.S.; Blackwell, M.S.A.; Dixon, L.; Bol, R.; MacKay, R.L.; Richardson, A.E.; Condon, L.M.; Haygarth, P.M. Land use and soil factors affecting accumulation of phosphorus species in temperate soils. **Geoderma**, v. 257-258, p. 29–39, 2015.

Snyder, C.S.; Bruulsema, T.W.; Jensen, T.L.; Fixen, P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 133, p. 247–266, 2009.

Tans, P.; Keeling, R. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. Boulder: Global Monitoring Laboratory, 2017. Disponível em: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/. Acesso em: 06 set. 2022.

Thorburn, P.J.; Meier, E.A.; Probert, M.E. Modelling, nitrogen dynamics in sugarcane systems: recent advances and applications. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2–3, p. 337-351, 2005.

Tiessen, H.; Stewart, J.W.B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: ii. cultivation effects on organic matter composition in size fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 509–514, 1983.

Tiessen, H.; Stewart, J.W.B.; Bettany, J.R. Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 831–835, 1982.

Tilman, D. et al. Beneficial Biofuels - the food, energy, and environment trilemma. **Science**, v. 235, p. 270–271, 2009.

Tilman, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 108, p. 20260–20264, 2011.

Van Raij, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed. Campinas: IAC, 1996. (Boletim Técnico, 100).

Van Raij, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.

Walker, T.W.; Syers, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, v. 15, p. 1–19, 1976.

Walter, A.; Galdos, M.V.; Scarpere, F.V.; M.R.L.V. Leal, J.E.A. Seabra, M.P. Cunha, M.C.A. Picoli, C.O.F. Oliveira. Brazilian sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future. **Wires Energy Environment**, v. 3, p. 70-92, 2014.

Withers, P.J.A.; Vadas, P.A.; Uusitalo, R.; Forber, K.J.; Hart, M.; Foy, R.H.; Owens, P.R. A global perspective on integrated strategies to manage soil phosphorus status for eutrophication control without limiting land productivity. **Journal of Environmental Quality**, v. 48, n. 5, art. 1234, 2019.

White, R.P.; Murray, S.; Rohweder, M. **Pilot analysis of global ecosystems**: grassland ecosystems. Washington, DC: World Resources Institute, 2000.

Zinn, Y.L.; Lal, R.; Resck, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 84, p. 28–40, 2005.

Zinn, Y.L.; Lal R.; Bigham, J.M.; Resck, D.V.S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 1204-1214, 2007.

APÊNDICES

Apêndice A: Caracterização química do solo nas diferentes parcelas experimentais (Pastagem extensiva, Pastagem intensiva, Cana-de-açúcar e Floresta).

Local	Uso da terra	Bloco	Prof cm	Total N mg g ⁻¹	Total C mg g ⁻¹	P orgânico mg kg ⁻¹	P (resina) mg dm ⁻³	K ----- mmol _c dm ⁻³ -----	Ca	Mg	pH(CaCl ₂)	M.O g dm ⁻³
Brotas	Pastagem Extensiva	1	0-10	0.94	11.80	38.11	6	1.2	6	6	4.3	16
Brotas	Pastagem Extensiva	1	10-20	0.92	11.69	-	5	0.6	5	4	4.2	14
Brotas	Pastagem Extensiva	1	20-30	0.65	8.21	-	3	0.5	5	3	4.1	14
Brotas	Pastagem Extensiva	1	30-50	0.30	4.20	-	2	0.3	4	2	4.1	9
Brotas	Pastagem Extensiva	2	0-10	0.67	8.38	28.89	3	1.6	8	5	4.2	18
Brotas	Pastagem Extensiva	2	10-20	0.72	9.30	-	3	1.0	8	4	4.1	14
Brotas	Pastagem Extensiva	2	20-30	0.64	8.27	-	2	0.3	10	4	4.1	14
Brotas	Pastagem Extensiva	2	30-50	0.30	4.40	-	2	0.5	7	3	4.1	9
Brotas	Pastagem Extensiva	3	0-10	0.71	9.35	46.11	5	1.6	8	6	4.2	23
Brotas	Pastagem Extensiva	3	10-20	1.11	14.90	-	3	1.3	7	4	4.2	16
Brotas	Pastagem Extensiva	3	20-30	0.44	5.83	-	4	1.0	6	3	4.1	11
Brotas	Pastagem Extensiva	3	30-50	0.40	5.20	-	2	0.6	6	3	4.1	11
Brotas	Pastagem Extensiva	4	0-10	1.22	15.29	41.71	6	2.3	10	7	4.4	23
Brotas	Pastagem Extensiva	4	10-20	0.74	9.65	-	2	1.3	11	4	4.4	18
Brotas	Pastagem Extensiva	4	20-30	0.54	7.25	-	2	1.0	10	5	4.4	14
Brotas	Pastagem Extensiva	4	30-50	0.30	4.00	-	2	0.6	8	4	4.3	9
Brotas	Pastagem Extensiva	5	0-10	1.17	14.41	31.24	5	3.2	8	7	4.4	18
Brotas	Pastagem Extensiva	5	10-20	0.85	10.80	-	2	1.8	7	4	4.2	14
Brotas	Pastagem Extensiva	5	20-30	0.43	5.51	-	2	1.2	7	5	4.3	14
Brotas	Pastagem Extensiva	5	30-50	0.30	4.40	-	2	0.8	8	5	4.3	9
Brotas	Pastagem Intensiva	1	0-10	0.57	7.23	29.13	9	1.0	13	8	4.6	16
Brotas	Pastagem Intensiva	1	10-20	0.65	8.59	-	6	0.6	11	5	4.4	14
Brotas	Pastagem Intensiva	1	20-30	0.60	8.10	-	3	0.6	10	6	4.4	11
Brotas	Pastagem Intensiva	1	30-50	0.30	3.70	-	2	0.3	7	3	4.3	9

Brotas	Pastagem Intensiva	2	0-10	0.84	10.95	27.73	8	2.0	14	10	4.7	23
Brotas	Pastagem Intensiva	2	10-20	1.23	16.05	-	3	0.8	11	8	4.4	14
Brotas	Pastagem Intensiva	2	20-30	0.57	7.74	-	2	0.5	6	5	4.2	11
Brotas	Pastagem Intensiva	2	30-50	0.30	4.20	-	2	0.5	6	3	4.1	9
Brotas	Pastagem Intensiva	3	0-10	0.95	12.20	29.97	8	2.5	18	11	4.9	18
Brotas	Pastagem Intensiva	3	10-20	0.55	7.41	-	5	1.8	13	7	4.7	14
Brotas	Pastagem Intensiva	3	20-30	0.77	10.24	-	17	1.6	15	6	4.8	14
Brotas	Pastagem Intensiva	3	30-50	0.40	4.90	-	9	0.6	12	5	4.6	9
Brotas	Pastagem Intensiva	4	0-10	0.76	10.86	32.25	9	1.0	8	7	4.3	23
Brotas	Pastagem Intensiva	4	10-20	0.78	11.06	-	5	0.6	7	4	4.2	16
Brotas	Pastagem Intensiva	4	20-30	0.68	9.68	-	2	0.5	4	2	4.0	14
Brotas	Pastagem Intensiva	4	30-50	0.30	4.30	-	2	0.3	3	2	4.0	9
Brotas	Pastagem Intensiva	5	0-10	1.11	14.66	60.81	4	0.8	9	7	4.3	18
Brotas	Pastagem Intensiva	5	10-20	0.68	9.89	-	2	0.5	5	3	3.9	14
Brotas	Pastagem Intensiva	5	20-30	0.53	7.30	-	2	0.3	4	2	3.9	11
Brotas	Pastagem Intensiva	5	30-50	0.30	3.70	-	2	0.3	3	2	4.0	9
Brotas	Cana-de-açúcar	1	0-10	0.54	7.03	20.61	7	1.3	6	3	4.1	14
Brotas	Cana-de-açúcar	1	10-20	0.62	8.02	25.91	6	1.0	7	3	4.4	14
Brotas	Cana-de-açúcar	1	20-30	0.60	7.63	34.06	7	0.8	7	3	4.2	14
Brotas	Cana-de-açúcar	1	30-50	0.30	3.95	-	6	1.0	6	3	4.1	11
Brotas	Cana-de-açúcar	2	0-10	0.44	5.77	23.56	31	1.3	7	3	4.2	14
Brotas	Cana-de-açúcar	2	10-20	0.62	7.91	19.93	15	0.8	7	3	4.2	14
Brotas	Cana-de-açúcar	2	20-30	0.52	6.71	21.57	7	0.6	8	3	4.3	14
Brotas	Cana-de-açúcar	2	30-50	0.30	3.90	-	2	0.3	3	3	4.2	9
Brotas	Cana-de-açúcar	3	0-10	0.84	10.76	27.48	13	1.2	5	2	3.9	16
Brotas	Cana-de-açúcar	3	10-20	0.68	8.85	28.05	7	1.2	7	3	4.0	18
Brotas	Cana-de-açúcar	3	20-30	0.72	9.23	22.81	9	1.2	9	5	4.3	16
Brotas	Cana-de-açúcar	3	30-50	0.35	4.65	-	9	0.5	5	4	4.2	11
Brotas	Cana-de-açúcar	4	0-10	0.82	10.24	18.13	17	1.0	5	2	4.0	16
Brotas	Cana-de-açúcar	4	10-20	0.49	6.39	22.46	11	0.8	7	3	4.1	16

Brotas	Cana-de-açúcar	4	20-30	0.83	10.84	50.46	8	0.8	8	4	4.3	14
Brotas	Cana-de-açúcar	4	30-50	0.35	4.55	-	6	0.6	4	3	4.1	11
Brotas	Cana-de-açúcar	5	0-10	0.84	10.76	26.58	22	1.3	9	3	4.2	18
Brotas	Cana-de-açúcar	5	10-20	0.77	9.98	96.74	17	1.0	12	5	4.5	16
Brotas	Cana-de-açúcar	5	20-30	0.63	8.57	24.13	11	0.6	11	6	4.4	14
Brotas	Cana-de-açúcar	5	30-50	0.35	4.95	-	2	0.8	8	5	4.3	9
Brotas	Floresta	1	0-10	0.50	7.50	23.59	2	0.6	1	2	3.6	18
Brotas	Floresta	1	10-20	0.40	5.80	-	2	0.5	1	2	3.7	14
Brotas	Floresta	1	20-30	0.40	5.10	-	2	0.5	1	1	3.8	9
Brotas	Floresta	1	30-50	0.30	3.90	-	2	0.3	1	1	3.8	9
Brotas	Floresta	2	0-10	0.60	8.70	24.89	4	0.5	1	2	3.5	23
Brotas	Floresta	2	10-20	0.40	4.90	-	2	0.6	2	2	3.6	18
Brotas	Floresta	2	20-30	0.40	5.60	-	2	0.5	1	1	3.7	14
Brotas	Floresta	2	30-50	0.30	4.30	-	2	0.3	1	1	3.7	14
Brotas	Floresta	3	0-10	0.60	7.70	38.43	2	0.5	1	1	3.5	16
Brotas	Floresta	3	10-20	0.50	6.60	-	2	0.3	1	1	3.6	14
Brotas	Floresta	3	20-30	0.30	4.70	-	2	0.3	1	1	3.5	14
Brotas	Floresta	3	30-50	0.30	4.30	-	2	0.1	1	1	3.8	9
Brotas	Floresta	4	0-10	0.40	4.70	26.68	2	0.5	1	1	3.7	14
Brotas	Floresta	4	10-20	0.30	4.40	-	2	0.5	1	1	3.7	14
Brotas	Floresta	4	20-30	0.30	4.10	-	2	0.5	1	1	3.8	9
Brotas	Floresta	4	30-50	0.20	3.20	-	2	0.3	1	1	3.8	9
Brotas	Floresta	5	0-10	0.50	6.30	28.28	2	0.5	1	1	3.7	14
Brotas	Floresta	5	10-20	0.40	4.40	-	2	0.5	1	1	3.6	11
Brotas	Floresta	5	20-30	0.30	4.10	-	2	0.3	1	1	3.7	11
Brotas	Floresta	5	30-50	0.30	4.00	-	2	0.1	1	1	3.8	9
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	1	0-10	1.58	25.02	35.66	2	1.6	50	10	4.6	37
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	1	10-20	1.30	21.07	-	2	1.2	50	8	4.7	30
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	1	20-30	1.15	20.04	-	2	0.8	43	6	4.7	30
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	1	30-50	0.90	14.50	-	2	0.6	33	4	4.6	25

Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	2	0-10	1.59	24.75	-20.59	4	1.6	56	10	4.7	41
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	2	10-20	1.38	21.72	-	2	1.2	50	7	4.7	32
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	2	20-30	1.06	17.79	-	27	0.6	54	8	5.0	32
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	2	30-50	0.90	14.40	-	2	0.5	32	3	4.4	25
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	3	0-10	1.68	26.05	24.35	12	1.3	52	10	4.6	39
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	3	10-20	1.32	20.88	-	4	1.0	58	7	4.7	37
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	3	20-30	1.13	18.48	-	2	0.6	56	7	4.7	30
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	3	30-50	0.90	14.80	-	2	0.5	4	4	4.7	25
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	4	0-10	1.63	23.86	28.05	2	1.6	55	8	4.7	37
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	4	10-20	1.31	19.96	-	2	1.5	51	7	4.8	32
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	4	20-30	1.02	16.54	-	2	1.0	49	5	4.8	25
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	4	30-50	0.90	14.20	-	2	0.5	42	3	4.8	23
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	0-10	1.53	22.91	30	2	1.2	51	8	4.7	37
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	10-20	1.42	21.35	-	2	1.0	53	6	4.7	32
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	20-30	1.02	16.36	-	2	0.8	49	5	4.8	30
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	30-50	0.80	13.50	-	2	0.5	36	3	4.7	25
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	1	0-10	1.79	25.97	29.48	13	4.2	60	9	4.8	37
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	1	10-20	1.62	23.29	-	8	2.3	63	9	4.8	37
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	1	20-30	1.21	18.91	-	2	1.0	48	5	4.8	32
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	1	30-50	1.00	15.80	-	2	0.6	35	4	4.7	25
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	2	0-10	1.66	24.11	177.34	2	5.3	58	13	4.8	37
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	2	10-20	1.41	20.92	-	2	1.3	57	9	4.9	32
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	2	20-30	0.89	13.36	-	2	1.0	54	6	5.0	27
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	2	30-50	1.00	15.60	-	2	0.8	35	4	4.7	25
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	0-10	1.78	26.17	11.1	22	9.7	67	17	5.1	37
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	10-20	1.43	19.35	-	11	2.8	70	14	4.9	32
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	20-30	1.18	17.28	-	4	1.8	62	19	5.1	25
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	30-50	1.10	16.60	-	2	1.3	42	11	4.7	27
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	4	0-10	1.62	23.75	18.01	7	5.8	56	11	4.8	37
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	4	10-20	1.41	21.78	-	7	2.7	72	11	4.9	32

Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	4	20-30	1.18	18.93	-	2	1.0	53	6	4.7	30
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	4	30-50	1.00	16.30	-	2	0.6	36	4	4.6	25
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	5	0-10	1.58	23.73	22.82	2	3.5	53	11	4.8	32
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	5	10-20	1.30	20.75	-	2	1.3	56	8	4.9	32
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	5	20-30	1.14	19.25	-	2	1.0	51	5	4.8	32
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	5	30-50	1.00	16.10	-	2	0.5	30	3	4.5	25
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	1	0-10	1.57	23.03	7.73	7	2.0	62	11	4.8	37
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	1	10-20	1.23	19.12	27.07	10	1.0	50	8	4.8	37
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	1	20-30	1.03	16.94	26.11	2	0.6	50	6	4.7	32
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	1	30-50	0.90	14.90	-	6	0.5	33	4	4.4	30
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	2	0-10	1.48	21.58	20.46	17	1.3	62	11	4.7	37
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	2	10-20	1.27	19.04	16.92	6	1.0	53	8	4.7	37
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	2	20-30	1.11	17.55	23.71	3	0.8	49	6	4.8	30
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	2	30-50	0.95	15.35	-	2	0.5	40	4	4.6	27
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	0-10	1.72	23.48	30.44	17	2.5	78	15	4.8	32
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	10-20	1.26	18.43	16.65	12	1.2	71	10	4.9	32
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	20-30	1.15	17.66	22.36	7	1.2	70	9	4.9	32
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	30-50	0.95	14.95	-	4	1.0	57	6	4.9	25
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	4	0-10	1.60	23.27	21.06	14	2.3	60	12	4.7	37
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	4	10-20	1.25	18.74	11.57	6	1.8	60	10	4.7	30
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	4	20-30	1.13	17.58	13.77	2	0.6	61	7	4.8	27
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	4	30-50	0.90	15.10	-	2	0.3	44	5	4.6	25
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	5	0-10	1.61	22.60	16.54	24	3.5	63	14	4.8	37
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	5	10-20	1.28	19.66	29.56	5	1.5	61	10	4.8	27
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	5	20-30	1.13	17.54	-10.26	4	1.2	57	8	4.9	30
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	5	30-50	0.95	15.75	-	5	1.0	39	5	4.7	25
Salto de Pirapora	Floresta	1	0-10	4.20	37.70	-	10	4.5	110	14	6.1	41
Salto de Pirapora	Floresta	1	10-20	4.00	36.40	-	4	3.2	74	9	6.3	27
Salto de Pirapora	Floresta	1	20-30	3.60	31.50	-	2	2.5	61	8	6.3	23
Salto de Pirapora	Floresta	1	30-50	2.80	23.50	-	2	2.0	57	7	6.4	23

Salto de Pirapora	Floresta	2	0-10	5.00	44.60	-	7	5.1	111	16	6.1	50
Salto de Pirapora	Floresta	2	10-20	4.10	35.00	-	3	3.8	88	12	6.1	37
Salto de Pirapora	Floresta	2	20-30	3.40	29.30	-	2	3.8	72	9	6.2	27
Salto de Pirapora	Floresta	2	30-50	3.10	26.90	-	2	3.0	56	7	6.0	25
Salto de Pirapora	Floresta	3	0-10	4.60	39.90	-	6	1.8	150	15	6.6	46
Salto de Pirapora	Floresta	3	10-20	3.80	32.00	-	2	1.3	99	11	6.6	37
Salto de Pirapora	Floresta	3	20-30	3.40	28.80	-	2	1.0	88	9	6.6	32
Salto de Pirapora	Floresta	3	30-50	3.00	24.60	-	2	0.5	70	7	6.3	27
Salto de Pirapora	Floresta	4	0-10	5.10	48.40	-	4	1.6	124	15	6.4	50
Salto de Pirapora	Floresta	4	10-20	3.90	35.70	-	2	0.8	66	9	6.2	32
Salto de Pirapora	Floresta	4	20-30	3.50	32.40	-	2	1.2	61	8	6.0	32
Salto de Pirapora	Floresta	4	30-50	2.80	24.20	-	2	1.2	48	6	5.3	30
Salto de Pirapora	Floresta	5	0-10	2.50	21.30	-	8	4.5	133	15	6.8	50
Salto de Pirapora	Floresta	5	10-20	2.30	19.30	-	2	3.0	76	9	6.7	32
Salto de Pirapora	Floresta	5	20-30	1.80	14.10	-	2	2.0	52	6	6.5	25
Salto de Pirapora	Floresta	5	30-50	1.60	12.10	-	2	0.8	40	5	6.5	23

Apêndice B: Análise granulométrica do solo das áreas experimentais (Brotas e Salto de Pirapora).

Local	Uso da terra	Bloco	Prof (cm)	Argila	Silte	Areia Total
				g/kg		
Brotas	Pastagem Extensiva	3	0-10	103	7	890
Brotas	Pastagem Extensiva	3	10-20	123	7	870
Brotas	Pastagem Extensiva	3	20-30	124	6	870
Brotas	Pastagem Extensiva	3	30-50	150	20	830
Brotas	Pastagem Intensiva	5	0-10	141	9	850
Brotas	Pastagem Intensiva	5	10-20	113	7	880
Brotas	Pastagem Intensiva	5	20-30	132	8	860
Brotas	Pastagem Intensiva	5	30-50	144	6	850
Brotas	Cana-de-açúcar	2	0-10	98	2	900
Brotas	Cana-de-açúcar	2	10-20	88	2	910
Brotas	Cana-de-açúcar	2	20-30	98	2	900
Brotas	Cana-de-açúcar	2	30-50	91	9	900
Brotas	Floresta	3	0-10	92	8	900
Brotas	Floresta	3	10-20	92	8	900
Brotas	Floresta	3	20-30	84	6	910
Brotas	Floresta	3	30-50	101	9	890
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	0-10	494	346	160
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	10-20	572	248	180
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	20-30	609	221	170
Salto de Pirapora	Pastagem Extensiva	5	30-50	593	247	160
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	0-10	480	380	140
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	10-20	607	273	120
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	20-30	594	296	110
Salto de Pirapora	Pastagem Intensiva	3	30-50	675	235	90
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	0-10	523	327	150
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	10-20	564	276	160
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	20-30	583	267	150
Salto de Pirapora	Cana-de-açúcar	3	30-50	579	271	150
Salto de Pirapora	Floresta	2	0-10	397	137	460
Salto de Pirapora	Floresta	2	10-20	423	123	490
Salto de Pirapora	Floresta	2	20-30	459	97	450
Salto de Pirapora	Floresta	2	30-50	434	116	450

Apêndice C: Tabela das diferenças entre as estimativas utilizando a “Floresta” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

Tamanho do Efeito										
Estoque de carbono										
Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	6.44	2.98	10.20	5.57	2.27	8.57	2.61	-0.56	5.26
	0-30	18.20	14.30	22.00	18.80	12.90	23.4	12.50	7.06	17.30
	0-50	19.70	15.50	24.40	19.50	12.60	24.8	13.90	7.19	20.00
Salto de Pirapora	0-10	-10.60	-15.30	-2.40	-10.30	-15.10	-1.92	-12.20	-17.1	-3.68
	0-30	-7.19	-17.70	5.20	-7.03	-18.60	6.61	-11.90	-22.3	0.34
	0-50	-2.09	-15.90	13.30	2.40	-12.40	19.00	-4.51	-18.6	10.70
Estoque de nitrogênio										
Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	0.557	0.279	0.849	0.428	0.199	0.643	0.236	-0.0154	0.432
	0-30	1.5	1.22	1.77	1.39	1.02	1.73	1.04	0.634	1.37
	0-50	1.62	1.31	1.99	1.5	1.09	1.91	1.19	0.698	1.63
Salto de Pirapora	0-10	-1.28	-1.62	-0.576	-1.2	-1.54	-0.492	-1.28	-1.63	-0.584
	0-30	-1.8	-2.5	-0.929	-1.55	-2.28	-0.588	-1.88	-2.58	-0.995
	0-50	-1.88	-2.74	-0.857	-1.29	-2.2	-0.151	-1.83	-2.7	-0.781
Estoque de cálcio										
Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	0.269	0.235	0.307	0.452	0.347	0.582	0.217	0.182	0.28
	0-30	0.861	0.701	1.06	1.13	0.795	1.52	0.865	0.758	1.15
	0-50	1.39	1.1	1.63	1.63	1.08	2.37	1.29	1.09	1.76
	0-10	-1.42	-1.69	-1.15	-1.35	-1.61	-1.1	-1.22	-1.47	-0.967

Salto de	0-30	-2.38	-2.87	-2.01	-2.14	-2.64	-1.76	-2.03	-2.58	-1.56
Pirapora	0-50	-3.41	-4.64	-2.58	-3.1	-3.95	-2.36	-2.46	-3.36	-1.56

Estoque de magnésio

Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	0.233	0.188	0.259	0.355	0.303	0.423	0.075	0.052	0.096
	0-30	0.564	0.504	0.633	0.769	0.553	0.962	0.384	0.319	0.517
	0-50	0.857	0.721	1.03	1.02	0.736	1.32	0.711	0.595	0.976
Salto de Pirapora	0-10	-0.139	-0.162	-0.114	-0.079	-0.122	-0.0436	-0.0637	-0.0937	-0.0229
	0-30	-0.257	-0.33	-0.186	-0.0832	-0.211	0.191	-0.117	-0.202	-0.0227
	0-50	-0.41	-0.519	-0.3	-0.165	-0.388	0.361	-0.193	-0.321	-0.048

Estoque de potássio

Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	0.116	0.08	0.18	0.08	0.05	0.13	0.06	0.05	0.07
	0-30	0.23	0.15	0.34	0.16	0.09	0.32	0.16	0.14	0.19
	0-50	0.305	0.20	0.44	0.208	0.12	0.38	0.251	0.20	0.30
Salto de Pirapora	0-10	-0.0795	-0.13	-0.03	0.0687	0.00	0.14	-0.0482	-0.10	0.02
	0-30	-0.207	-0.35	-0.05	-0.0053	-0.16	0.17	-0.172	-0.31	0.00
	0-50	-0.295	-0.51	-0.08	-0.0787	-0.30	0.15	-0.247	-0.47	-0.03

Teor de fósforo orgânico

Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	8.84	0.97	15.6	7.61	-1.08	24.5	-5.1	-12.80	-0.501

Apêndice D: Tabela das diferenças entre as estimativas utilizando a “Pastagem Extensiva” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

Tamanho do Efeito							
Estoque de carbono							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	-0.88	-5.41	3.15	-3.83	-8.19	0.0829
	0-30	0.62	-5.34	5.07	-5.72	-10.9	-0.983
	0-50	-0.22	-6.87	4.34	-5.82	-12.1	-0.166
Salto de Pirapora	0-10	0.26	-1.27	1.80	-1.63	-3.50	0.146
	0-30	0.16	-7.96	8.70	-4.70	-11.70	1.44
	0-50	4.49	-6.50	16.00	-2.42	-12.50	6.82
Estoque de nitrogênio							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	-0.129	-0.484	0.196	-0.322	-0.681	-0.00225
	0-30	-0.119	-0.513	0.252	-0.469	-0.879	-0.105
	0-50	-0.119	-0.528	0.259	-0.438	-0.916	-0.0236
Salto de Pirapora	0-10	0.0814	-0.0333	0.196	-0.0045	-0.14	0.127
	0-30	0.248	-0.172	0.831	-0.0771	-0.433	0.27
	0-50	0.586	0.0286	1.31	0.0466	-0.47	0.548
Estoque de cálcio							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	0.183	0.0725	0.31	-0.0521	-0.105	0.0143
	0-30	0.27	-0.11	0.697	0.0038	-0.216	0.276
	0-50	0.238	-0.355	1	-0.103	-0.437	0.389
Salto de Pirapora	0-10	0.0725	-0.0539	0.176	0.205	0.085	0.302
	0-30	0.244	-0.0353	0.454	0.357	0.0105	0.669

		0-50	0.306	-0.262	1.36	0.947	0.261	2.07
Estoque de magnésio								
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva			
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	
Brotas	0-10	0.123	0.0668	0.198	-0.157	-0.188	-0.116	
	0-30	0.205	-0.0171	0.405	-0.18	-0.262	-0.0438	
	0-50	0.165	-0.161	0.497	-0.147	-0.342	0.108	
Salto de Pirapora	0-10	0.0588	0.0223	0.0868	0.0749	0.0567	0.115	
	0-30	0.173	0.0391	0.448	0.139	0.0473	0.245	
	0-50	0.245	0.0249	0.782	0.217	0.0873	0.361	
Estoque de potássio								
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva			
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	
Brotas	0-10	-0.03	-0.0961	0.0242	-0.05	-0.11	-0.0183	
	0-30	-0.0699	-0.20	0.08	-0.07	-0.18	0.0118	
	0-50	-0.0964	-0.26	0.0812	-0.0541	-0.19	0.0571	
Salto de Pirapora	0-10	0.148	0.11	0.204	0.0313	0.01	0.0645	
	0-30	0.202	0.15	0.29	0.0356	0.00	0.0949	
	0-50	0.217	0.15	0.337	0.0484	-0.01	0.137	
Teor de fósforo orgânico								
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva			
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	
Brotas	0-10	-1.23	-10.3	17.5	-13.9	-20.4	-7.56	

Apêndice E: Tabela dos valores de distância de Cohen (d) utilizando a “Floresta” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

d de Cohen										
Estoque de carbono										
Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	1.97	0.97	3.44	1.95	0.392	4.19	0.99	-0.42	3.99
	0-30	5.26	3.63	7.58	3.99	2.31	7.58	2.69	1.60	5.95
	0-50	4.94	3.45	7.09	3.57	1.96	7.06	2.37	1.28	4.99
Salto de Pirapora	0-10	-1.88	-7.68	-0.09	-1.81	-6.96	-0.03	-2.12	-7.31	-0.379
	0-30	-0.69	-2.77	0.94	-0.62	-2.34	0.90	-1.17	-4.07	0.232
	0-50	-0.16	-1.88	1.45	0.17	-1.38	1.76	-0.34	-2.17	1.22
Estoque de nitrogênio										
Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	2.15	1.26	3.56	2.13	0.577	4.25	1.17	-0.18	6.74
	0-30	6.03	4.17	9.4	4.28	2.58	7.9	3.09	1.98	6.45
	0-50	5.29	3.67	7.65	3.99	2.46	6.42	2.79	1.79	4.97
Salto de Pirapora	0-10	-2.96	-11.1	-1.2	-2.76	-11	-1.04	-2.93	-10.8	-1.19
	0-30	-2.55	-10.5	-1.53	-2.02	-4.5	-0.683	-2.69	-12	-1.66
	0-50	-2.2	-6.69	-1.08	-1.4	-3.64	0.0384	-2.14	-6.75	-1.03
Estoque de cálcio										
Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	8.4	5.31	13.4	4.48	3.2	6.87	5.26	4.16	9.57
	0-30	5.39	3.53	8.53	3.48	2.57	5.72	5.74	4.76	33
	0-50	5.8	3.59	13.3	2.97	2.14	5.24	4.9	3.96	17.6
	0-10	-5.78	-7.93	-4.09	-5.84	-8.39	-4.09	-5.31	-7.7	-3.67

Salto de	0-30	-6.11	-9.46	-4	-5.37	-7.92	-3.53	-4.47	-6.15	-2.93
Pirapora	0-50	-3.73	-4.79	-2.65	-4.39	-6.47	-2.78	-3.06	-4.81	-1.61

Estoque de magnésio

Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	7.72	5.05	17.6	6.78	5.48	9.4	3.79	2.88	6.92
	0-30	9.7	8.77	10.6	4.17	3.26	13	4.59	3.86	12.5
	0-50	6.29	4.93	8.84	3.9	2.91	6.06	4.66	3.9	12.5
Salto de Pirapora	0-10	-6.27	-11	-4.06	-2.2	-3.54	-0.967	-2.03	-5	-0.434
	0-30	-3.91	-5.64	-3	-0.49	-5.08	1.1	-1.45	-3.44	0.142
	0-50	-4.15	-5.66	-2.92	-0.549	-5.7	1.26	-1.56	-3.37	-0.183

Estoque de potássio

Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	2.94	2.10	4.95	2.21	1.57	3.05	10.20	6.86	44.2
	0-30	2.82	1.84	4.29	1.74	1.08	2.92	6.41	4.76	10.8
	0-50	2.9	1.80	4.39	1.88	1.27	3.03	5.21	3.45	8.67
Salto de Pirapora	0-10	-1.67	-17.20	-0.665	1.1	-0.198	2.33	-0.916	-4.25	0.462
	0-30	-1.52	-9.55	-0.508	-0.0361	-2.36	1.45	-1.22	-6.42	0.0501
	0-50	-1.53	-4.87	-0.59	-0.379	-2.55	1.22	-1.23	-3.98	-0.00969

Teor de fósforo orgânico

Local	Profundidade (cm)	Extensiva - Floresta			Intensiva - Floresta			Cana - Floresta		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	1.35	-0.09	3.17	0.709	-1.17	1.96	-1.02	-2.05	0.351

Apêndice F: Tabela dos valores de distância de Cohen (d) utilizando a “Pastagem Extensiva” como referência e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

d de Cohen							
Estoque de carbono							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	-0.22	-1.71	1.22	-1.01	-2.55	0.227
	0-30	0.13	-1.38	1.66	-1.25	-2.5	0.135
	0-50	-0.04	-1.47	1.47	-1.08	-2.35	0.453
Salto de Pirapora	0-10	0.18	-1.40	1.79	-0.99	-2.66	0.321
	0-30	0.02	-1.79	1.46	-0.80	-2.24	0.622
	0-50	0.44	-1.13	1.86	-0.28	-1.77	1.22
Estoque de nitrogênio							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	-0.413	-1.99	1.03	-1.03	-2.6	0.186
	0-30	-0.344	-1.83	1.17	-1.31	-2.57	0.0113
	0-50	-0.334	-1.66	1.23	-1.07	-2.2	0.678
Salto de Pirapora	0-10	0.779	-0.648	2.2	-0.0375	-1.65	1.47
	0-30	0.55	-1.02	1.75	-0.243	-1.83	1.17
	0-50	1	-0.507	2.22	0.1	-1.47	1.54
Estoque de cálcio							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	1.72	0.718	3.6	-0.996	-2.99	0.575
	0-30	0.746	-0.783	2.4	0.0175	-1.61	1.36
	0-50	0.398	-1.35	1.93	-0.291	-2.45	1.18
	0-10	0.704	-0.984	2.57	2.08	0.848	4.19

Salto de Pirapora	0-30	1.16	-0.518	3.2	1.18	-0.245	3.04
	0-50	0.44	-1.22	1.62	1.19	0.0534	1.99
Estoque de magnésio							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	2.11	1.31	2.93	-4.88	-9.59	-2.97
	0-30	1.08	-0.149	5	-1.88	-5.45	-0.367
	0-50	0.564	-1.08	2.37	-0.728	-2.39	0.818
Salto de Pirapora	0-10	2	0.581	4.6	3.21	2.35	7.54
	0-30	1	-0.584	1.68	1.56	0.147	2.86
	0-50	0.817	-0.683	1.58	1.77	0.406	3.12
Estoque de potássio							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	-0.61	-2.1900	0.9220	-1.30	-2.07	-0.218
	0-30	-0.563	-2.37	0.95	-0.85	-2.60	0.808
	0-50	-0.64	-2.42	0.885	-0.478	-2.04	1.2
Salto de Pirapora	0-10	3.58	2.49	6	1.3	-0.27	2.19
	0-30	3.2	2.02	4.97	0.813	-0.77	1.88
	0-50	2.66	1.56	4.25	0.778	-0.71	1.9
Teor de fósforo orgânico							
Local	Profundidade (cm)	Intensiva - Extensiva			Cana - Extensiva		
		Fator de efeito	-95% IC	+95% IC	Fator de efeito	-95% IC	+95% IC
Brotas	0-10	-0.111	-2.31	1.57	-2.41	-4.17	-1.39